

Prof. Clemens Felmann
Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung

Umsetzung des Hydraulischen Abgleichs in Mehrfamilienhäusern

Fachsymposium »Effiziente Heizungsoptimierung«
28.05.2019 Mannheim

Hydraulischer Abgleich

Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinsparungsgesetz – EnEG) von 1976

§ 2 Energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden

(1) Wer Heizungs-, raumlufttechnische, Kühl-, Beleuchtungs- sowie Warmwasserversorgungsanlagen oder -einrichtungen in Gebäude einbaut oder einbauen lässt oder in Gebäuden aufstellt oder aufstellen lässt, hat bei Entwurf, Auswahl und Ausführung dieser Anlagen und Einrichtungen dafür Sorge zu tragen, **dass nicht mehr Energie verbraucht wird, als zur bestimmungsgemäßen Nutzung erforderlich ist.**

→ Warum weitere rechtlichen Zwänge?

Hydraulischer Abgleich

- Modellbasierte Analyse (Simulation)
- Normative Bewertung (DIN V 18599)
- Feldtest

VDMA 24199 (2005): Hydraulischer Abgleich

- Planung und Einstellung von Widerständen in Zweigströmen von verzweigten Netzen, um die erforderliche Ventilautorität zu erreichen.
- Versorgung der einzelnen Anlagenteile und Verbraucher in Heiz- und Kühlsystemen mit den vom Anlagenplaner errechneten Masseströmen und den wirtschaftlichen Betrieb der Anlage gewährleisten

DIN 18380 (VOB C): Der hydraulische Abgleich ist mit den rechnerisch ermittelten Einstellwerten so vorzunehmen, dass bei bestimmungsgemäßem Betrieb, also z. B. auch nach Raumtemperaturabsenkung oder Betriebspausen der Heizanlage, alle Wärmeverbraucher entsprechend ihrem Wärmebedarf mit Heizwasser versorgt werden.

DIN EN 14336 (2005): Hydraulischer Abgleich ist der Vorgang, die Volumenströme in den einzelnen Teilsystemen auf die in der Planung berechneten Soll-Volumenströme abzustimmen.



Hydraulischer Abgleich nur für Nenn-/Vollastfall gültig?
Was passiert bei Teillast?

Hydraulischer Abgleich – Fachunternehmererklärung

→ BAFA-Förderung: 30% der Nettoinvestition für Heizungsoptimierung durch hydraulischen Abgleich

→ VdZ: <https://www.vdzev.de/broschueren/formulare-hydraulischer-abgleich/>

Bestätigung des Hydraulischen Abgleichs für die KfW-/BAFA-Förderung (Einzelmaßnahme) - Formular Einzelmaßnahme -

Das vorliegende Verfahren zum Nachweis des Hydraulischen Abgleichs durch Fachbetriebe wurde mit KfW und BAFA abgestimmt.

Diese Bestätigung – ausgefüllt durch den Fachbetrieb – bitte dem Kunden aushändigen.

Sie ist im KfW-Förderprogramm Energieeffizient Sanieren – Zuschuss (430) und Kredit (152) mindestens 10 Jahre durch den Kunden aufzubewahren und nur auf Aufforderung der KfW zuzusenden.



Spitzenverband der
GEBÄUDETECHNIK

KfW-/BAFA-Antrag vom

KfW-Geschäftspartner Nummer – falls bekannt

1. Verfahren zur Durchführung des Hydraulischen Abgleichs (Zweirohrheizung mit Heizflächen)

Verfahren A

(Näherungsverfahren zulässig bei beheizten Nutzflächen bis 500m² je Heizkreis ausgestattet mit einer Pumpe oder Differenzdruckreglern/Durchflussreglern, siehe auch Fachregel, Mindestleistung)

Verfahren B

(in der Regel: Softwareberechnung, für alle Anlagengrößen, siehe auch Fachregel, grundsätzlich empfohlen)

Hydraulischer Abgleich – Verfahren

→ Durchflussmengen, Förderhöhe, Voreinstellwerte ermitteln

1. Verfahren zur Durchführung des Hydraulischen Abgleichs (Zweirohrheizung mit Heizflächen)

	Verfahren A	Verfahren B
Nachzuweisende Leistungen:¹	<ul style="list-style-type: none">■ Ermittlung der Heizflächendurchflüsse anhand einer abgeschätzten Heizlast (z. B. nach Baualtersklassen (W/m^2) oder installierter Heizflächengröße)■ Thermostatventile mit konventioneller Voreinstellung: Ermittlung der Voreinstellung mittels Heizflächendurchfluss und Annahme eines Differenzdruckes■ Thermostatventile mit automatischer Durchflussbegrenzung: Voreinstellwert = ermittelter Heizflächendurchfluss■ Überschlägige Ermittlung von:<ul style="list-style-type: none">• Systemtemperatur• Pumpenförderhöhe• Gesamtdurchfluss• Ggf. Einstellwerte von Strangarmaturen und/oder Differenzdruckreglern.²	<ul style="list-style-type: none">■ Raumweise Heizlastberechnung in Anlehnung an DIN EN 12831 inkl. relevanter Beiblätter. Vereinfachungen sind möglich (z. B. U-Werte nach Typologien)■ Heizflächenauslegung: Berechnen der Heizflächendurchflüsse in Abhängigkeit der geplanten Vor- und Rücklauftemperaturen und der Heizflächengrößen■ Ermittlung (in der Regel durch Rohrnetz-berechnung) von:<ul style="list-style-type: none">• Voreinstellwerten der Thermostatventile³• Pumpenförderhöhe• Gesamtdurchfluss• Ggf. Einstellwerte von Strangarmaturen und/oder Differenzdruckreglern.²• Optimierung der Vorlauf-temperatur bei Heizflächen im Bestand■ Wenn große Teile der Alt-Installation des Rohrnetzes im nicht sichtbaren Bereich liegen, ist eine Ermittlung der Voreinstellwerte durch Annahme von Rohrlängen und Nennweiten möglich.

Quelle: vdz

Hydraulischer Abgleich – Verfahren

→statische und dynamische Verfahren

Je nach Größe der Anlage, Dimensionierung des Rohrnetzes (Strömungskreis) und Auslegung der Regelventile sind Armaturen für den hydraulischen Abgleich vorzusehen.

Dies können sein:

- voreinstellbare Thermostatventile
- voreinstellbare Rücklaufverschraubungen in Kombination mit nicht voreinstellbaren Thermostatventilen
- Strangreguliertventile
- Differenzdruckregler (geeignet für durchflussvariable Strömungskreise)
- Durchflussregler (geeignet für durchflusskonstante und durchflussvariable Strömungskreise)

Hinweis:

Bei zu hohen Strömungsgeräuschen aufgrund zu hoher Differenzdrücke in mengenvariablen Anlagen sind Differenzdruckregler einzusetzen

Quelle: VDMA 24199

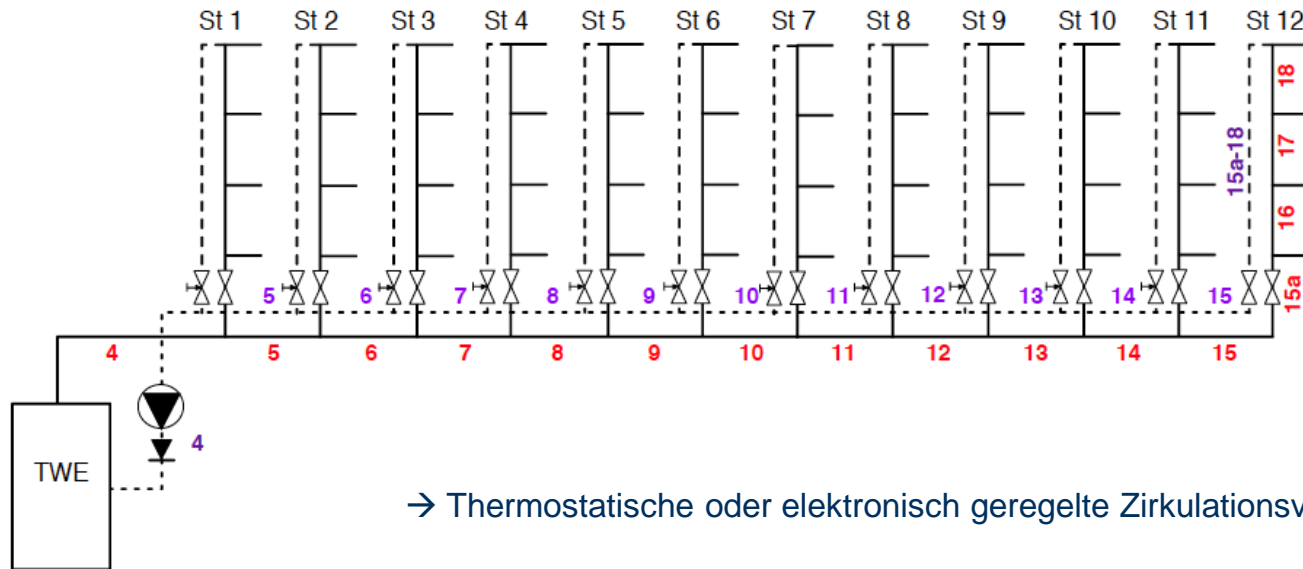
Hydraulischer Abgleich – in Trinkwarmwasseranlagen

Hydraulischer Abgleich in Heizungsanlagen, Kältesystemen oder Trinkwarmwasseranlagen?

