Gutachten über die Wärmeversorgung eines Wohnkomplexes

Dr. sc. B. GLÜCK
VEB Kombinat Technische Gebäudeausrüstung — Institut —

(Fortsetzung von Heft 7/1976)

Fehler 3: Mehrere numerische Fehler im Strang 1 sowie eine fehlerhafte Zuordnung der Massenströme im Strang 12 führen zu abweichenden Ergebnissen (953 mm WS ≠ 850 mm WS).

Auf der Grundlage der errechneten hydraulischen und thermodynamischen Druckdifferenzen Δ_i und $\tilde{\Delta}_i$ werden die Druckbilanzen aufgestellt. Im vorliegenden Fall wurden der Einfachheit halber stets aneinandergrenzende Stromkreismaschen bilanziert, z. B. 5′ mit 5″; 5′ mit 4′ usw. Dieses Vorgehen führt zum selben Ergebnis wie das Bilden der Stromkreise von der Verteilungsleitung aus zu jedem Heizkörper eines Stranges.

Die Druckbilanzen sind in den Tabellen 5 und 6 aufgestellt. In Tabelle 6 konnte auf einige bereits in Tabelle 5 abgeleitete Gleichungen Bezug genommen werden. Durch konsequente Substitutionen wurden die erforderlichen Druckverluste der Regulierventile — denn nur diese sind noch flexibel in der Einstellung — auf die im obersten Geschoß gewählte Voreinstellung $x_{5'}$ zurückgeführt. Die thermodynamischen Druckdifferenzen sind bewußt zahlenmäßig noch nicht eingesetzt worden, um in den anschließenden Tabellen 5a und 6a noch verschiedene Lastfälle durchspielen zu können. Zunächst werden die Null-Lastfälle betrachtet. Dies bedeutet, daß kein Auftrieb den Strömungsumlauf beeinflußt, also nur der Pumpendruck wirkt. Dies könnte während der ersten Anheizphase bei $t_r = t_v$ auftreten und ist näherungsweise aussagekräftig für den Schwachlastfall (Heizgrenze). Grundlage der numerischen Berechnung ist das vollgeöffnete Ventil 5′ mit $x_{5'} = -15$ mm WS (Strang 1) und $x_{5'} = -1$mm WS (Strang 12). Diese Werte sind der Tabelle 7 entnommen, in der gleichzeitig in Abhängigkeit des projektierten Massenstromes die minimalen und maximalen Druckverluste der Regulierventile eines jeden Abnehmers, d. h. die Drosselbereiche, aufgetragen sind. Als weitere Betriebsfälle sind in den Tabellen 5a und 6a Vollast und Halblast mit den Werten der Tabelle 2 berechnet (Klammerwerte stehen vorerst nicht zur Diskussion). Die Ergebnisse in die Bilder 1 und 2 übertragen, führen zu den Kurven A. Die Kurven B entstehen durch eine äquidistante Verschiebung um den Betrag $|x_{5',max} - x_{5',min}|$ nach links. Dadurch ist jeweils der oberste Abnehmer ideal den Bedürfnissen angepaßt. Auftretende Diskrepanzen verschieben sich dann zu den unteren Abnehmern. Prinzipiell könnte jeder Abnehmer als Basiswert fungieren. Die Aussagen sind jedoch letztlich die gleichen.

Nachfolgend werden die Ergebnisse des Bildes 1 diskutiert: Soll die Anpassung für den Halblastfall erfolgen — das führt zu dem günstigsten Regelverhalten —, so müßte die Vorein-

Tabelle 5: Druckbilanzen Strang 1

	$\Delta_{5'} + \tilde{\Delta}_{5'}$	=	$\Delta_{5''} + \tilde{\Delta}_{5''}$	→	$x_{5'} - 5$	=	$x_{5''} - 3$	→	$x_{5''}$	$= x_{5'} - 2$
(I)	$\Delta_{5'} + \tilde{\Delta}_{5'} + \Delta_6 + \tilde{\Delta}_6 + \Delta_9 + \tilde{\Delta}_9$	=	$\Delta_{4'} + \tilde{\Delta}_{4'}$	→	$x_{5'} - 5 - 12 + \tilde{\Delta}$	=	$x_{4'} - 2$	→	$x_{4'}$	$= x_{5'} - 15 + \tilde{\Delta}$
	$\Delta_{4'} + \tilde{\Delta}_{4'}$	=	$\Delta_{4''} + \tilde{\Delta}_{4''}$	→	$x_{4'} - 2$	=	$x_{4''} - 1$	→	$x_{4''}$	$= x_{5'} - 16 + \tilde{\Delta}$
(II)	$\Delta_{4'} + \tilde{\Delta}_{4'} + \Delta_5 + \tilde{\Delta}_5 + \Delta_{10} + \tilde{\Delta}_{10}$	=	$\Delta_{3'} + \tilde{\Delta}_{3'}$	→	$x_{4'} - 2 - 36 + \tilde{\Delta}$	=	$x_{3'} - 2$	→	$x_{3'}$	$= x_{5'} - 51 + 2 \cdot \tilde{\Delta}$
	$\Delta_{3'} + \tilde{\Delta}_{3'}$	=	$\Delta_{3''} + \tilde{\Delta}_{3''}$	→	$x_{3'} - 2$	=	$x_{3''} - 1$	→	$x_{3''}$	$= x_{5'} - 52 + 2 \cdot \tilde{\Delta}$
(III)	$\Delta_{3'} + \tilde{\Delta}_{3'} + \Delta_4 + \tilde{\Delta}_4 + \Delta_{11} + \tilde{\Delta}_{11}$	=	$\Delta_{2'} + \tilde{\Delta}_{2'}$	→	$x_{3'} - 2 - 65 + \tilde{\Delta}$ (-15)	=	$x_{2'} - 2$	→	$x_{2'}$	$= x_{5'} - 116 + 3 \cdot \tilde{\Delta}$ (-66)
	$\Delta_{2'} + \tilde{\Delta}_{2'}$	=	$\Delta_{2''} + \tilde{\Delta}_{2''}$	→	$x_{2'} - 2$	=	$x_{2''} - 1$	→	$x_{2''}$	$= x_{5'} - 117 + 3 \cdot \tilde{\Delta}$ (-67)
(IV)	$\Delta_{2'} + \tilde{\Delta}_{2'} + \Delta_3 + \tilde{\Delta}_3 + \Delta_{12} + \tilde{\Delta}_{12}$	=	$\Delta_{1'} + \tilde{\Delta}_{1'}$	→	$x_{2'} - 2 - 109 + \tilde{\Delta}$ (-24)	=	$x_{1'} - 2$	→	$x_{1'}$	$= x_{5'} - 225 + 4 \cdot \tilde{\Delta}$ (-90)
	$\Delta_{1'} + \tilde{\Delta}_{1'}$	=	$\Delta_{1''} + \tilde{\Delta}_{1''}$	→	$x_{1'} - 2$	=	$x_{1''} - 1$	→	$x_{1''}$	$= x_{5'} - 226 + 4 \cdot \tilde{\Delta}$ (-91)
(V)	$\Delta_{1'} + \tilde{\Delta}_{1'} + \Delta_2 + \tilde{\Delta}_2 + \Delta_{13} + \tilde{\Delta}_{13}$	=	$\Delta_{EG'} + \tilde{\Delta}_{EG'}$	→	$x_{1'} - 2 - 163 + \tilde{\Delta}$ (-37)	=	$x_{EG'} - 4$	→	$x_{EG'}$	$= x_{5'} - 386 + 5 \cdot \tilde{\Delta}$ (-125)
	$\Delta_{EG'} + \tilde{\Delta}_{EG'}$	=	$\Delta_{EG''} + \tilde{\Delta}_{EG''}$	→	$x_{EG'} - 4$	=	$x_{EG''} - 1$	→	$x_{EG''}$	$= x_{5'} - 389 + 5 \cdot \tilde{\Delta}$ (-128)
(VI)	$\Delta_{EG'} + \tilde{\Delta}_{EG'} + \Delta_1 + \tilde{\Delta}_1 + \Delta_{14} + \tilde{\Delta}_{14}$	=	Δ_{S1}	→	$x_{EG'} - 4 - 548 + \tilde{\Delta}_{EG'} + \tilde{\Delta}_1 + \tilde{\Delta}_{14}$ (-155)	=	Δ_{S1}	→	Δ_{S1}	$= x_{5'} - 938 + 5\tilde{\Delta} + \tilde{\Delta}_{EG'} + \tilde{\Delta}_1 + \tilde{\Delta}_{14}$ (-284)

