Masterarbeit

Wärmeversorgung
Evangelische Stiftung Neuerkerode

Inhalt

- Vorstellung Projekt Neuerkerode mit Problem- und Aufgabenstellung
- Anlagenhydraulik
  - Druckverlauf im Nahwärmenetz
  - Pumpenregelung mit Schlechtpunktmessung
  - Hydraulik im Netz und hydraulischer Abgleich
  - Umbau/Optimierung Rücklaufanhebung
- Wärmeerzeugung
  - Kesselregelung und Folgeschaltung
  - Brennwertnutzung
  - Pufferspeicher
- Ergebnisse der bereits umgesetzten Maßnahme
- Fazit und Ausblick

Problembeschreibung

- Trotz Wärmebedarf in der evangelischen Stiftung, Vernichtung der anfallenden Abwärme in der Biogasanlage
- Parallele Wärmebereitstellung durch gasbefeuerte Kessel in der Heizzentrale
- Teilweise Verschlimmerung des Problems im Sommer durch ungeregelte Pumpen

Ökonomische Betrachtung des Problems

Anrechenbare Kosten Optimierungsmaßnahme ≈ **100.000 €**
(einschl. Optimierung Rücklaufanhebung und neuer Schaltanlage Kesselhaus)

Energiekosten 2013:

Ø Gaspreis:	0,0487 €/kWh
Ø Biowärmepreis:	0,0311 €/kWh

Erhöhung Biowärmeeinspeisung:

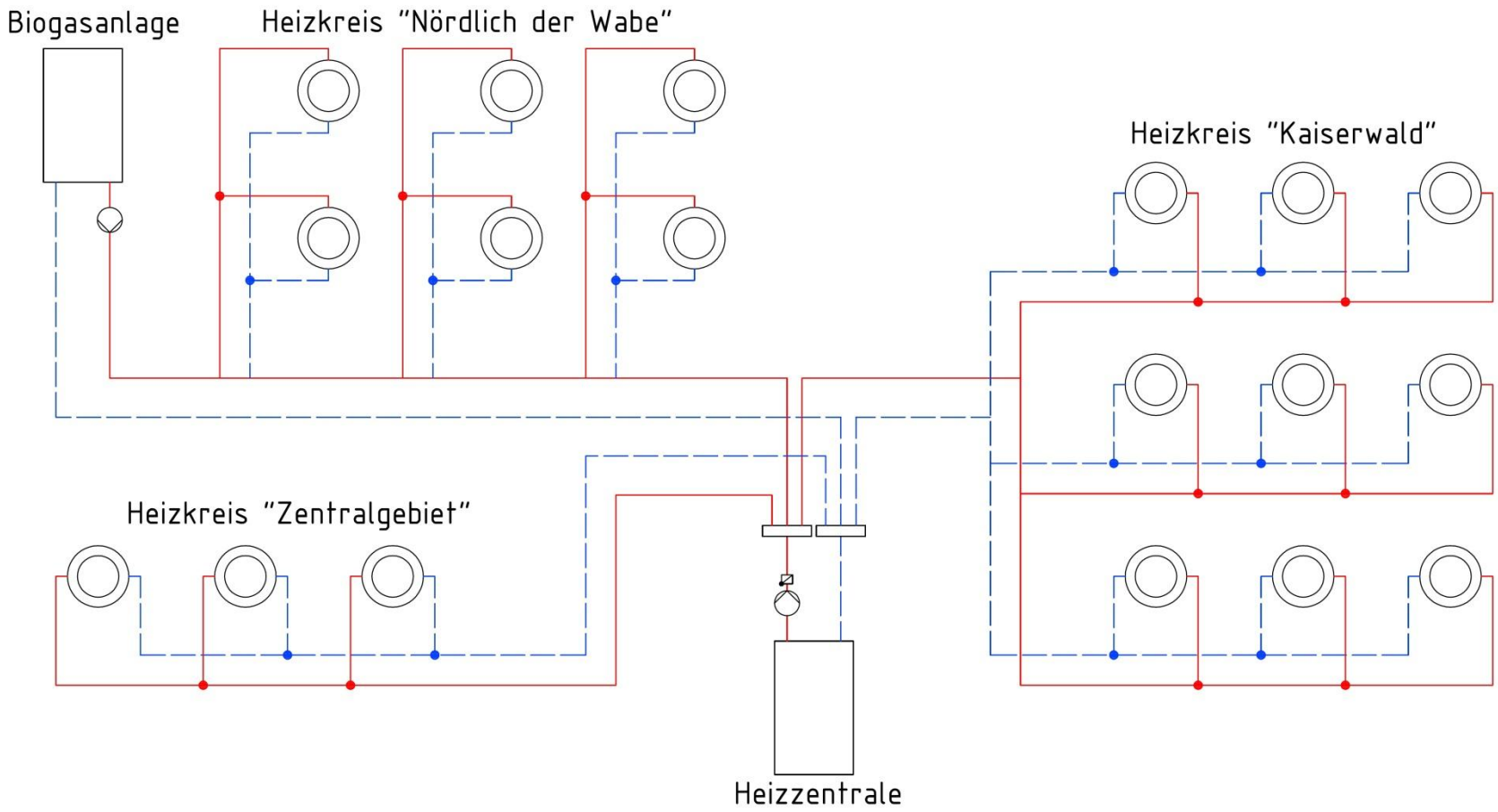
Bisher eingespeiste Wärmemenge:	295 MWh/Monat (Mittelwert Jahre 2009-2012)
Prognostizierte Wärmeeinspeisung:	400 MWh/Monat