DVGW W 551: Wichtig für Zirkulationssystem:

In Großanlagen sind Zirkulationssysteme einzubauen.

Zirkulationsleitungen und –pumpen sind so zu bemessen, dass im zirkulierenden Warmwassersystem die Warmwassertemperatur um nicht mehr als 5 K gegenüber der Speicheraustrittstemperatur unterschritten wird



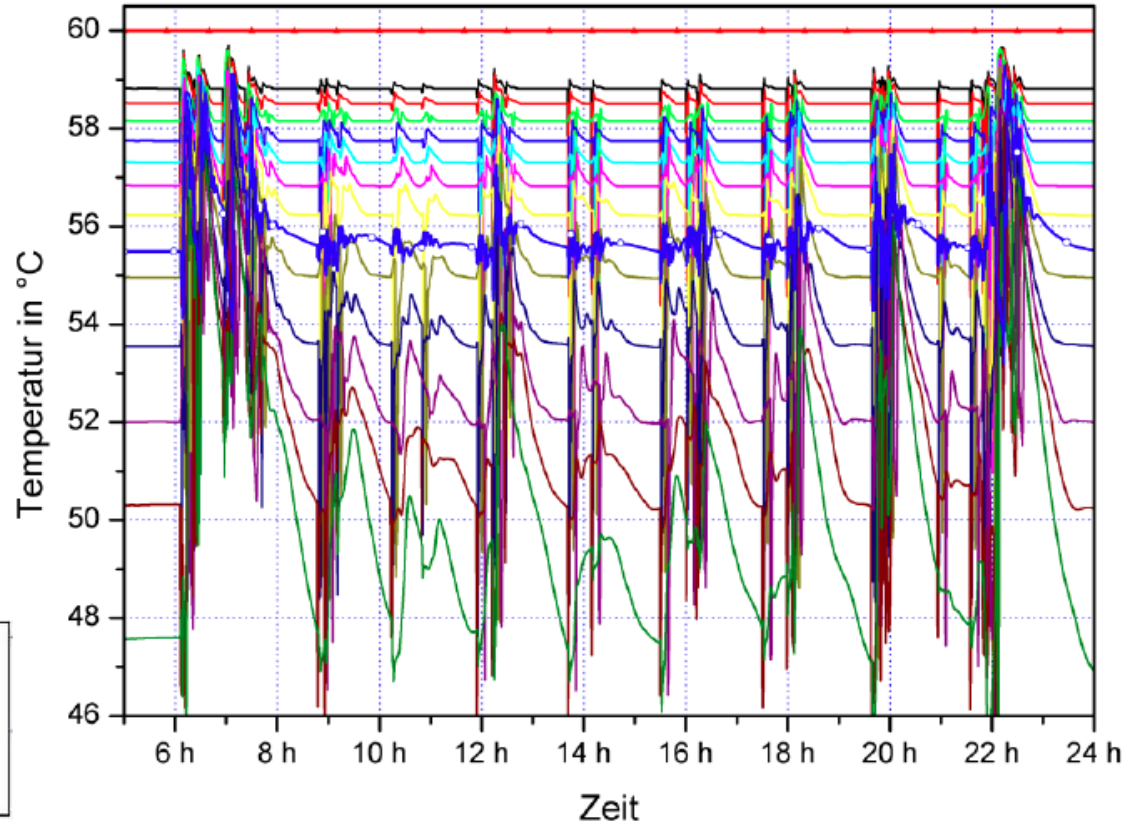
→ Thermostatische oder elektronisch geregelte Zirkulationsventile ?

Hydraulischer Abgleich – in Trinkwarmwasseranlagen

Temperaturen am Speicheraustritt, an der Zirkulationspumpe und an den Regulierventilen der einzelnen Stränge

→ $\Delta T > 5K$,

→ $\vartheta_{TWW} < 55^\circ C$ Legionellengefahr!!

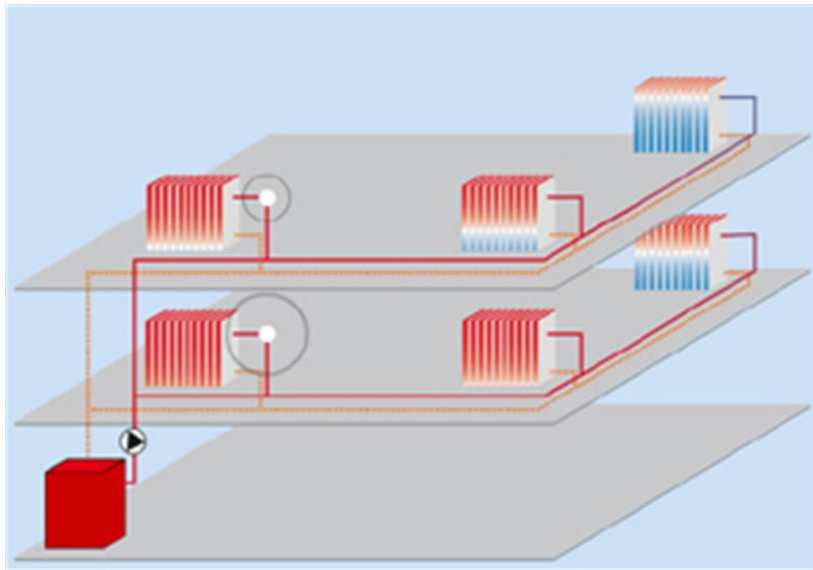


Hydraulischer Abgleich – in Heizungsanlagen

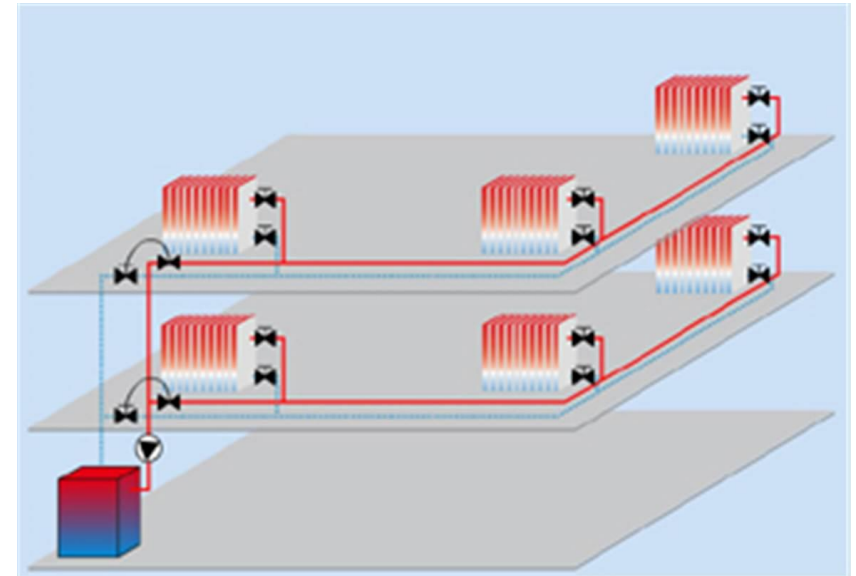
Motivation:

- Thermischer Komfort
- Kosteneinsparungen

ABER: Welcher Lastfall wird betrachtet und woraus resultieren die Vorteile?