Zur Abkürzung wurde $\tilde{\Delta}_6 + \tilde{\Delta}_9 = \tilde{\Delta}_5 + \tilde{\Delta}_{10} = \tilde{\Delta}_4 + \tilde{\Delta}_{11} = \tilde{\Delta}_3 + \tilde{\Delta}_{12} = \tilde{\Delta}_2 + \tilde{\Delta}_{13} = \tilde{\Delta}$ *gesetzt.*

Tabelle 6: Druckbilanzen Strang 12

Aus (I)	→	$x_{5'} + 0 + \tilde{\Delta} = x_{4'}$	→	$x_{4'}$	$= x_{5'} + \tilde{\Delta}$
Aus (II)	→	$x_{4'} - 1 + \tilde{\Delta} = x_{3'}$	→	$x_{3'}$	$= x_{5'} - 1 + 2 \cdot \tilde{\Delta}$
Aus (III)	→	$x_{3'} - 1 + \tilde{\Delta} = x_{2'}$	→	$x_{2'}$	$= x_{5'} - 2 + 3 \cdot \tilde{\Delta}$
Aus (IV)	→	$x_{2'} - 1 + \tilde{\Delta} = x_{1'}$	→	$x_{1'}$	$= x_{5'} - 3 + 4 \cdot \tilde{\Delta}$
Aus (V)	→	$x_{1'} - 1 + \tilde{\Delta} = x_{EG'}$	→	$x_{EG'}$	$= x_{5'} - 4 + 5 \cdot \tilde{\Delta}$
Aus (VI)	→	$x_{EG'} - 3 + \tilde{\Delta}_{EG'} + \tilde{\Delta}_1 + \tilde{\Delta}_{14} = \tilde{\Delta}_{S12}$	→	Δ_{S12}	$= x_{5'} - 7 + 5\tilde{\Delta} + \tilde{\Delta}_{EG'} + \tilde{\Delta}_1 + \tilde{\Delta}_{14}$

Tabelle 5a: Numerische Auswertung der Druckbilanzen im Strang 1

Vollgeöffnetes Ventil 5′; $x_{5'} = -15$ mm WS	Vollast 110 °C/70 °C	Halblast 72 °C/52 °C	Nullast $t_V \equiv t_r$	Vollgeöffnetes Ventil 5′ mit Blende; $\bar{x}_{5'} = -163$ mm WS	Vollast	Halblast	Nullast
$x_{5'} = -15$	−15	−15	−15	$\bar{x}_{5'} = -163$	−163	−163	−163
$x_{5''} = -17$	−17	−17	−17	$\bar{x}_{5''} = -165$	−165	−165	−165
$x_{4'} = -30 + \tilde{\Delta}$	45	−2	−30	$\bar{x}_{4'} = -178 + \tilde{\Delta}$	−103	−150	−178
$x_{4''} = -31 + \tilde{\Delta}$	44	−3	−31	$\bar{x}_{4''} = -179 + \tilde{\Delta}$	−104	−151	−179
$x_{3'} = -66 + 2\tilde{\Delta}$	84	−10	−66	$\bar{x}_{3'} = -214 + 2\tilde{\Delta}$	−64	−158	−214
$x_{3''} = -67 + 2\tilde{\Delta}$	83	−11	−67	$\bar{x}_{3''} = -215 + 2\tilde{\Delta}$	−65	−159	−215
$x_{2'} = -131 + 3\tilde{\Delta}$	94	−47	−131	$\bar{x}_{2'} = -279 + 3\tilde{\Delta}$	−54	−195	−279
(−81)	(144)	(+3)	(−81)				
$x_{2''} = -132 + 3\tilde{\Delta}$	93	−48	−132	$\bar{x}_{2''} = -280 + 3\tilde{\Delta}$	−55	−196	−280
(−82)	(143)	(+2)	(−82)				
$x_{1'} = -240 + 4\tilde{\Delta}$	60	−128	−240	$\bar{x}_{1'} = -388 + 4\tilde{\Delta}$	−88	−276	−388
(−105)	(195)	(+7)	(−105)				
$x_{1''} = -241 + 4\tilde{\Delta}$	59	−129	−241	$\bar{x}_{1''} = -389 + 4\tilde{\Delta}$	−89	−277	−389
(−106)	(194)	(+6)	(−106)				
$x_{EG'} = -401 + 5\tilde{\Delta}$	−26	−261	−401	$\bar{x}_{EG'} = -549 + 5\tilde{\Delta}$	−174	−409	−549
(−140)	(+235)	(0)	(−140)				
$x_{EG''} = -404 + 5\tilde{\Delta}$	−29	−264	−404	$\bar{x}_{EG''} = -552 + 5\tilde{\Delta}$	−177	−412	−552
(−143)	(232)	(−3)	(−143)				
$\Delta_{S1} = -953 + 5\tilde{\Delta} + \tilde{\Delta}_{EG'} + \tilde{\Delta}_1 + \tilde{\Delta}_{14}$			−953				
(−299)			(−299)				

Tabelle 6a: Numerische Auswertung der Druckbilanzen im Strang 12

Vollgeöffnetes Ventil 5′; $x_{5'} = -1$ mm WS	Vollast 110 °C/70 °C	Halblast 72 °C/52 °C	Nullast $t_V \equiv t_r$	Vollgeöffnetes Ventil 5′ mit Blende; $\bar{x}_{5'} = -149$ mm WS	Vollast 110 °C/70 °C	Halblast 72 °C/52 °C	Nullast $t_V \equiv t_r$
$x_{5'} = -1$	−1	−1	−1	$\bar{x}_{5'} = -149$	−149	−149	−149
$x_{4'} = -1 + \tilde{\Delta}$	74	27	−1	$\bar{x}_{4'} = -149 + \tilde{\Delta}$	−74	−121	−149
$x_{3'} = -2 + 2\tilde{\Delta}$	148	54	−2	$\bar{x}_{3'} = -150 + 2\tilde{\Delta}$	0	−94	−150
$x_{2'} = -3 + 3\tilde{\Delta}$	222	81	−3	$\bar{x}_{2'} = -151 + 3\tilde{\Delta}$	+74	−67	−151
$x_{1'} = -4 + 4\tilde{\Delta}$	296	108	−4	$\bar{x}_{1'} = -152 + 4\tilde{\Delta}$	+148	−40	−152
$x_{EG'} = -5 + 5\tilde{\Delta}$	370	135	−5	$\bar{x}_{EG'} = -153 + 5\tilde{\Delta}$	+222	−13	−153
$\Delta_{S1} = -8 + 5\tilde{\Delta} + \tilde{\Delta}_{EG'} + \tilde{\Delta}_1 + \tilde{\Delta}_{14}$			−8				

Tabelle 7: Minimale und maximale Verdrosselung der Heizkörper-Regulierventile in Funktion des Massendurchsatzes

Strang 1 mm WS	Strang 12 mm WS
$x_{5'} = -15^*$ ... −250	-1^* ... −12
$x_{5''} = -9$ ... −150	
$x_{4'} = -9$ ... −150	0 ... −2
$x_{4''} = -5$ ... −90	
$x_{3'} = -9$ ... −150	0 ... −2
$x_{3''} = -5$ ... −90	
$x_{2'} = -9$ ... −150	0 ... −2
$x_{2''} = -5$ ... −90	
$x_{1'} = -9$ ... −150	0 ... −2
$x_{1''} = -5$ ... −90	
$x_{EG'} = -14$ ... −240	0 ... −4
$x_{EG''} = -5$ ... −90	

* Basiswert für die Auswertung der Tabellen 5a und 6a

stellung der Abnehmer auf die Kurve A abgestimmt werden. Dies würde praktisch so aussehen:

$x_{5'}$; $x_{4'}$; $x_{3'}$	— voll geöffnet
$x_{2'}$	— teilweise gedrosselt
$x_{1'}$	— stark gedrosselt
$x_{EG'}$	— voll gedrosselt
$x_{5''}$; $x_{4''}$; $x_{3''}$	— voll geöffnet
$x_{2''}$	— halb gedrosselt
$x_{1''}$; $x_{EG''}$	— voll gedrosselt (nicht ausreichend).