Mehreinspeisung Biowärme:	1.260 MWh/a
Verdrängung Gasbezug:	1.460 MWh/a (bei Wirkungsgrad 0,864)

Jährliche Kostenersparnis: ≈ **31.500 €/a**

Nahwärmenetz der evangelische Stiftung Neuerkerode

Vereinfachte Anlagenhydraulik Neuerkerode



Bestand Heizzentrale

Bestand Fernleitungspumpen Heizzentrale

Aufgabenstellung:

Vertraglich festgelegtes Ziel bei der Optimierung der Wärmeversorgung der Evangelischen Stiftung Neuerkerode

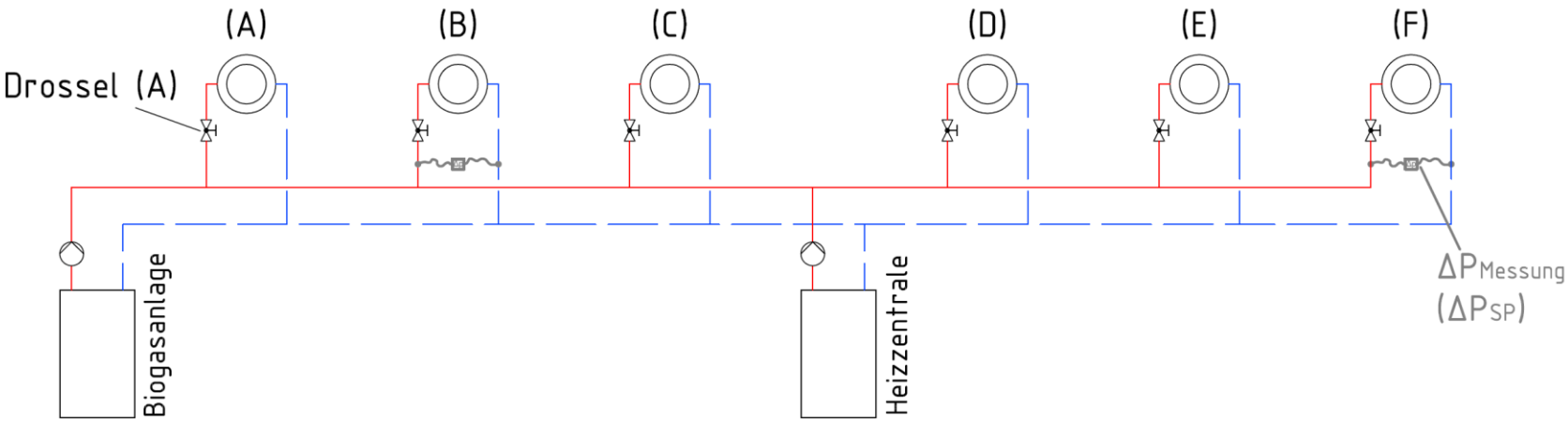
„Ziel der Arbeiten ist es“:

- „die Wärmeeinkopplung der Biogasanlage wesentlich zu verbessern. Die maximal mögliche Wärmemenge soll an das hauseigene Fernwärmenetz übertragen werden.“
- „Optimierung der Heizkessel in der Heizzentrale“
- „Das Ziel ist die Einspeisung der Biowärme im Durchschnitt von 12 Monaten auf 400 MWh zu erhöhen.“

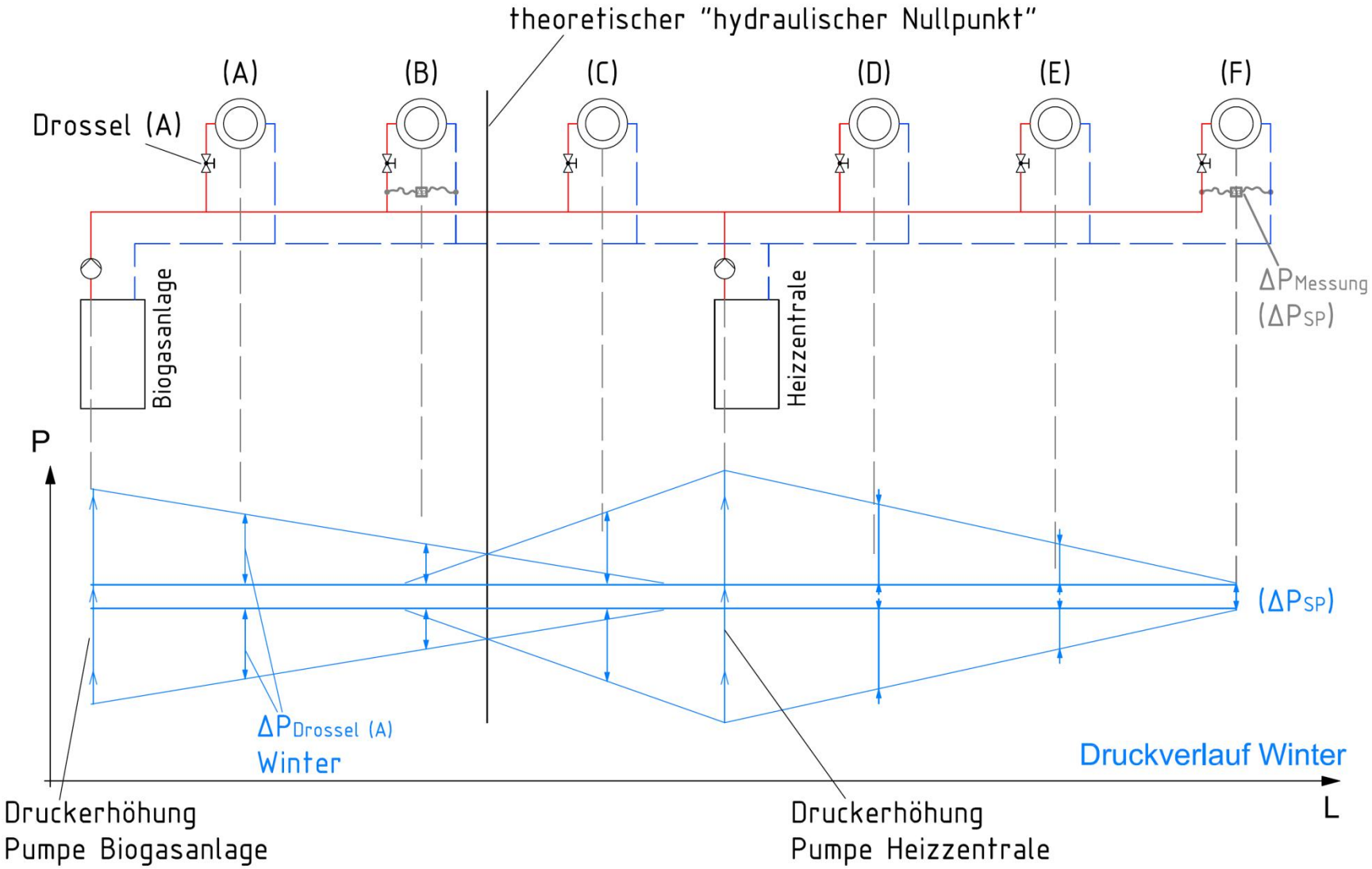
Vorgehensweise

- Rohrnetzberechnungen im Zuge verschiedener Projektarbeiten der Ostfalia – Hochschule für angewandte Wissenschaften Wolfenbüttel
- Bestimmung der hydraulisch ungünstigsten Punkte im Nahwärmenetz und Festlegung „Schlechtpunkte“
- Installation der Schlechtpunktmessungen mit Differenzdrucksensor und Schaltschrank
- Installation regelbare Umwälzpumpe als Nahwärmepumpe
- Installation/Änderung Rücklaufanhebung
- Sanierung Schaltschränke Heizzentrale
- Inbetriebnahme
- Überwachung der Ergebnisse
- Ggf. Anpassung der Einstellungen