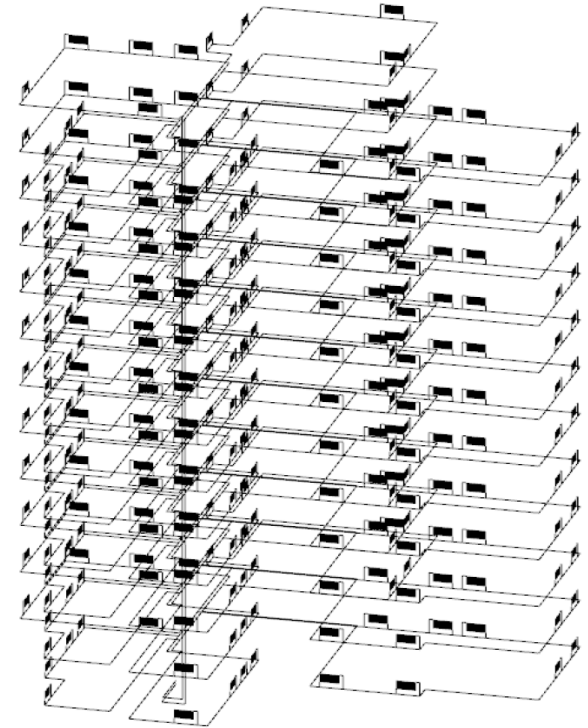
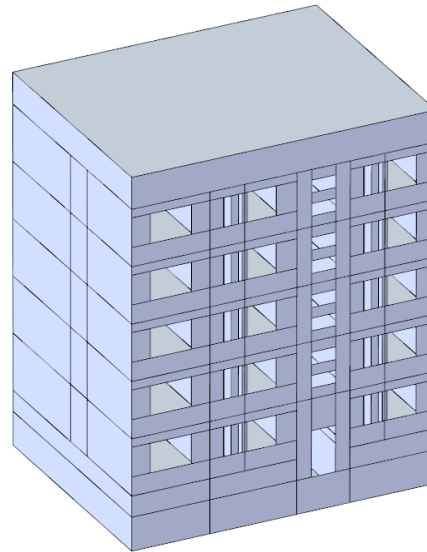
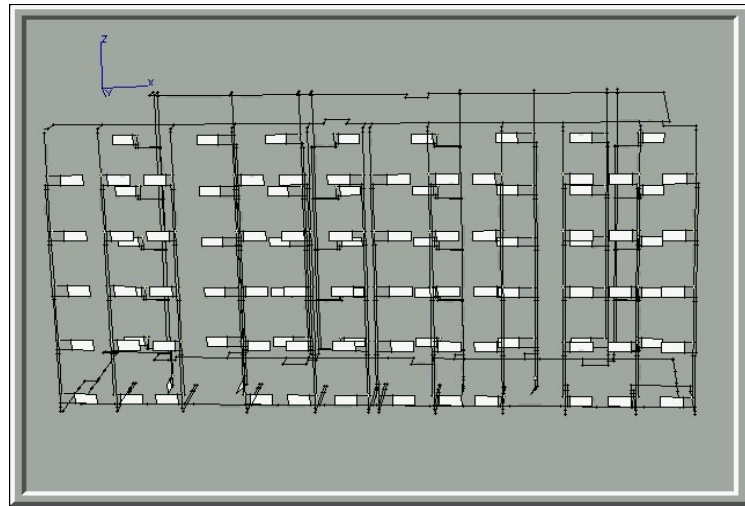
Quelle: oventrop.com



Hydraulischer Abgleich – Simulationsstudien

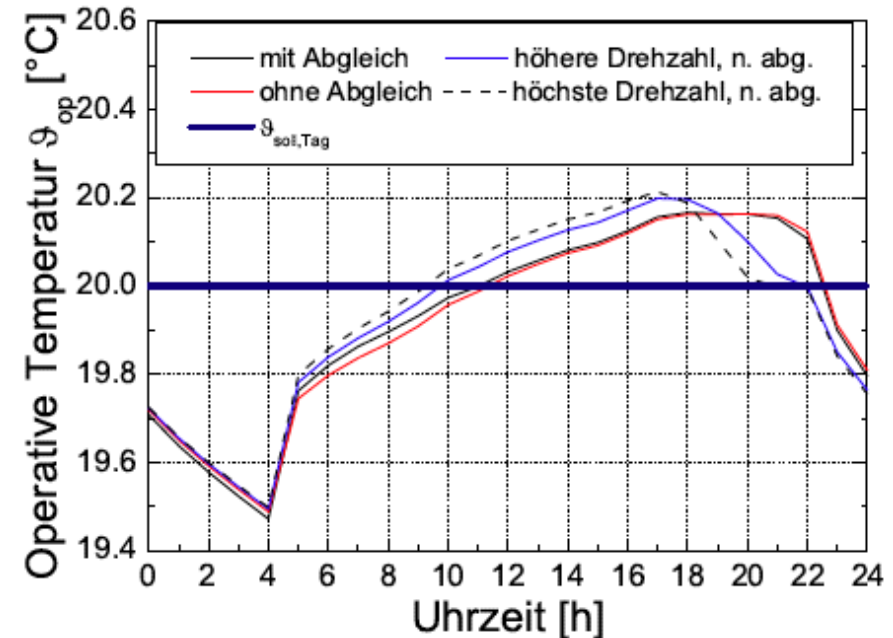
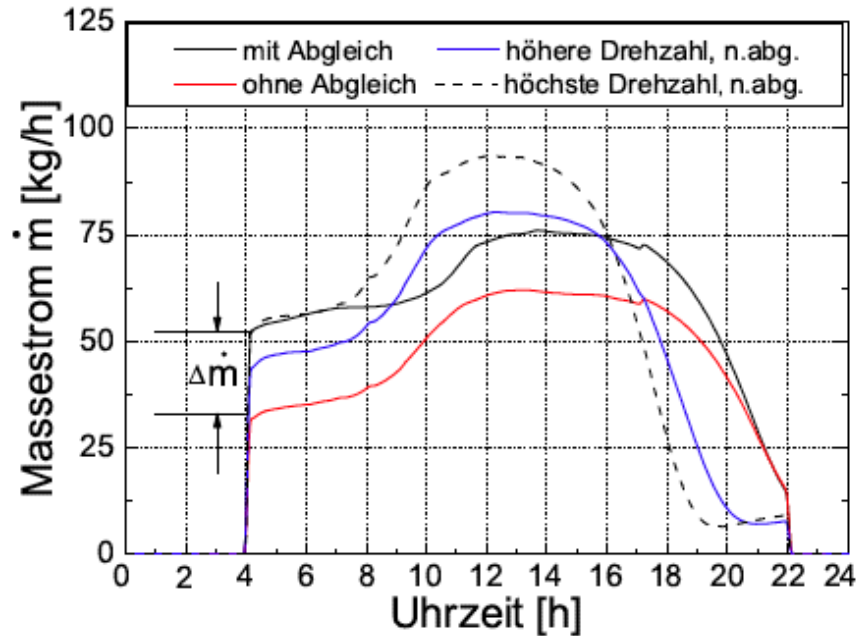
Simulationsprogramm TRNSYS-TUD