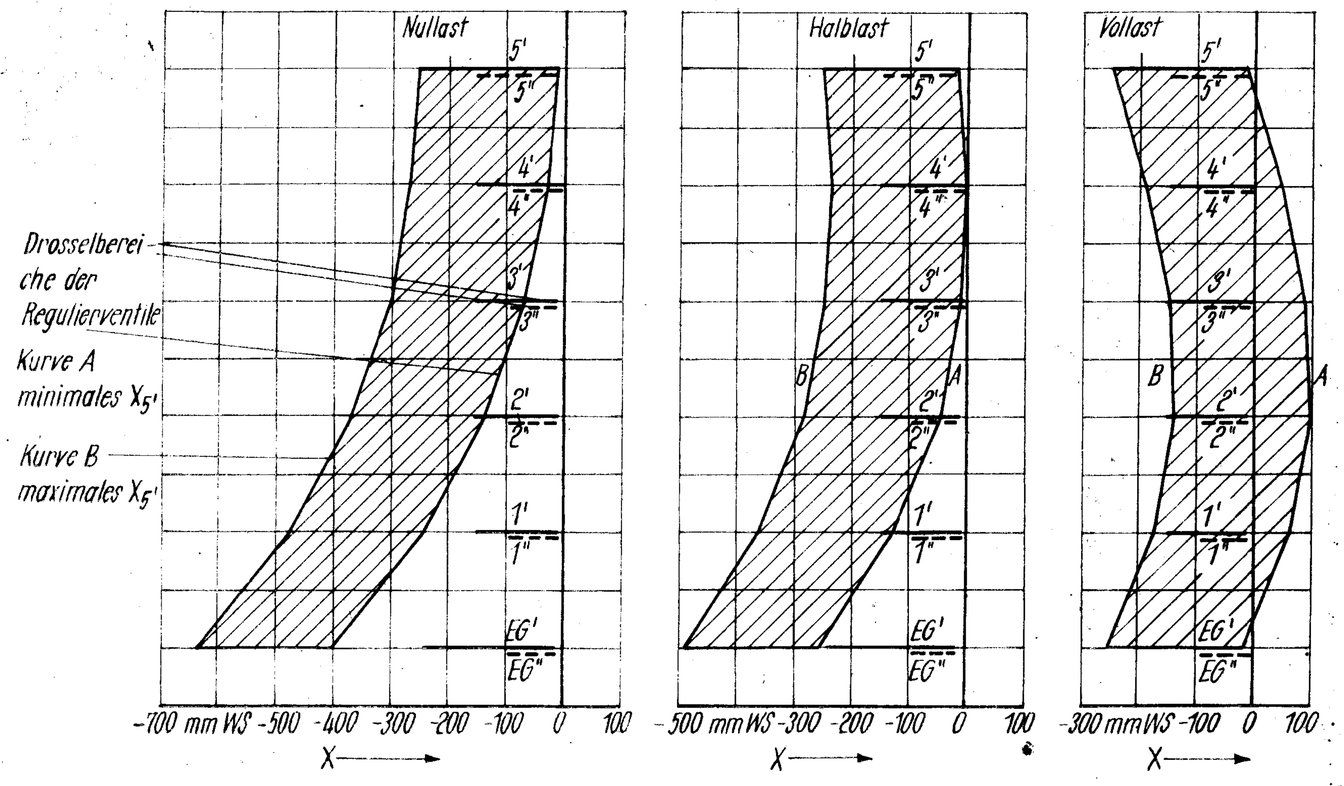
Diese Stellungen auf den Vollast- und Null-Lastfall übertragen, läßt sofort erkennen, daß keine Übereinstimmung mit der Kurve A auftritt. Die o. g. Drosselstellungen sind zunächst eine Überraschung, denn um den thermodynamischen Umtriebsdruck zu unterdrücken, sind die oberen Heizkörperventile meist stärker als die unteren zu drosseln.

Es liegt folgende Fehldimensionierung vor:

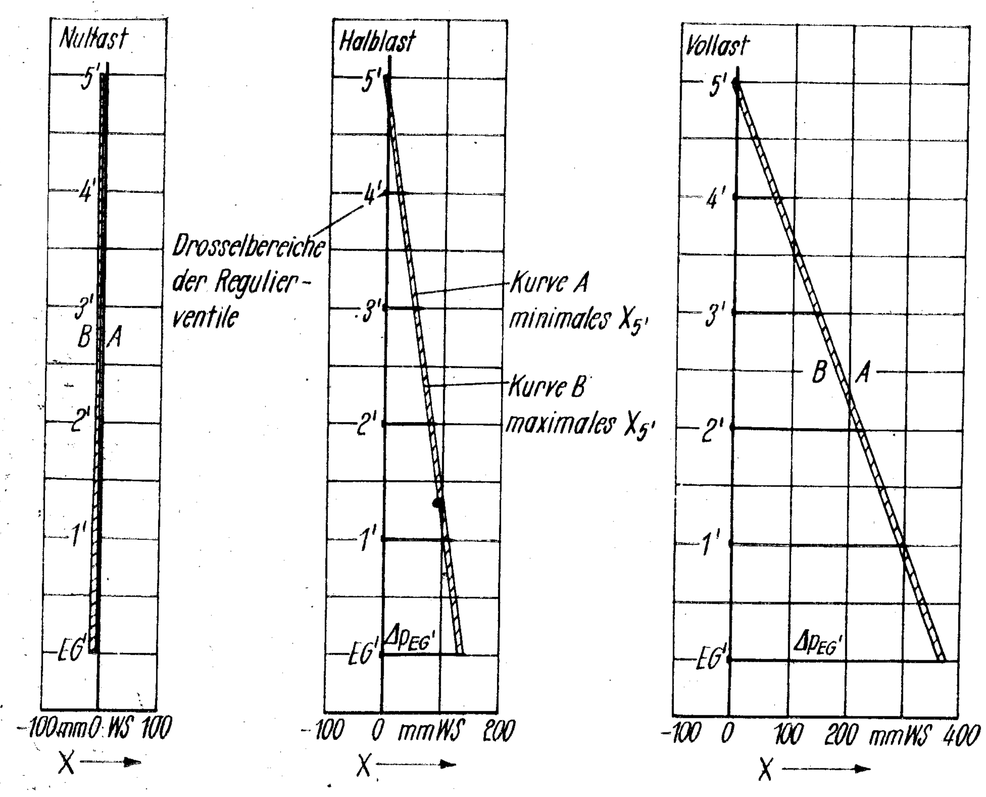
Fehler 4: Infolge gleicher Strangdurchmesser durch alle Geschosse tritt in den unteren Geschossen ein hoher Druckverlust auf. Er beträgt an der Anbindung des EG′ 386 mm WS mehr als bei 5′. Würde kein Auftrieb wirken, z. B. bei Nullast, so käme es nicht zu der gewünschten Massenstromverteilung, da die großen Druckunterschiede nicht mit dem 1/2″-Ventil gedrosselt werden können. Dies bedeutet, daß der Strang 1 auch als „waagerechtes Verästelungssystem" funktionsunfähig wäre. Der Einfluß der unterschiedlichen Druckverluste ist größer als die Wirkung des Auftriebes, deshalb ergibt sich die starke Krümmung der Kurve A nach links.

Der Projektant hat dies nicht erkannt, da er nur jeweils den obersten Heizkörper eines Stranges in seine Rechnung aufnahm und die übrigen Stromkreise außer Acht ließ.

Generell entgegengesetzt liegen die Verhältnisse am Strang 12 (Bild 2). Infolge der sehr geringen Strangbelastung beträgt der Differenzdruck zwischen EG′ und 5′ nur 4 mm WS. Damit wird der Druckverlauf bei Halb- und Vollast nur durch den thermodynamischen Umtriebsdruck charakterisiert. Wird als Basiswert die Anpassung des obersten Geschosses $x_{5'}$ angenommen, so dürften nach Bild 2 die untersten Ventile nicht gedrosselt werden, sondern wegen $x > 0$ müßten theoretisch „kleine Pumpen" mit der Förderhöhe



1
Vorhandener Druckverlauf und mögliche Drosselung der Heizkörperventile am Strang 1



2
Vorhandener Druckverlauf und mögliche Drosselung der Heizkörperventile am Strang 12

$\Delta p_{EG'}$ eingesetzt werden. Praktisch verschiebt man allerdings durch eine gleichgroße Drosselung $|\Delta p_{EG'}|$ der obersten Abnehmer die Kurve A nach links, so daß stets nur Werte $x < 0$ auftreten.

Zwischen den Kurven A und B besteht wegen des geringen Drosselbereiches $x_{5'}$ kaum ein Unterschied (Tabelle 7).