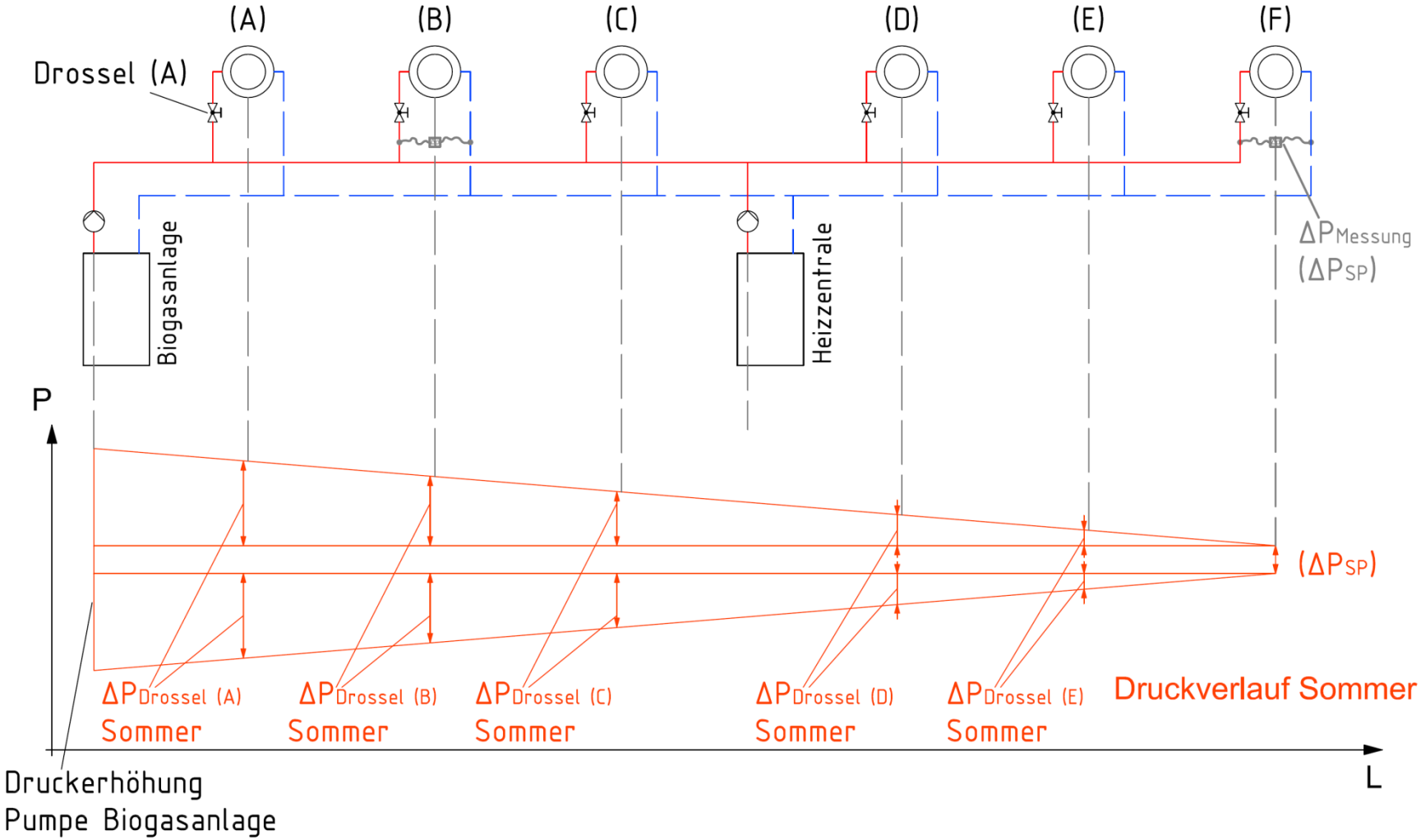
Druckverlauf im Nahwärmenetz