Detaillierte Analyse von Hydraulik, thermischem Verhalten, Energieeffizienz



Hydraulischer Abgleich – Simulationsstudien

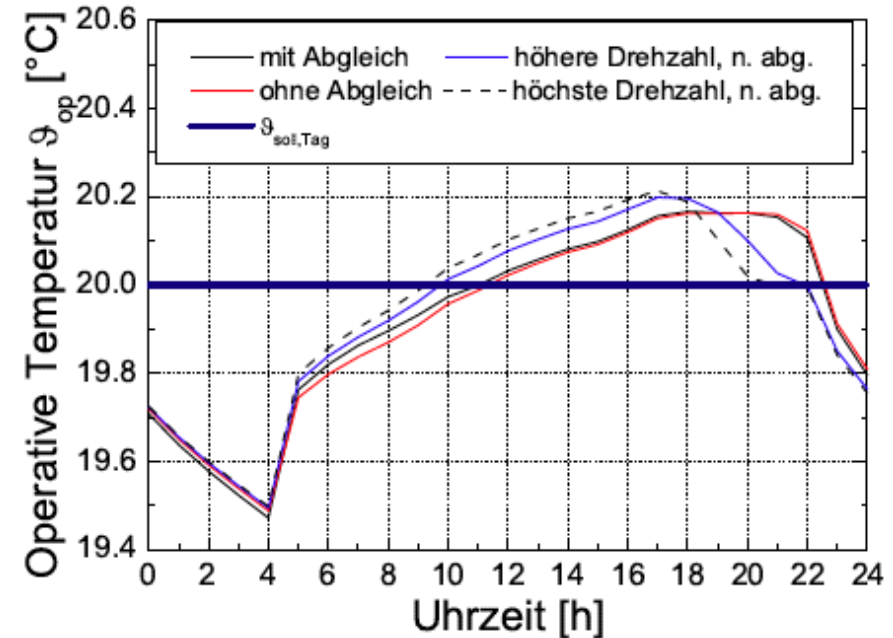
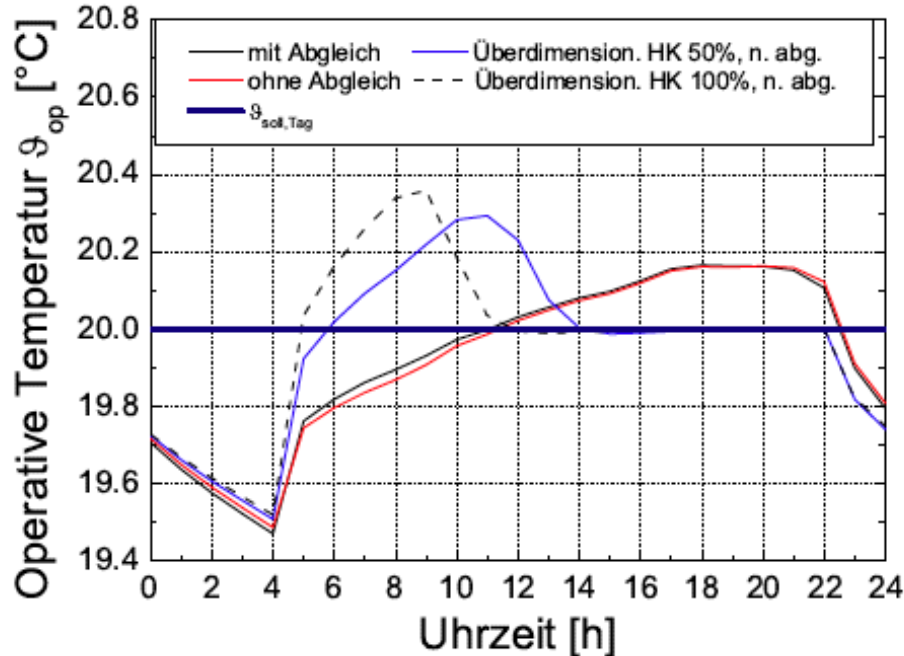
Fallbeispiel: Kompensation des fehlenden hydraulischen Abgleichs durch die **Erhöhung der Drehzahl an der Umwälzpumpe**: Auswirkung auf Temperaturverlauf im Raum ist gering!



Quelle: G. Guzek „Zur Energieeinsparung in Heizungsanlagen durch den hydraulischen Abgleich“ ; Dissertation TU Dresden 2009

Hydraulischer Abgleich – Simulationsstudien

Fallbeispiel: Kompensation des fehlenden hydraulischen Abgleichs durch die **Überdimensionierung der Heizfläche**: Auswirkung auf Temperaturverlauf im Raum ist groß!



Quelle: G. Guzek „Zur Energieeinsparung in Heizungsanlagen durch den hydraulischen Abgleich“ ; Dissertation TU Dresden 2009

Hydraulischer Abgleich – Normative Bewertung

Wirkungen:

- Örtliche Regelung (Wärmeübergabe)
- Rücklauftemperatur
- Aufwand für Wassertransport (Umwälzung)

Vergleich des Raumtemperaturverlaufs bei durchgehendem Betrieb: hydraulisch abgeglichenes Netz (links) und nicht abgeglichenes Netz (rechts)

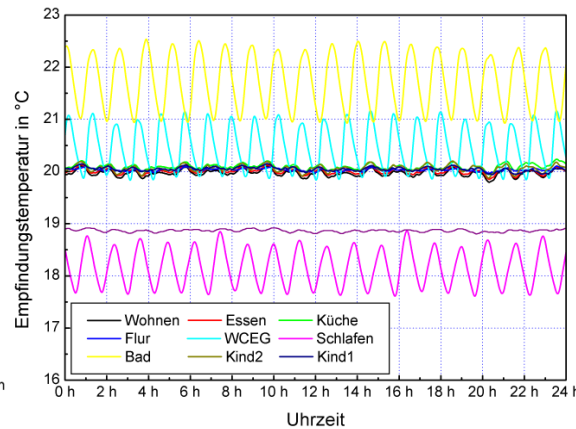
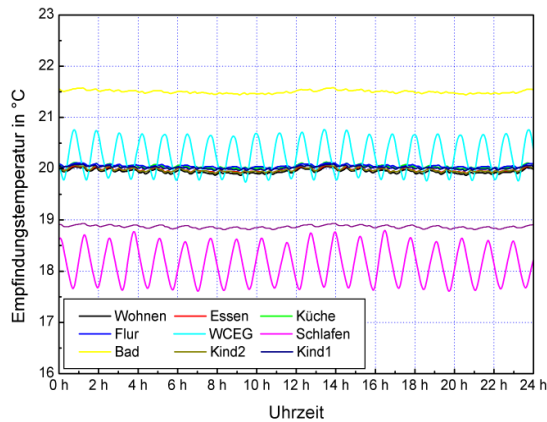


Tabelle 9 – Temperaturschwankungen bei der Wärmeübergabe in Hinblick auf den hydraulischen Abgleich in K

Einflussgrößen				
Durchgeführter hydraulischer Abgleich mit Herstellererklärung über den Abgleich und in Abstimmung mit DIN EN 14336				
Ein-Rohr-System	$\Delta\theta_{hydr}$	Zwei-Rohr-System	*n ≤ 10 $\Delta\theta_{hydr}$	*n > 10 $\Delta\theta_{hydr}$
kein hydraulischer Abgleich	0,7	kein hydraulischer Abgleich	0,6	
je Kreis statisch abgeglichen	0,4	Abgleich statisch je Heizkörper/-Heizfläche ohne Gruppenabgleich	0,3	0,4
je Kreis dynamisch abgeglichen (z. B. mit automatischen Durchflussbegrenzern)	0,3	Abgleich statisch je Heizkörper/-Heizfläche und Gruppenabgleich statisch (z. B. mit Strangregulierventil)	0,2	0,3
je Kreis dynamisch abgeglichen (z. B. mit automatischen Durchflussbegrenzern) und in Abhängigkeit von seiner Belastung	0,2	Abgleich statisch je Heizkörper/-Heizfläche und Gruppenabgleich dynamisch (z. B. mit Differenzdruckregler)	0,1	0,2
	0,1	Abgleich dynamisch je Heizkörper/-Heizfläche (z. B. mit automatischen Durchflussbegrenzern/Differenzdruckreglern)	0,0	

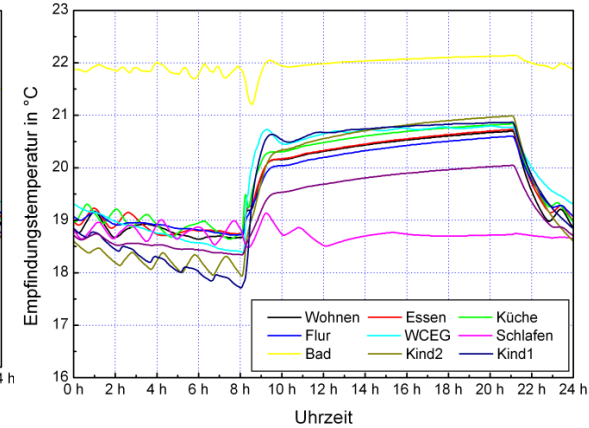
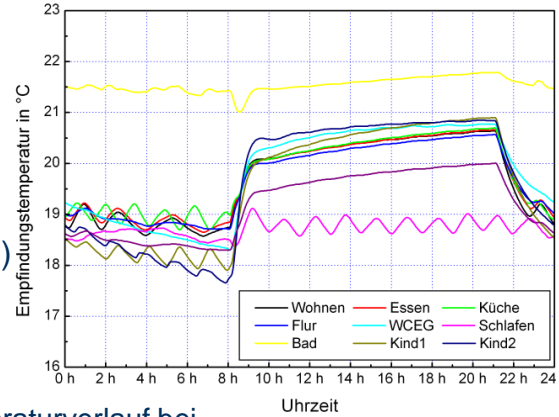
Quelle: DIN V 18599-5 (2018)