Fehler 5: Die Zirkulation mußte gestört sein — untere Heizkörper blieben kalt bzw. wurden rückwärts durchströmt —, da der thermodynamische Umtriebsdruck im Voll-Lastzustand bei 5′ um 375 mm WS größer als bei EG′ ist. Mit den 1/2″-Ventilen kann ein derartiger Strang nicht beherrscht werden. Der thermodynamische Umtriebsdruck ist offenbar nicht beachtet worden.

Eine Durchsicht ergab, daß die übrigen Stränge zwischen diesen beiden Extremen liegen und somit keiner separaten Betrachtung bedürfen.

Die im Nachgang ermittelten Drosselscheiben wurden so bemessen, daß der im Halb-Lastfall entstehende thermodynamische Umtriebsdruck abgebaut wird. Nach Ermittlung des Projektanten sind das folgende Werte:

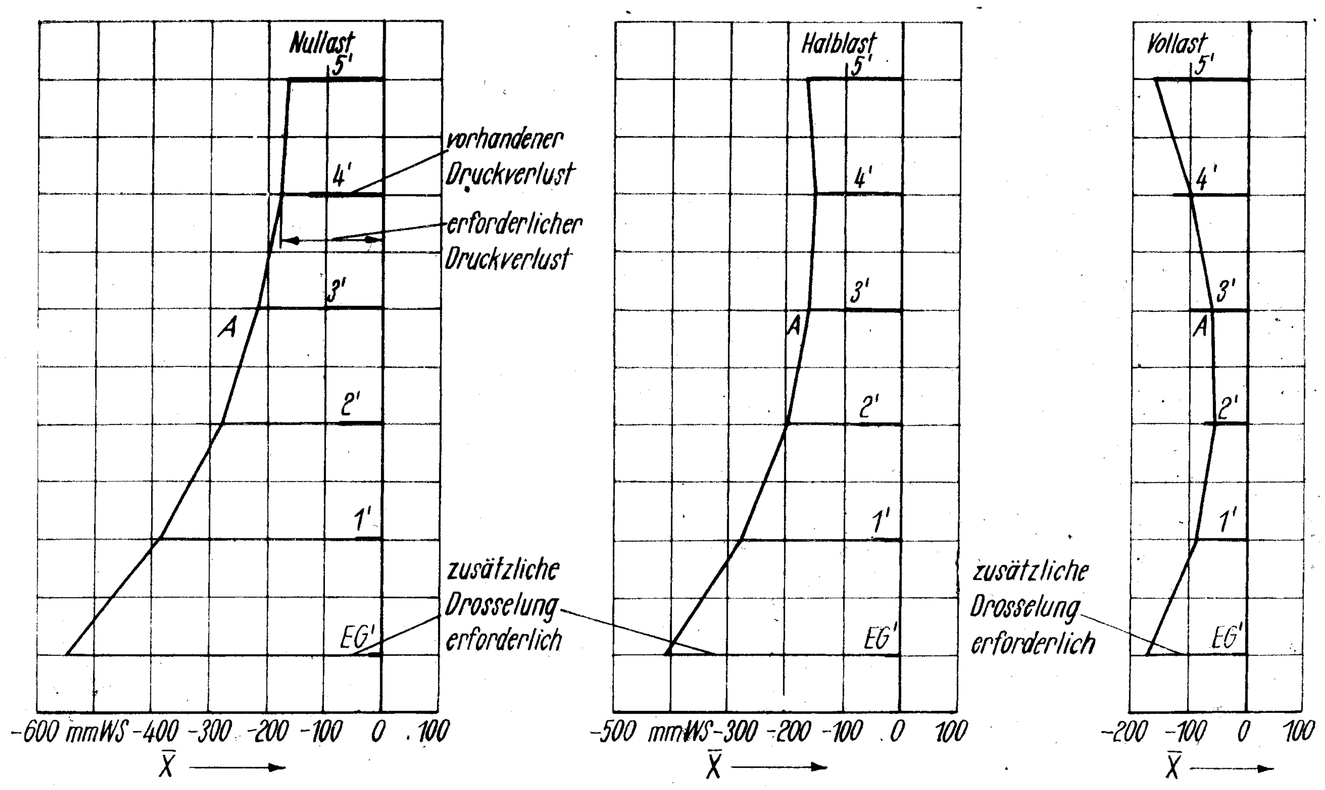
5. OG	148 mm WS	2. OG	64 mm WS
4. OG	120 mm WS	1. OG	36 mm WS
3. OG	92 mm WS	EG	8 mm WS

Auf der Grundlage der gewünschten Durchsatzmengen und der vorstehend genannten Druckdifferenzen wurden die Drosselscheiben dimensioniert und in die Ventilverschraubung eingelegt.

Fehler 6: Die Bemessung erfolgte nach [3]. Dies ist falsch, da sowohl in dieser Literatur ein Fehler in der theoretischen Ableitung vorliegt als auch die Berechnung der Drosselquerschnitte nur für ungestörte Ein- und Auslaufbedingungen gültig ist. Im vorliegenden Fall ist nur eine versuchstechnische Ermittlung in Kombination mit dem Ventil möglich.

Als Material für die Drosselscheiben wurde Aluminium gewählt. Die Drosselscheibe sollte gleichzeitig die Funktion der Dichtung in der Verschraubung übernehmen. Die Lochdurchmesser wurden im Bereich von 1,5 ··· 8 mm gewählt.

Fehler 7: Das Material ist absolut nicht zum Einbau in Stahlrohrleitungen geeignet, da durch Bildung von Lokalelementen eine starke elektrochemische Korrosion des Aluminiums auftritt.



3
Gegenüberstellung von erforderlichen und vorhandenen Druckverlusten der ungedrosselten Heizkörperventile und der gewählten Blenden am Strang 1

Tabelle 8: Drosselung durch vollgeöffnete Heizkörper-Regulierventile und gewählte Blenden

Strang 1 mm WS		Strang 12 mm WS
$\bar{x}_{5'}$	= *−163**	*−149**
$\bar{x}_{5''}$	= −157	
$\bar{x}_{4'}$	= −129	−120
$\bar{x}_{4''}$	= −125	
$\bar{x}_{3'}$	= −101	− 92
$\bar{x}_{3''}$	= − 97	
$\bar{x}_{2'}$	= − 73	− 64
$\bar{x}_{2''}$	= − 69	
$\bar{x}_{1'}$	= − 45	− 36
$\bar{x}_{1''}$	= − 41	
$\bar{x}_{EG'}$	= − 22	− 8
$\bar{x}_{EG''}$	= − 13	

* Basiswert für die Auswertung der Tabellen 5a und 6a

Schon nach kurzer Zeit (etwa drei Monate) zeigte sich Lochfraß, und Undichtheiten waren die Folge. Auf Grund dessen wurden dann Drosselscheiben aus Kupfer eingesetzt. Entsprechend der elektrochemischen Spannungsreihe müßte sich der Ventilkörper auflösen. Infolge der vorhandenen großen Masse wäre eine gleichmäßige Abtragung problemlos. Es muß jedoch angenommen werden, daß sich an den Berührungsstellen Kupfer — Eisen Lokalelemente bilden, die direkt zum Lochfraß auf der Eisenseite führen und dadurch wiederum Undichtheiten bewirken. Das nunmehr vom Projektanten vorgeschlagene Einlegen von Drosselscheiben aus Plaste wird bezüglich der Festigkeit skeptisch beurteilt.

Fehler 8: Die gestellten Werkstoff-Forderungen
- weiches Material, um elastisches Abdichten zu gewährleisten
- hartes Material, damit die Kontur der Bohrung viele Jahre hindurch exakt erhalten bleibt

sind gegensätzlicher Natur und schließen sich aus. Es ist zu bedenken, daß im engsten Querschnitt Geschwindigkeiten bis 3 m/s auftreten und durch mitgeführte Schwebeteilchen Erosionen zu erwarten sind.