C. Felsmann: Hydraulischer Abgleich in DIN V 18599 Überarbeitung der Kennwerte für den Hydraulischen Abgleich in Rohrleitungen; ITG 2007

Hydraulischer Abgleich – Normative Bewertung

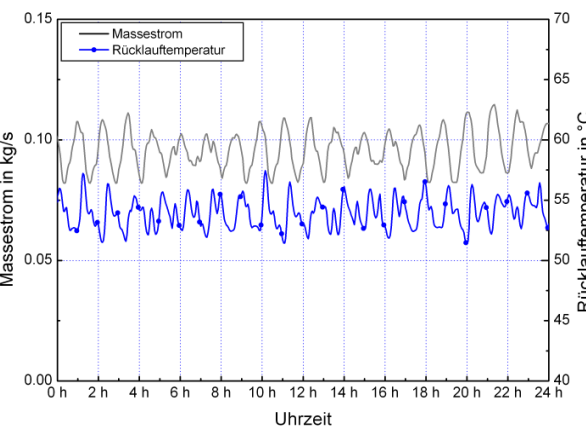
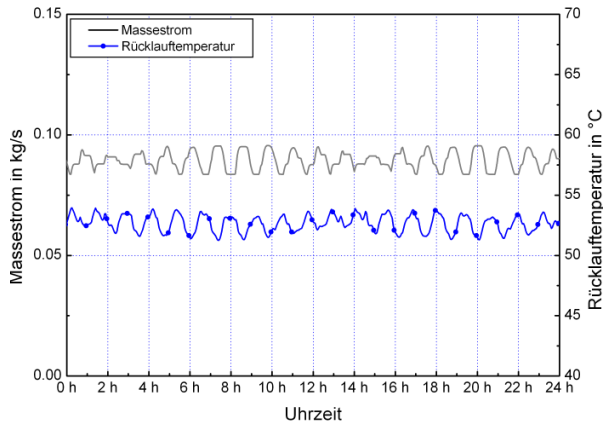
Wirkungen:

- Örtliche Regelung (Wärmeübergabe)
- Rücklauftemperatur
- Aufwand für Wassertransport (Umwälzung)



Vergleich von Massestrom- und Rücklauftemperaturverlauf bei durchgehendem Betrieb: hydraulisch abgeglichenes Netz (links) und nicht abgeglichenes Netz (rechts)

Vergleich der Raumtemperaturen bei intermittierendem Betrieb: hydraulisch abgeglichenes Netz (links) und nicht abgeglichenes Netz (rechts)



C. Felsmann: Hydraulischer Abgleich in DIN V 18599
Überarbeitung der Kennwerte für den Hydraulischen
Abgleich in Rohrleitungen; ITG 2007

Hydraulischer Abgleich – Normative Bewertung

Wirkungen:

- Örtliche Regelung (Wärmeübergabe)
- Rücklauftemperatur
- Aufwand für Wassertransport (Umwälzung)

Im Prozessbereich Verteilung beträgt die mittlere Belastung

$$\beta_{h,d} = \frac{Q_{h,b} + Q_{h,ce}}{\Phi_{h,max} \cdot t_h} \cdot f_{hydr}$$

Tabelle 6 — Faktor für den hydraulischen Abgleich

Einflussgrößen		f_{hydr}
1-Rohr-System	2-Rohr-System	
kein hydraulischer Abgleich		1,06
Durchgeführter hydraulischer Abgleich mit Herstellererklärung über den Abgleich und in Abstimmung mit DIN EN 14336 und		1,02
Durchflussregler oder ausschließlich statisch abgestimmte Systeme	mit mehr als 8 Heizkörpern/Heizflächen je automatischer Differenzdruckregler oder ausschließlich statisch abgestimmte Systeme	
Durchflussregler, Durchfluss im 1-Rohrstrang in Abhängigkeit von seiner Belastung dynamisch geregelt	maximal 8 Heizkörper/Heizflächen je automatischem Differenzdruck- und/ oder Durchflussregler	1,00

Für dezentrale Systeme ist f_{hydr} gleich 1.

Quelle: DIN V 18599-5 (2018)

Hydraulischer Abgleich – Verfahren

→DIN EN 14336 (2005): Anhang G (informativ):Anleitung für eine bewährte Praxis für den hydraulischen Abgleich

Die Qualität des hydraulischen Abgleiches hängt von der Genauigkeit des Durchflusses ab, Anlagen mit kleinen Temperaturunterschieden oder automatischen Heizkörperventilen brauchen keine große Genauigkeit,

..., dass die Qualität des hydraulischen Abgleiches nicht das einzige Kriterium ist, das Einfluss auf die Raumtemperatur hat.

Im Falle von Auslegungsfehlern der Anlage ist es möglich, dass ein genauer hydraulischer Abgleich keine Abhilfe bei Geräuschbildung schafft, es kann sogar sein, dass eine Verschlimmerung eintritt.

Tabelle G.1 — Größte und kleinste Durchflussabweichung der Auslegungsdurchflussraten durch die Heizkörper für verschiedene Auslegungstemperaturen bei Raumtemperaturen von 20 °C

Abweichung der Raum-Innentemperatur von 1 °C				Abweichung der Raum-Innentemperatur von 2 °C			
ts/tr (°C)	Zulässige Abweichung des Durchflusses (%)			ts/tr (°C)	Zulässige Abweichung des Durchflusses (%)		
	Auslegungs-Außentemperatur				Auslegungs-Außentemperatur		
	0 °C	- 10 °C	- 20 °C		0 °C	- 10 °C	- 20 °C
90/75	+/-40	+/-30	+/-20	90/75	+/-50	+/-40	+/-30
90/70	+/-25	+/-20	+/-15	90/70	+/-50	+/-40	+/-25
90/60	+/-25	+/-20	+/-15	90/60	+/-40	+/-30	+/-20
80/60	+/-25	+/-20	+/-15	80/60	+/-50	+/-40	+/-20
80/50	+/-15	+/-10	+/-5	80/50	+/-40	+/-30	+/-20
80/40	+/-15	+/-10	+/-5	80/40	+/-30	+/-20	+/-10
75/65	+/-40	+/-30	+/-20	75/65	+/-50	+/-40	+/-30
75/50	+/-25	+/-15	+/-5	75/50	+/-40	+/-30	+/-20
75/45	+/-15	+/-10	+/-5	75/45	+/-30	+/-20	+/-10
75/40	+/-15	+/-10	+/-5	75/40	+/-30	+/-20	+/-10
70/45	+/-15	+/-10	+/-5	70/45	+/-40	+/-30	+/-20
70/40	+/-15	+/-10	+/-5	70/40	+/-30	+/-20	+/-10
60/45	+/-25	+/-15	+/-5	60/45	+/-50	+/-40	+/-25
60/40	+/-25	+/-15	+/-5	60/40	+/-40	+/-30	+/-20
55/45	+/-25	+/-20	+/-15	55/45	+/-50	+/-40	+/-25

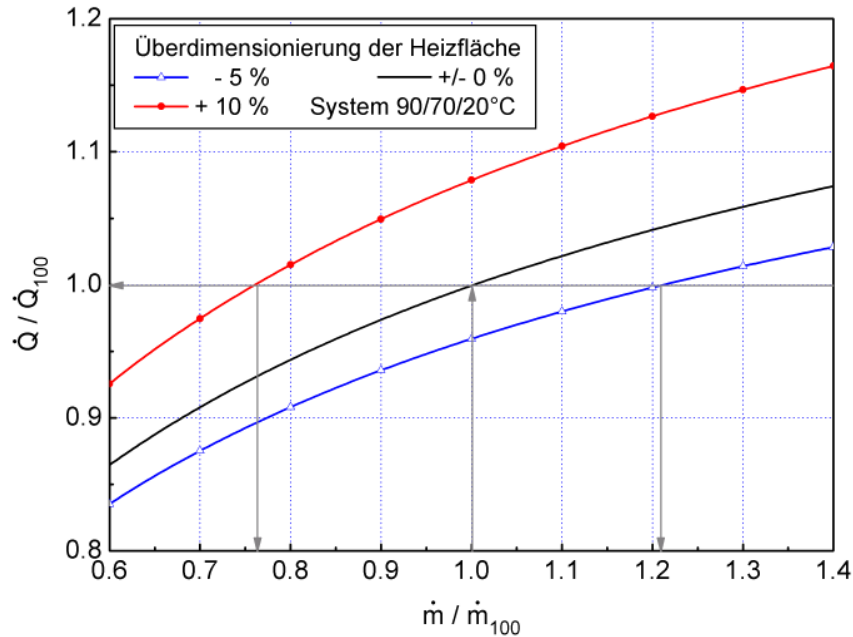
ANMERKUNG Nach EN 442-2:1996, 3.29, ist die Wärmeleistung eines Heizkörpers für eine Normreferenz-Lufttemperatur von 20 °C, eine Mediumtemperatur von 75 °C und eine Rückflusstemperatur von 65 °C definiert.

Quelle: DIN EN 14336 (2005) „Heizungsanlagen in Gebäuden – Installation und Abnahme der Warmwasser-Heizungsanlagen“

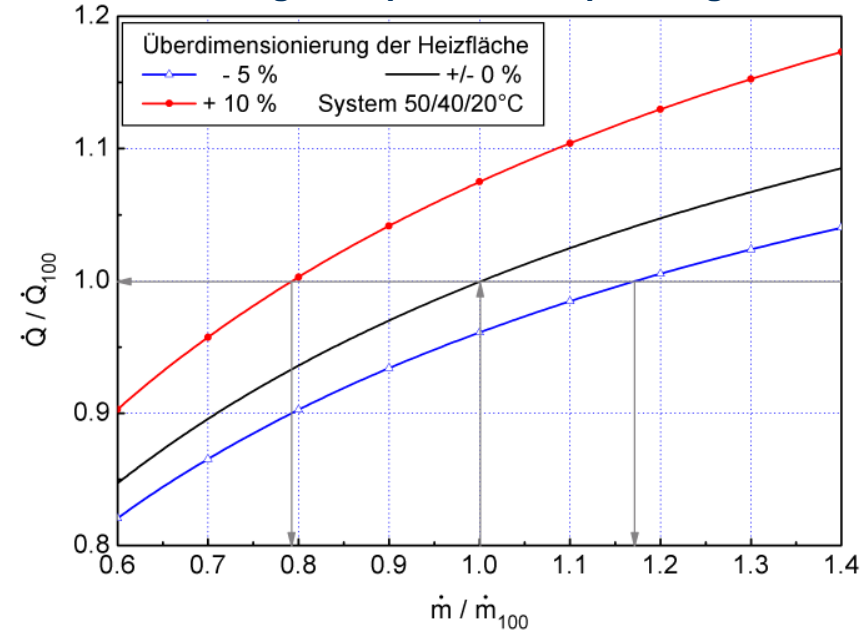
Hydraulischer Abgleich – Verfahren

Einfluss von Massestromabweichungen auf die Heizleistung (unter zusätzlicher Berücksichtigung der Heizflächendimensionierung → „gutmütiges System“)

Hohe Temperaturen; Spreizung 20 K



Niedrige Temperaturen; Spreizung 10 K



Quelle: eigene Berechnungen

Hydraulischer Abgleich – Verfahren

→ statisch: Voreinstellbare Ventileinsätze; Werkseinstellungen in Abhängigkeit der Heizkörpergröße

Widerstände lassen sich auch strangweise zusammenfassen: Strangreguliertventile!



RA-N (013G7382)



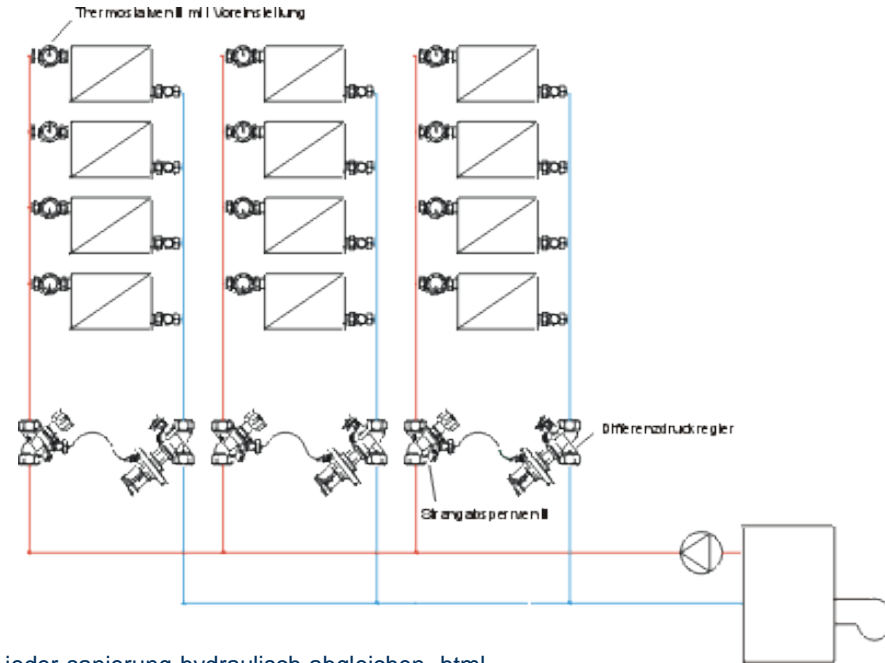
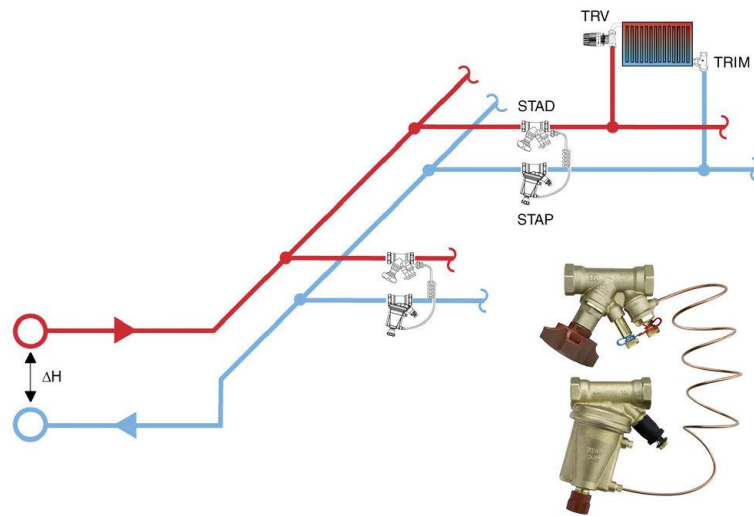
RA-U (013G7387)