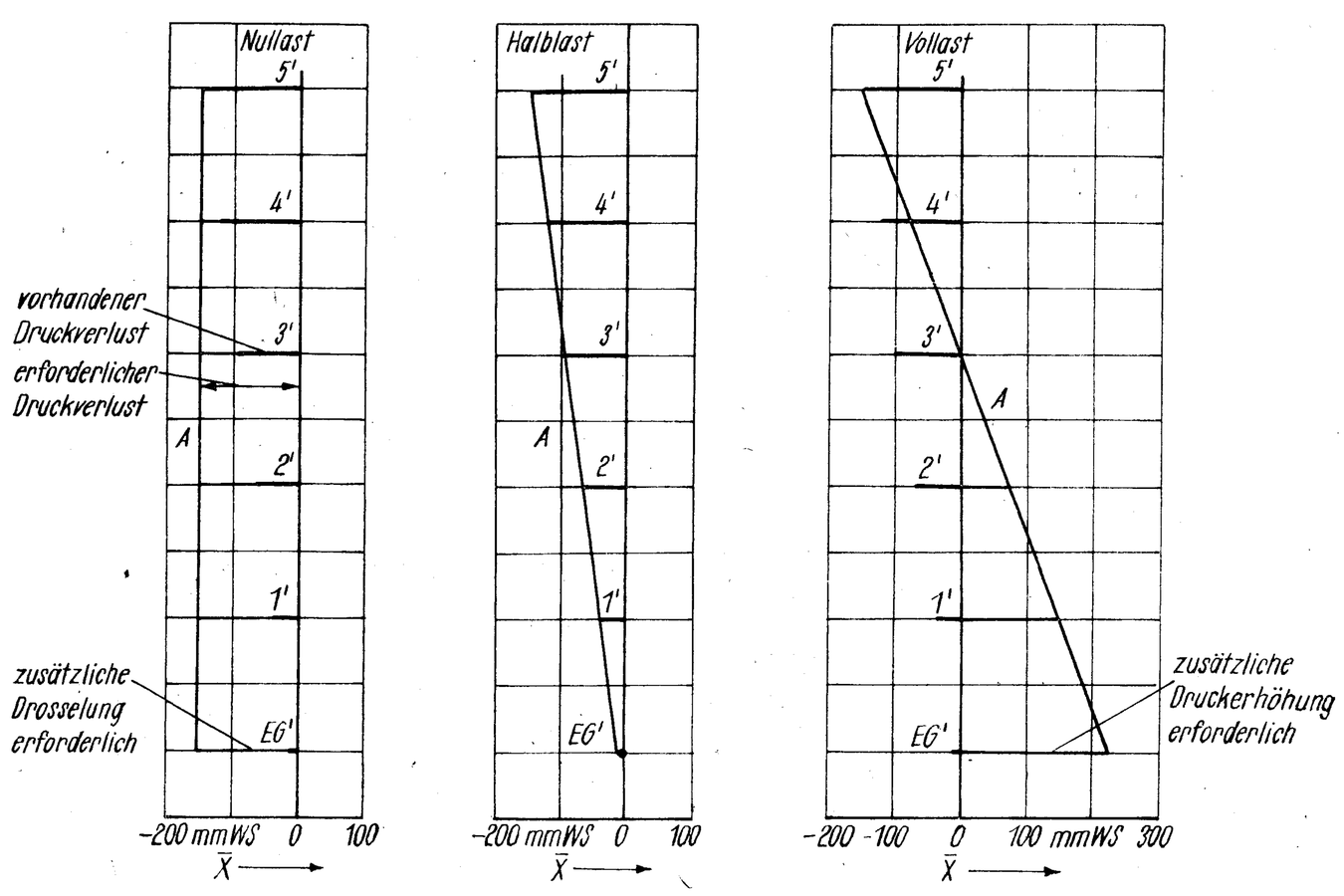
Deshalb wird vorgeschlagen, die geforderten Funktionen zu trennen und z. B. Drosselscheiben aus V2A-Stahl mit beiderseits aufgeklebten, dünnen elastischen Dichtringen einzusetzen.

Fehler 9: Die zu erwartenden Probleme durch Geräusche und mögliche Verstopfungen konnten von vornherein nicht gelöst werden.

Im weiteren ist zu untersuchen, welche Auswirkungen das abgestufte Drosseln überhaupt auf den Wasserumlauf hat. Es sei zunächst aus didaktischen Gründen der Strang 12 (Badstrang) betrachtet. In Tabelle 8 sind die Druckverluste $\bar{x}_i$ bei voll geöffnetem Ventil und eingelegter Drosselscheibe wiedergegeben. In Tabelle 6a wurde dann die Druckbilanz erneut ausgewertet, allerdings mit dem Basiswert $\bar{x}_{5'}$. Die Übertragung in Bild 4 zeigt, daß bei Halb-Last eine ideale Massenstromverteilung entsprechend den projektierten Werten auftritt. Dies war zu erwarten, da die Strang- und Ventil-Druckverluste äußerst gering sind und die Bemessung der Drosselscheiben gerade für den Halb-Lastfall erfolgte. Die Gegenüberstellung von erforderlichen und vorhandenen Druckverlusten bei Null- und Voll-Last zeigt, daß in den vom Halb-Lastfall abweichenden Belastungen mit ungleichen Massenstromverteilungen zu rechnen ist. Bei Null-Last müßten die Anbindungen der unteren Geschosse weiter gedrosselt werden, bei Voll-Last dagegen wäre eine zusätzliche „Druckerhöhung" erforderlich. Da letzteres nicht praktikabel ist, ist durchweg eine stärkere Drosselung vorzusehen.

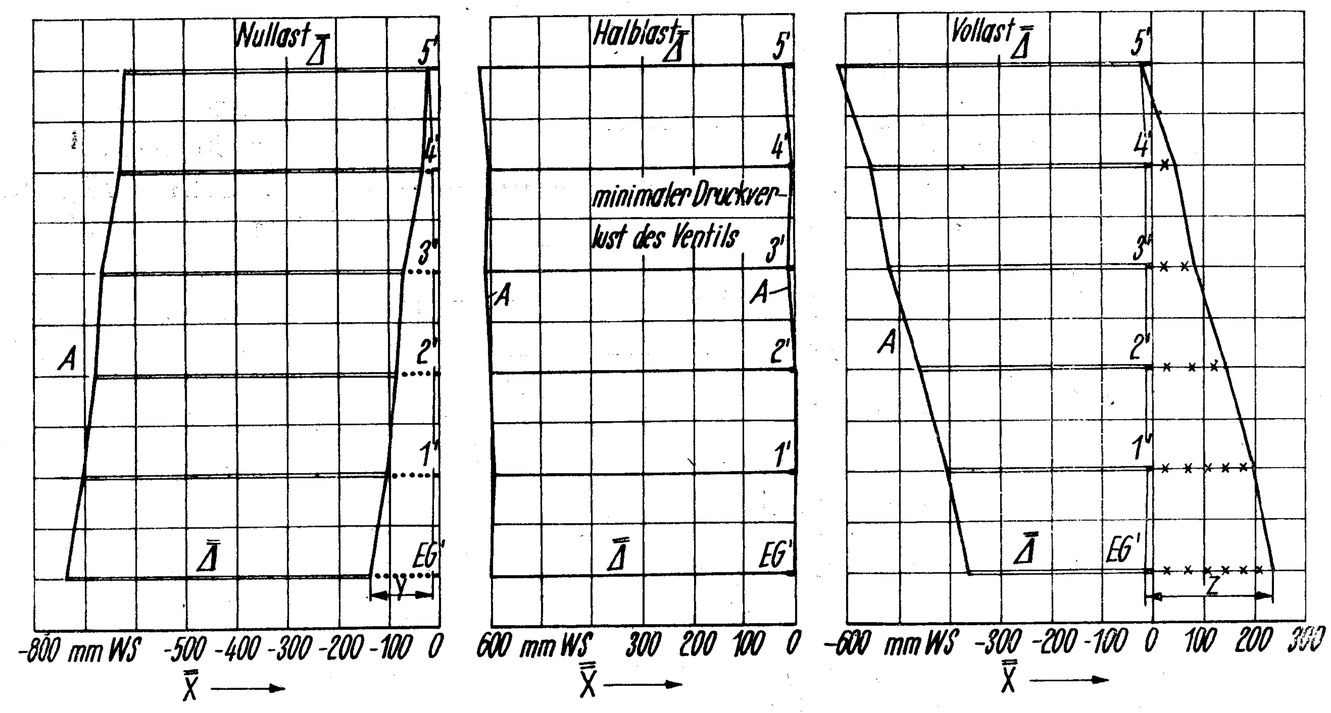
Fehler 10: Es reicht nicht aus, nur den thermodynamischen Umtriebsdruck, der im Halb-Lastfall entsteht, in den Heizflächenstrecken zu drosseln, sondern diese Werte sind um einen konstanten, möglichst großen Druckverlust in allen Heizflächenstrecken zu erhöhen.
Dadurch fallen dann die physikalisch bedingten Änderungen des Umtriebsdruckes nicht ins Gewicht. Werden z. B. als zusätzlicher konstanter Druckverlust $\bar{\bar{\Delta}} = -600$ mm WS gewählt, so entstehen die rechnerischen Druckverläufe nach Bild 6. Die eigentlich erforderlichen „Druckminderungen" Y und „Druckerhöhungen" Z haben gegenüber $\bar{\bar{\Delta}}$ keine große Bedeutung. Auf Grund des Selbstregulierefektes werden sich in der Praxis positive und negative Abweichungen der projektierten Massenströme und Temperaturspreizungen längs des Stranges ergeben. Eine genaue quantitative Aussage ist nur über Iterationen möglich und einer manuellen Berechnung kaum zugängig.
Leider ergeben sich bei Strang 1 nach Einsatz der Drosselscheiben bedeutend schlechtere Ergebnisse als bei Strang 12. Analog wurde mit den Werten der Tabelle 8 die Tabelle 5a komplettiert und das Bild 3 erarbeitet. Der unter Fehler 4 kritisierte Fehler pflanzt sich hier verstärkt fort.