Quelle: Danfoss; Bosch

BH [mm]	Normwärmeleistung	0	540	790	1090	13056	834	1452	1239	2033	633	924	600	1259	970	1682	1440
Heizkörperexponen	0,0000	1,2731	1,2824	1,3056	1,2627	1,3005	1,3041	1,3162	1,2534	1,2848	1,3080	1,2603	1,3094	1,3130			
BL [mm]	Typ	10	11	21	20	22	30	33	10	11	21	20	22	30	33		
400	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U5	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U5
500	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U5	U3	U3	U3	U3	U5	U3	U3	U5	U5
600	U3	U3	U3	U3	U3	U5	U3	U5	U3	U3	U3	U3	U5	U5	U5	U5	U5
700	U3	U3	U5	U3	U3	U5	U5	U5	U3	U3	U5	U3	U5	U5	U5	U5	N4
800	U3	U3	U5	U3	U5	U5	U5	N4	U3	U3	U5	U5	U5	U5	U5	U5	N4
900	U3	U3	U5	U3	U5	U5	U5	N4	U3	U5	U5	U5	N4	U5	U5	U5	N6
1000	U3	U5	U5	U5	N4	U5	U5	N4	U3	U5	U5	U5	N4	U5	U5	U5	N6
1100	U3	U5	U5	U5	N4	U5	U5	N6	U3	U5	U5	U5	N4	U5	U5	U5	N6
1200	U3	U5	U5	U5	N4	N4	N6	N6	U5	U5	N4	U5	N4	N4	N4	N6	N6
1300	U3	U5	U5	U5	N4	N4	N6	N6	U5	U5	N4	U5	N6	N4	N4	N6	N6
1400	U5	U5	N4	U5	N4	N4	N6	N6	U5	U5	N4	U5	N6	N4	N4	NN	NN
1500	U5	U5	N4	U5	N6	N4	N6	N6	U5	U5	N4	N4	N6	N6	N6	NN	NN
1600	U5	U5	N4	U5	N6	N4	NN	NN	U5	N4	N4	N4	N6	N6	N6	NN	NN
1800	U5	U5	N4	N4	N6	N6	NN	NN	U5	N4	N6	N4	N6	N6	N6	NN	NN
2000	U5	N4	N6	N4	N6	N6	NN	NN	U5	N4	N6	N4	N4	NN	N6	NN	NN
2200	U5	N4	N6	N4	N6	N6	NN	NN	U5	N4	N6	N6	N6	NN	N6	NN	NN
2300	U5	N4	N6	N4	NN	N6	NN	NN	N4	N6	N6	N6	N6	NN	NN	NN	NN
2400	U5	N4	N6	N4	NN	N6	NN	NN	N4	N6	N6	N6	N6	NN	NN	NN	NN
2600	U5	N6	N6	N6	NN	N6	NN	NN	N4	N6	NN	N6	NN	NN	NN	NN	NN
2800	N4	N6	N6	N6	NN	NN	NN	NN	N4	N6	NN	N6	NN	NN	NN	NN	NN
3000	N4	N6	NN	N6	NN	NN	NN	NN	N4	N6	NN	N6	NN	NN	NN	NN	NN

Hydraulischer Abgleich – Verfahren

- dynamisch: Differenzdruckregler: hydraulischer Abgleich oder hydraulische Entkopplung?
- Einsatz geregelter Umwälzpumpen verhindert Druckanstieg



Quelle: <https://www.sbz-online.de/Archiv/Heftarchiv/article-398071-101902/nach-jeder-sanierung-hydraulisch-abgleichen-.html>
<https://www.ikz.de/ikz-archiv/1999/13/9913048.php>

Die Allianz für einen klimaneutralen Wohngebäudebestand



Die Herausforderung:

- 50 Mio t
CO₂-Ausstoß*

vs.

- Investor-Nutzer-Dilemma
- Kostengünstiger Wohnraum



Die Partner:



Die Ziele:

Kleine Dinge – große Wirkung!

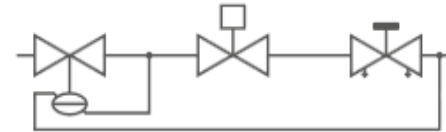
- Energieeffizienz-Maßnahmen, die wenig kosten und viel bringen
- Forschungsprojekte
 - Allianz-Pilotprojekt
 - BaltBest

* im Gebäudesegment 2014–2030 in D - Quelle: BMUB Klimaschutzplan 2050

Optimierung Wärmeverteilung – Hydraulischer Abgleich

Hydraulischer Abgleich mit dynamischen Ventilen

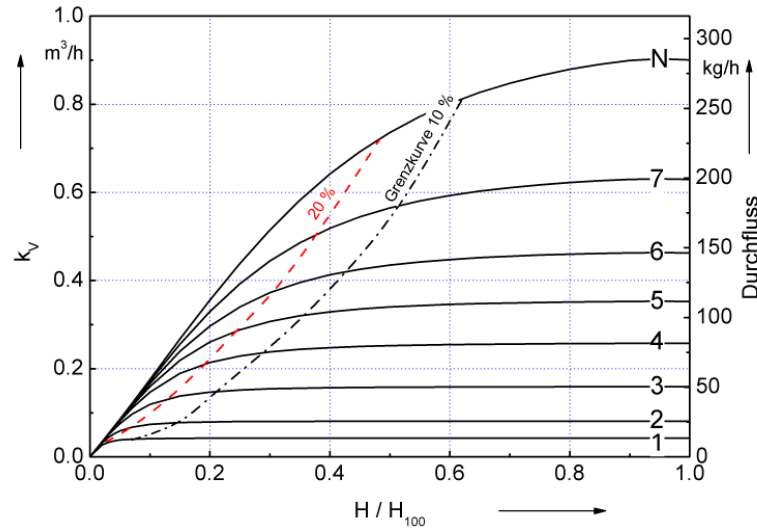
- Differenzdruckregler (Maximalvolumenstrombegrenzung)
- und statischem Heizkörperventil



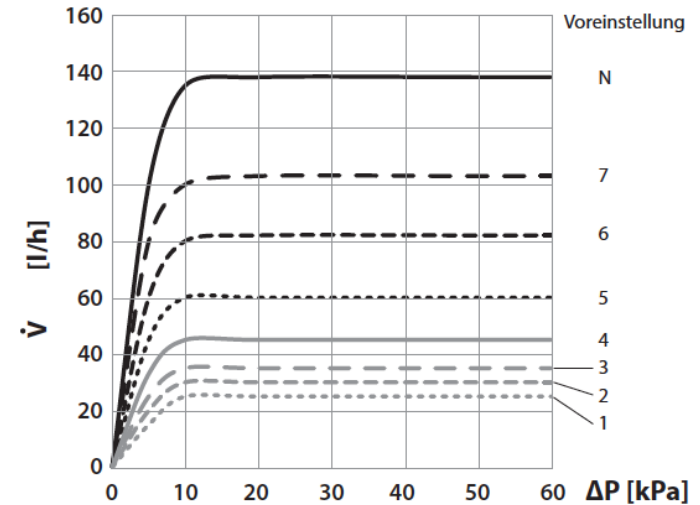
Prinzip Dynamic Valve™
(innenliegende Druckerfassung)



Konventionelles Thermostatventil



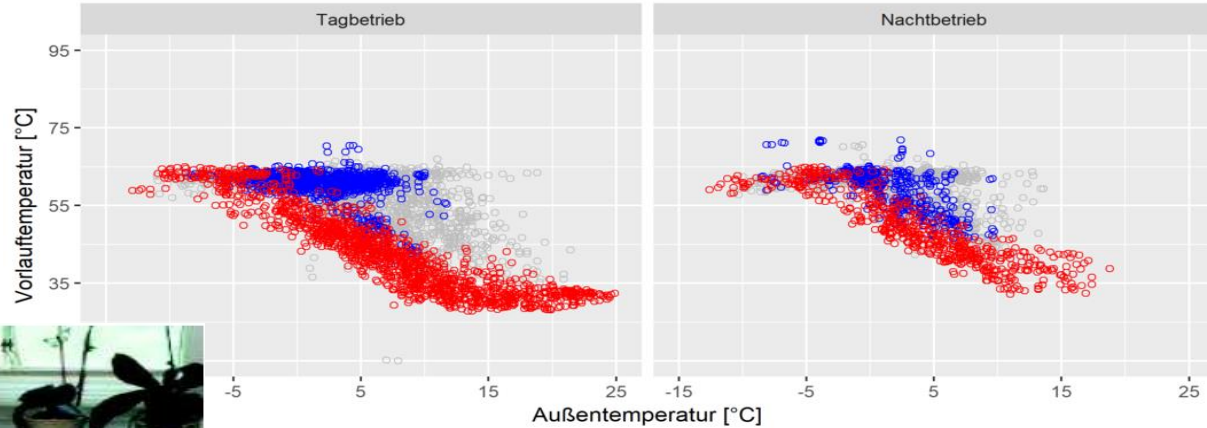
Druckunabhängiges Ventil



Quelle: Danfoss

Einstellung Heizkurve + Smarte Thermostate

Idealverhalten (sehr niedrige Temperaturen im Sommer)



- Heizperiode 2016/2017
- Heizperiode 2017/2018
- Heizperiode 2017/2018 (nach Optimierung durch Techem am 2018-02-13)