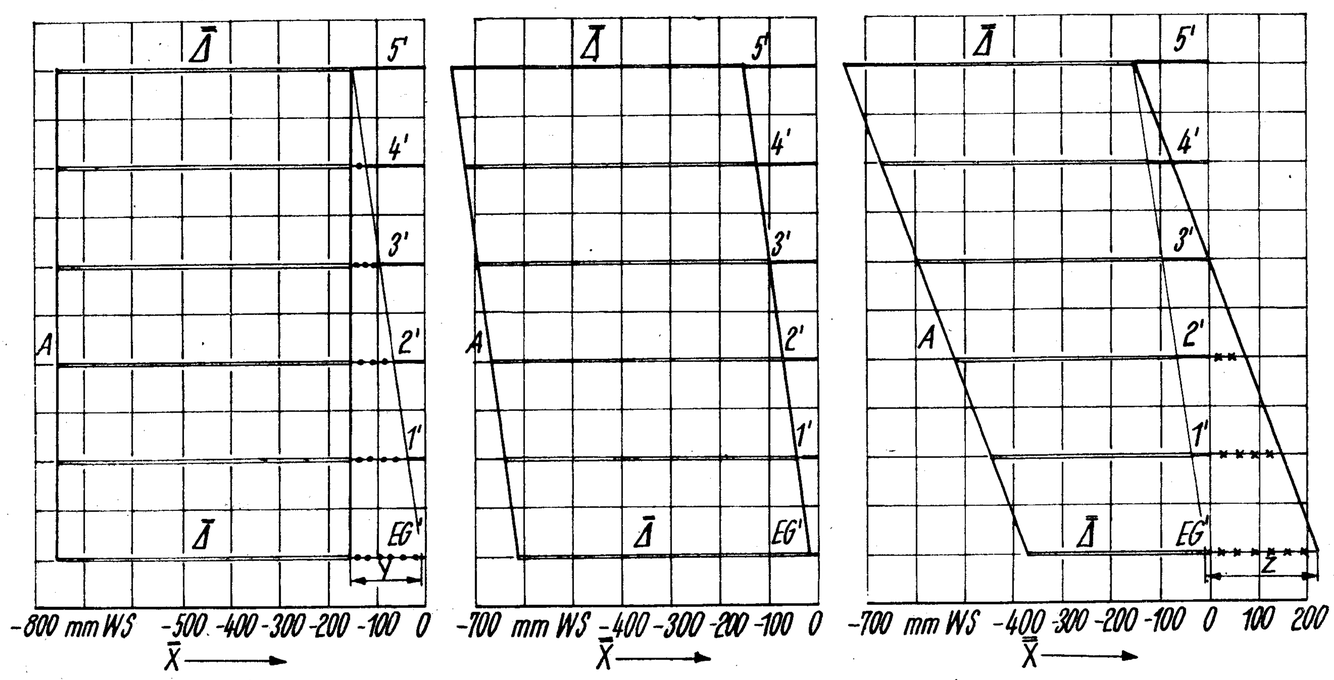
Fehler 11: Durch die großen Druckverluste im Strang müßte der unterste Heizkörperanschluß sehr stark gedrosselt und der oberste Anschluß voll geöffnet sein. Die getroffene Blendenauswahl — die nur auf den thermodynamischen Umtriebsdruck bezogen ist — würde jedoch eine Verstärkung des ungleichen Wasserzulaufes zu Lasten der oberen Abnehmer bewirken.
Eine Verbesserung ist durch Neudimensionierung des Stranges 1 möglich. Bis zum 3. OG sollte die Rohrdimension $^3/_4$"



4
Gegenüberstellung von erforderlichen und vorhandenen Druckverlusten der ungeregelten Heizkörperventile und der gewählten Blenden am Strang 12

5
Druckverlauf nach der Neudimensionierung bei vollgeöffneten Ventilen und zusätzlicher Drosselung $\bar{\bar{\Delta}}$ am Strang 1





6
Druckverlauf bei vollgeöffneten Ventilen, den gewählten Blenden und einer zusätzlichen Drosselung am Strang 12

gewählt werden. In den Tabellen 3, 5, 5 a sind dann die in Klammern stehenden Werte gültig. Damit läßt sich Bild 5 aufzeichnen. Ohne Verwendung von Drosselscheiben ergibt sich nunmehr bei Halblast die ideale Druckkurve A′, die durch vollgeöffnete Regulierventile nahezu ideal realisierbar ist. Um den wechselnden thermodynamischen Umtriebsdruck im Einfluß gering zu halten, wird auch hier — wie bei Strang 12 ausführlich beschrieben — eine zusätzliche konstante Vordrosselung aller Heizflächenstrecken von beispielsweise $\bar{\bar{\Delta}} = -600$ mm WS vorgeschlagen.
Abschließend bleibt festzustellen, daß bei den heizflächenbeaufschlagenden Massenströmen des Stranges 1 die hohen Druckverluste durch geeignete Ventile bzw. Drosselscheiben erreichbar sind. Dagegen können in den Anbindungen des Stranges 12 bei Durchsätzen von 3 kg/h solch hohe Drosselungen nicht realisiert werden. Das heißt, die Konzeption — die innenliegenden Bäder ($\dot{Q} = 130$ kcal/h) mit einer Zweirohrheizung bei 40 K Spreizung zu beheizen — ist technisch nicht zu verwirklichen.

3.1.2. Dimensionierung der Verteilungsleitungen

Eine genaue Nachrechnung des *Tichelmann*-Ringes war nicht möglich, da einige Diskrepanzen bei den angegebenen Teilstreckenbelastungen zwischen Formblatt und Grundriß bestanden. Generell ist der exakte Differenzdruck an jeder Stranganbindung nachzuweisen, da durch die Durchmesser- und Wassermengen-Änderungen auch beim *Tichelmann*-System beachtliche Unterschiede auftreten können.
Die schwachbelasteten Stränge (z. B. Strang 12) mußten eine Vordrosselung erhalten.

Fehler 12: Der Unterschied zwischen den Druckdifferenzen am Strangfuß (Strang 1 und 12) beträgt nach Tabelle 5a und 6 a $\Delta_{S1} - \Delta_{S12} = -953 - (-8) = -945$ mm WS.
Für die Berechnung der Drosselscheibe wurden jedoch nur -730 mm WS angesetzt.
Unabhängig vom Zahlenwert steht eine solch hohe Vordrosselung in keinem Verhältnis zu dem geringen Strangdruck und ist nicht praktikabel. Infolge von Fehler 10 muß der Differenzdruck am Strangfuß ohnehin stark vergrößert werden.

3.2. Sekundärnetz

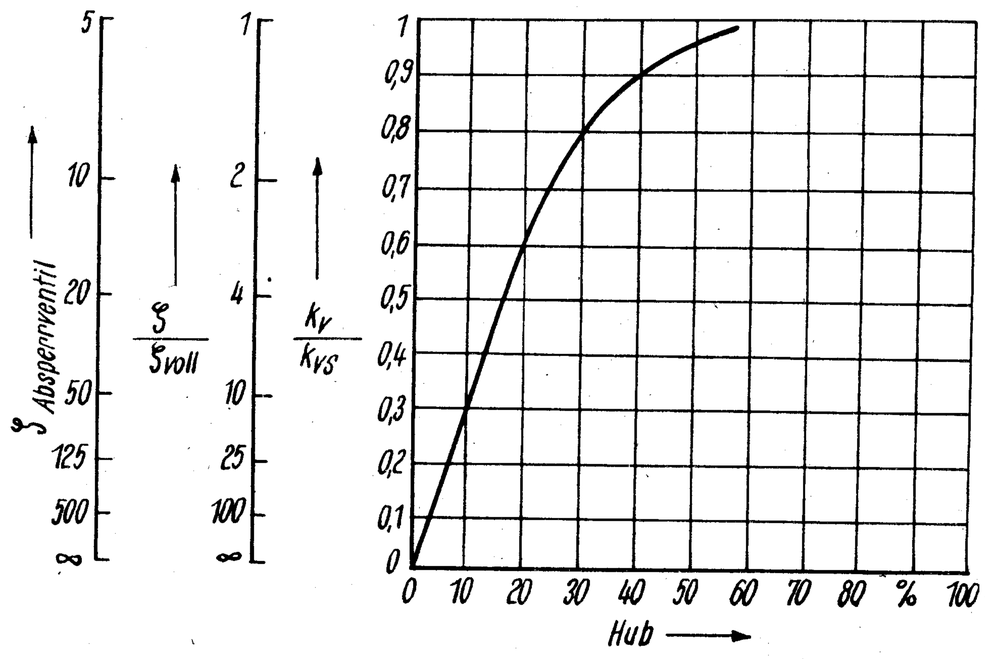
3.2.1. Dimensionierung der Gebäudeunterstationen

Der Projektant wies am Gebäudeanschluß einen Differenzdruck von rechnerisch $\Delta p = 1{,}8$ m WS aus, wählte dann aber $\Delta p' = 3$ m WS.

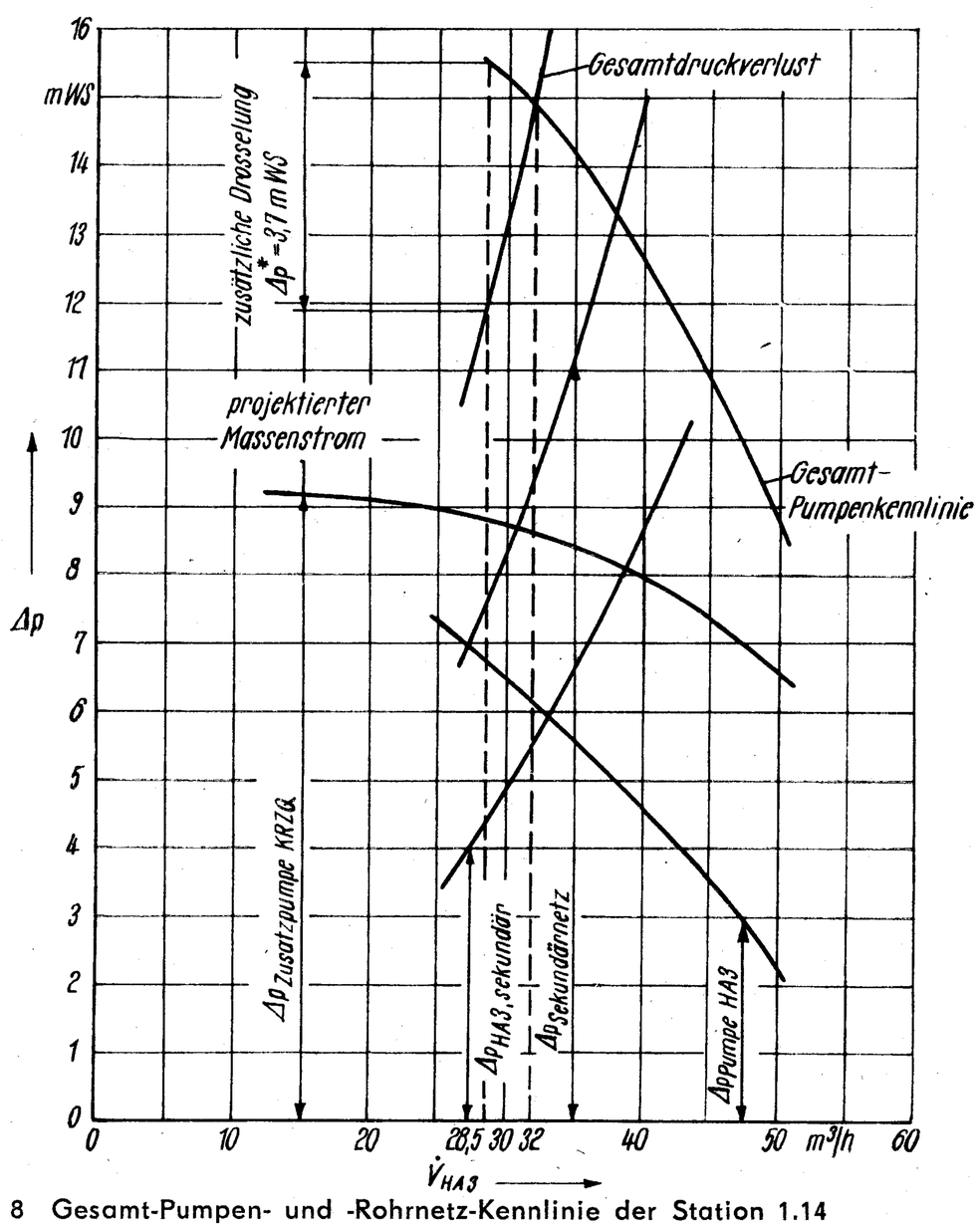
Fehler 13: Derartige Zuschläge sind nicht gerechtfertigt und lassen die gesamte Dimensionierung fraglich erscheinen. Die projektierten Wassermengen stellen sich dann natürlich nicht ein. Dies betrifft sowohl die Abnehmer im Gebäude als auch in starkem Maße die Blocks untereinander.

Hauptaufgabe der Unterstationen ist es, die gewünschten Differenzdrücke durch Drosselung bereitzustellen. Die anstehenden Differenzdrücke sind auf Grund des Sekundär-Verästelungssystems sehr unterschiedlich. Die erforderlichen Druckreduzierungen schwanken zwischen 4250 · · · 430 mm WS (Projektangaben). In Wirklichkeit liegen diese Werte mitunter höher. Soll der projektierte Massenstrom eingehalten werden, müßten zusätzlich etwa 3700 mm WS gedrosselt werden.

Für die ausgewählten Drosselventile NW 50, nach TGL 12 336, gibt es keine Kennlinien. Nach Angaben des Herstellers hat das Ventil keinen höheren Widerstand als die üblichen Absperrventile, die veränderte Kegelausführung gewährleistet lediglich eine bessere Dämpfung beim Schließen. Zur Zeit mußten die projektmäßig ausgeschriebenen Ventile jedoch noch durch normale Absperrventile nach TGL 6189 ersetzt werden. Die Drosselcharakteristik ist [4] entnommen und im Bild 7 aufgezeichnet. Zusätzliche Leitern gestatten das Ablesen des Verhältnisses Einzel-Widerstandsbeiwert/Einzel-Widerstandsbeiwert des vollgeöffneten Ventils und unter der Annahme $\zeta_{Ventil} = 5$ das Ablesen des Einzel-Widerstandsbeiwertes bei Drosselstellungen.