Ringstr. 42/44

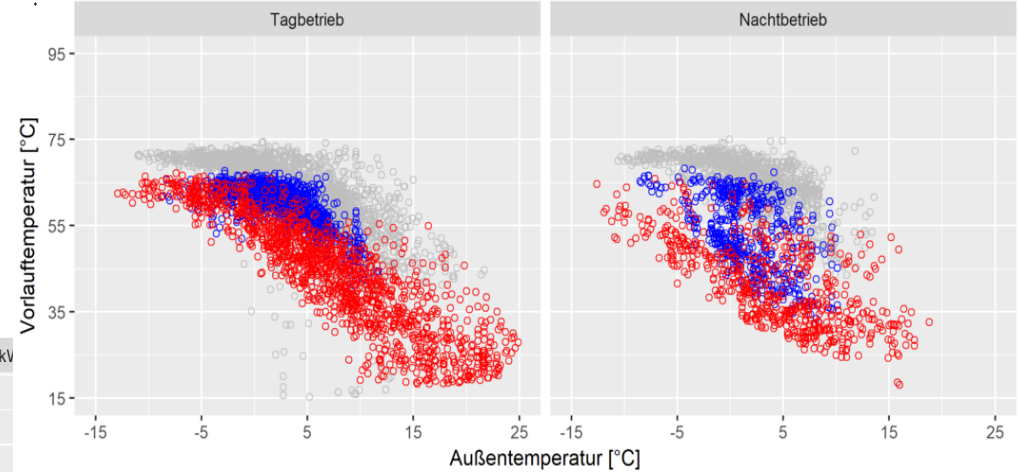
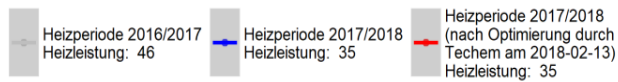
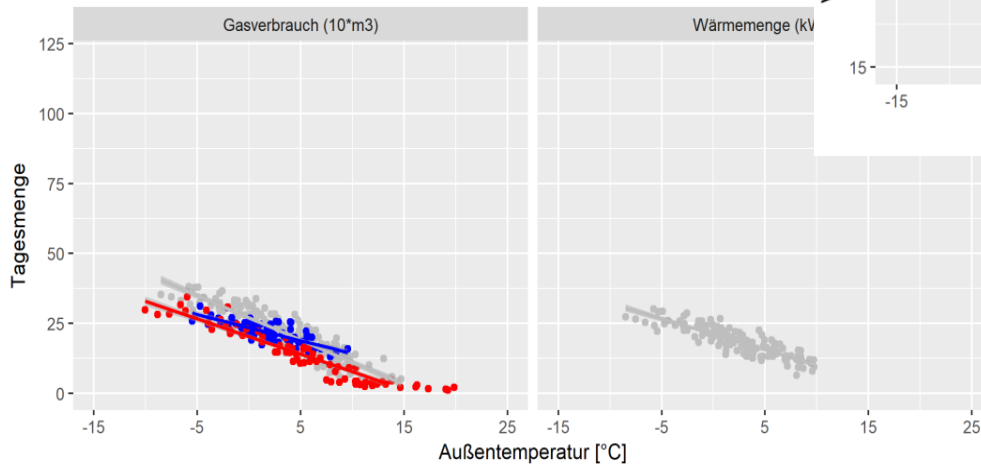
Erdgaskessel 2 x 35 kW, atmosphärisch,
Baujahr 1989



Optimierung Wärmeverteilung – Hydraulischer Abgleich

Hydraulischer Abgleich in Kombination mit anderen Maßnahmen, z.B. Einstellung der Heizkurve

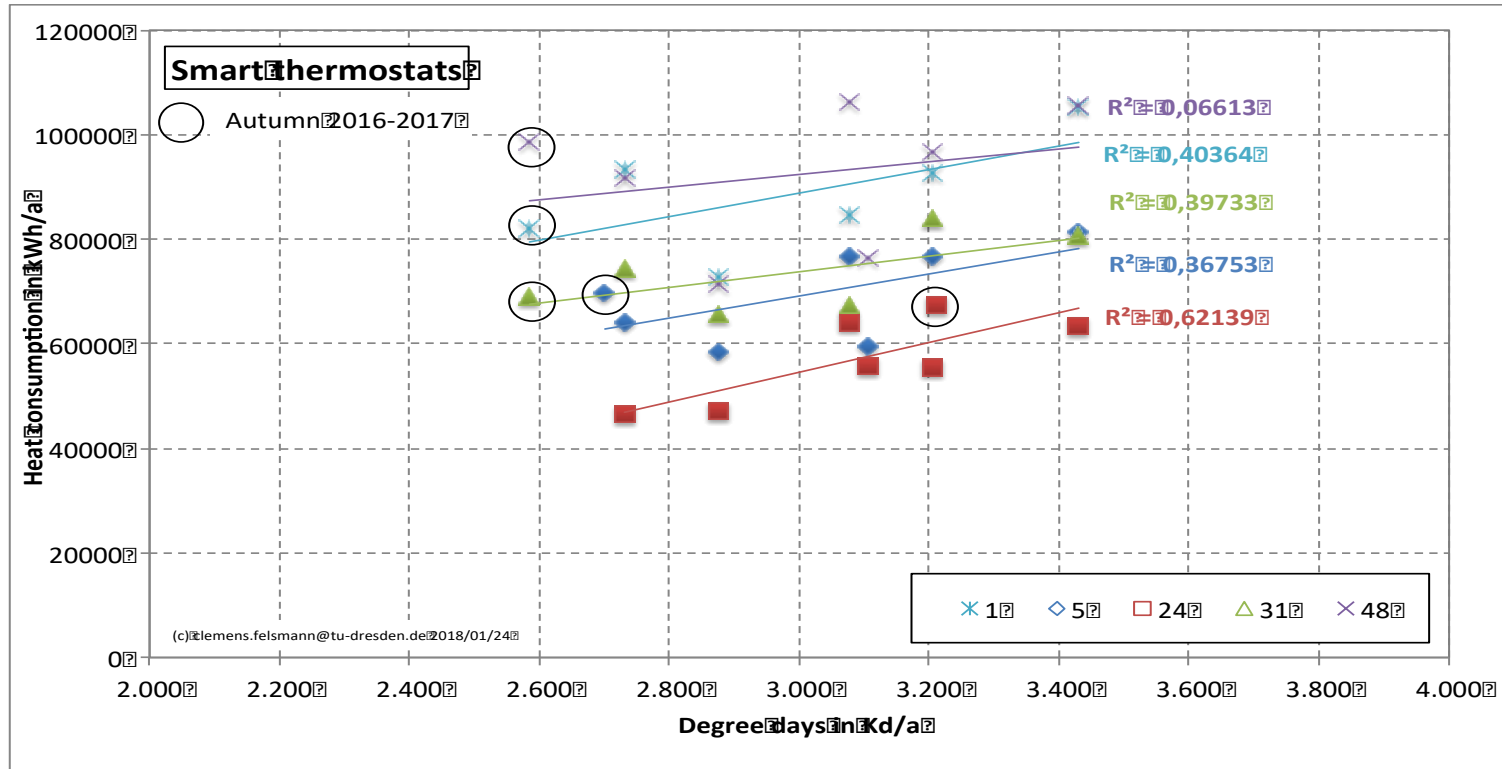
Nennwärmeleistung: 35 (Kessel 1), 35 (Kessel 2) [Kesseltausch 2017]



Quelle: EBZ Bochum

Feldtest zu Effizienz von Heizungsanlagen im Gebäudebestand: BaltBest

Langfristige Schwankungen z.T. größer als Einspareffekte: Nachweisproblem??



Hydraulischer Abgleich - Fazit

- Über das Wirkprinzip des hydraulischen Abgleichs herrscht offensichtliche Unkenntnis. Selbst beim Fördergeber! Es besteht die Gefahr, dem Endkunden vermeintlich notwendige Lösungen einzureden!!
- Die Wirkung des hydraulischen Abgleichs als Einzelmaßnahme wird häufig überschätzt. Unwirtschaftlichkeit droht!
- Der hydraulische Abgleich ist EINE aber nicht DIE Effizienzmaßnahme. Er muss durch andere Maßnahmen flankiert werden, z.B. Pumpenaustausch, Heizkurveneinstellung, Hydraulik.
- Der durchgeführte hydraulische Abgleich ist Ausweis der Fachkenntnis aller Beteiligten: Planer, Installateur, Betreiber;
→ kein Abgleich = keine Ahnung oder kein Interesse!!
- Qualitätskontrolle im Betrieb von gebäudetechnischen Anlagen etablieren!

Vielen Dank!
Fragen? Diskussion?

Kontakt:

Prof. Clemens Felsmann

Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung

clemens.felsmann@tu-dresden.de

+49 351 463 32145