7 Einzel-Widerstandsbeiwert eines Absperrventils in Abhängigkeit des Ventilhubes für ζ (vollgeöffnet) = 5



8 Gesamt-Pumpen- und -Rohrnetz-Kennlinie der Station 1.14

Tabelle 9: Erforderlicher Einzel-Widerstandsbeiwert ζ in Funktion der Nennweite des Absperrventils

$$\Delta p_{Ventil} = \zeta \cdot S \rightarrow \zeta = \frac{4250}{S}; \quad \dot{m} = 7000 \frac{kg}{h}$$

Nennweite	mm	25	32	40	50
Staudruck S	mm WS	580	186	107	45,5
ζ	—	7,3	22,9	39,7	93,5

Tabelle 10: Meßwerte — Hausanschlußstation

Block	Geforderte Werte		Gemessene Werte	
	Δp mWS	$\dot{V}$ m³/h	Δp mWS	$\dot{V}$ m³/h
1,08	0,20	17,5	0,38 ... 0,40	21,6
1.21	0,23	18,75	0,48	19,5
1.26	0,44	16,6	0,49	18

Fehler 14: Das gewählte Ventil kann die gewünschte Druckminderung in den der Hausanschlußstation nächstgelegenen Unterstationen nicht stabil gewährleisten. Es ist eine zu große Nennweite eingesetzt worden.
Tabelle 9 zeigt die erforderlichen Einzel-Widerstandsbeiwerte in Abhängigkeit der Nennweite. Mit dem jeweiligen ζ-Wert kann der erforderliche Ventilhub aus Bild 7 abgelesen werden. Der Ventilhub darf keinesfalls unter 10 Prozent liegen, da instabiler Betrieb die Folge wäre. Dies wurde auch im praktischen Versuch deutlich. Bei 45 ··· 90° Öffnungswinkel lag bereits der erforderliche Gebäudedifferenzdruck an. Der instabile Kennlinienverlauf bei kleinem Hub ist durch geringste Verstopfungen und durch eine mögliche Schrägstellung des Ventilkegels gegeben. Letztere Möglichkeit ist konstruktionsbedingt allen Absperrventilen wegen des geforderten Dichtschlusses eigen. Bei Stellventilen dagegen wird der Kegel starr geführt, ein Dichtschließen wird dann nicht garantiert.

3.2.2. Dimensionierung der Sekundär-Verteilungsleitungen

Eine genaue Nachrechnung konnte wegen fehlender Unterlagen nicht erfolgen. Überschläglich ist die Dimensionierung — bis auf einen unbedeutenden Rechenfehler — in Ordnung.

3.2.3. Dimensionierung der Hausanschlußstationen

Die Station im Block 1.14 wurde nach den Hersteller- und Projektangaben genau nachgerechnet (Bild 8). Dabei stellte sich heraus, daß bezüglich des geforderten Differenzdruckes bzw. des geforderten Massenstromes eine Überdimensionierung vorliegt.
Des weiteren wurden drei beanstandete Hausanschlußstationen mit zusätzlichen Meßgeräten bestückt und vom Kundendienst des Herstellerbetriebes sowie der Gebäudewirtschaft durchgemessen. Dabei ergaben sich die in Tabelle 10 ausgewiesenen Werte. In allen genannten Fällen liegen die erreichten Werte über den Forderungen.
Große Meinungsverschiedenheiten bestanden über den möglichen Druckverlust des im Gebäuderücklauf in der Hausanschlußstation eingebauten Schrägsitzfilters. Druckverlustmessungen seitens des Armaturenherstellers liegen nicht vor. Sie sind andererseits auch in starkem Maße von Art und Umfang der Verschmutzung abhängig. Die Impulsentnahme für das Differenzdruck-Manometer wurde aus Gründen einer vollständigen Komplettierung beim Hersteller so vorgenommen, daß der Druckverlust des Filters und des Gebäudenetzes in Summe angezeigt wird. Da dies Spekulationen über die Größe der Anteile zuläßt, andererseits auch keine Messung des Filter-Widerstandes ermöglicht, ist eine nachträgliche Komplettierung zweckmäßig. Eine Umschaltmöglichkeit, die die Messung von Filter- und Netz-Differenzdruck gestattet, ist wünschenswert.

3.3. Fernheiznetz

Vom Energiekombinat selbst wurde bis zum 27. Januar 1976 eine Hauptursache für die Unterbeheizung bewirkt.

Fehler 15: Die Primär-Vorlauftemperatur wurde auf 110 °C begrenzt. Damit ist ein ordnungsgemäßer Betrieb eines auf 150 °C ausgelegten Netzes in der Nähe der Auslegungsbelastung ausgeschlossen. Seitens des Energiekombinates werden künftig die unter Pkt. 1 genannten Parameter — einschließlich des weiteren Ausbaues — garantiert.

4. Zusammenfassung

Als Hauptursachen der instabilen Wärmeversorgung sind die Unzulänglichkeiten F 4, F 5, F 10, F 14 und F 15 zu nennen.
Der Heizungsprojektant wählte die Zweirohrheizung, da er durch Verringerung der Drempelhöhe eine untere Verteilung verwirklichen mußte. Die dabei auftretenden Probleme wurden unterschätzt und fanden bei der bauwirtschaftlichen Optimierung keine Beachtung. Es ist jedoch falsch, im Zweirohrsystem an sich die Fehlerquelle zu sehen. Sie liegt vielmehr in der unzulässigen Überschreitung der Einsatzgrenzen, die

bei genauer Dimensionierung allerdings bereits im Projektstadium hätten erkannt werden müssen. Zweirohrheizungen mit großen thermodynamischen Umtriebsdrücken — wobei Spreizung und Gebäudehöhe Einfluß nehmen — können nur bei Vorhandensein von Regulierventilen mit großer Vordrosselung gebaut werden. Dazu seien einige Drosselwerte für einen Durchsatz von 50 kg/h gegeben:

1/2″ Ventil Roßwein	Δp =	15··· 240 mm WS	
3/8″ Ventil Roßwein	Δp =	200···1500 mm WS	(nur
1/2″ Ventil Ausland	Δp =	19···3500 mm WS	Infor-
3/8″ Ventil Ausland	Δp =	···8500 mm WS	mation!)

Das Einlegen von Drosselscheiben in die Ventilverschraubungen stellt lediglich eine Notlösung dar und sollte nur zur Stabilisierung vorhandener Anlagen, nicht aber für Neuprojekte, vorgesehen werden.

Obwohl das geplante 3/8″-Ventil Roßwein eine ansprechende Charakteristik aufweist, ist die Arretierung der Voreinstellung absolut ungenügend und jedem Unbefugten zugängig. Unabhängig davon, welches Ventil zum Einsatz gelangt, ist die Voreinstellung im Strangschema durch den Projektanten anzugeben. Da die geplante Spreizung bei den innenliegenden Bädern technisch nicht zu verwirklichen ist, wären für die Beheizung Elektrostrahler zweckmäßiger gewesen. Nach der Feststellung von Mängeln ist auf jeden Fall erst einer theoretischen Untersuchung der Vorrang zu lassen. Um eine rasche Verbesserung zu erzielen, wird oft sporadisch gehandelt und wertvolle Material- und Produktionskapazität gebunden, ohne den gewünschten Erfolg zu erzielen. Hier sind die Punkte F 7, F 9 und F 11 zu erwähnen. Bevor weitere Veränderungen vorgenommen werden, ist eine genaue Nachrechnung der Druckverhältnisse des gesamten Projektes erforderlich.

Zwischen den Zulieferbetrieben und den Projektanten müssen im Interesse einer optimalen Lösung enge Kontakte und beiderseitige Kompromißbereitschaft bestehen. So ist beispielsweise gegen die Hintereinanderschaltung von zwei Pumpen (Hausanschlußstation — zusätzliche Pumpe) bezüglich der Funktionstüchtigkeit nichts einzuwenden. Aus technischen und ökonomischen Gründen wäre es jedoch zweckmäßiger gewesen, nur ein Aggregat mit entsprechenden Parametern einzusetzen.

Die im Fehler 15 beschriebene Fahrweise des Primärnetzes stellt einen eklatanten Verstoß gegen die notwendige und vertraglich geregelte Betriebsweise dar, der vorausschaubar zur Unterbeheizung der Wohnungen führte.

Eingaben der Mieter sind durch die Gebäudewirtschaft auf die sachliche Richtigkeit hin zu kontrollieren. Dabei sollte der Mieter über eine ordnungsgemäße Meßdurchführung (Thermometer in Raummitte 1,50 m über Fußboden) belehrt werden, bevor die Nachprüfung durch die Gebäudewirtschaft erfolgt. Des weiteren ist es zweckmäßig — wie dies auch einige Gebäudewirtschaften praktizieren — die Kontrollen bei unbegründeten Einsprüchen kostenpflichtig für den Mieter zu machen. Eine exakte Analyse der tatsächlichen Mängel stellt einen wichtigen Schritt bei der Ursachenerforschung dar.

Literatur

[1] *Glück:* Gutachten über eine Heizungsanlage. *„Stadt- und Gebäudetechnik“*, H. 3/1976

[2] *Glück:* Berechnung der Druckverluste in Rohrleitungen und Formstücken. *„Stadt- und Gebäudetechnik“*, H. 9/1974

[3] *Garms:* Handbuch für den Heizungsingenieur, 10. Auflage

[4] *Nicolai:* Auswahl und Bemessung von Stellventilen für Wasserheizungsanlagen. *„Stadt- und Gebäudetechnik“*, H. 2/1972