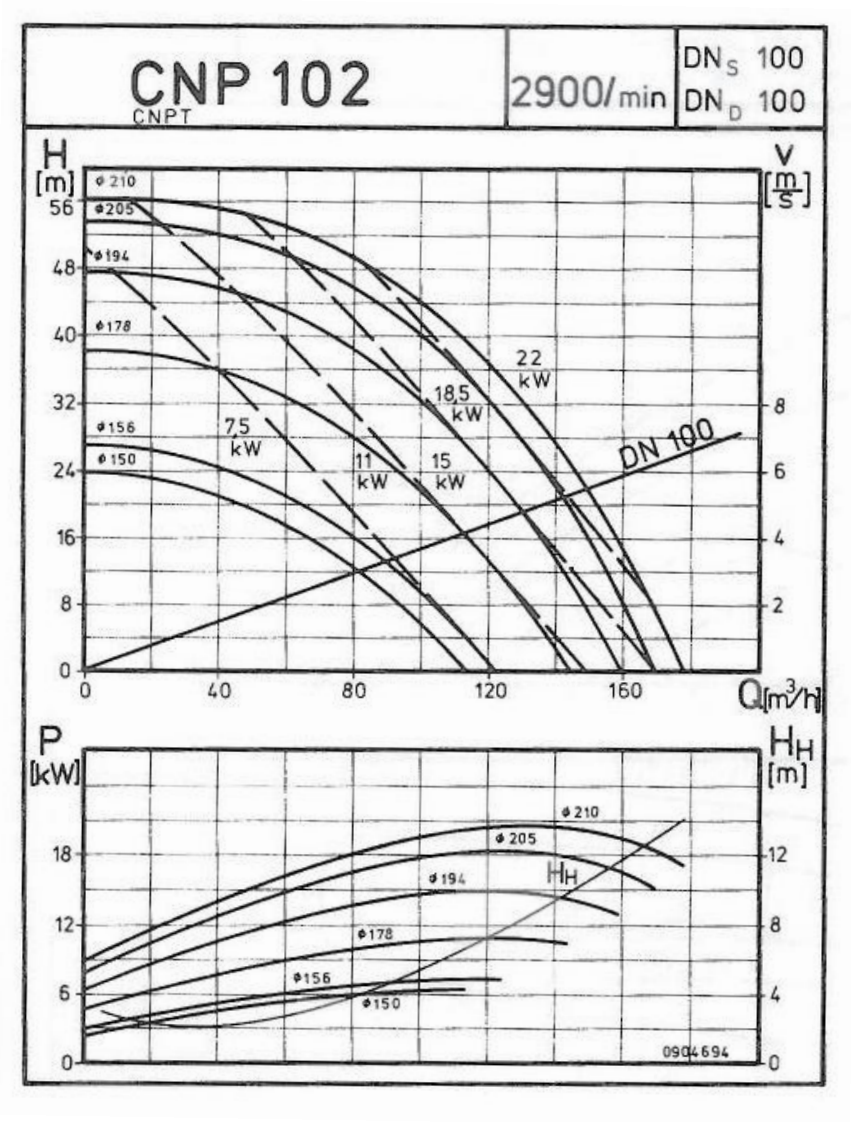
Druckverlauf im Nahwärmenetz



Druckverlauf im Nahwärmenetz



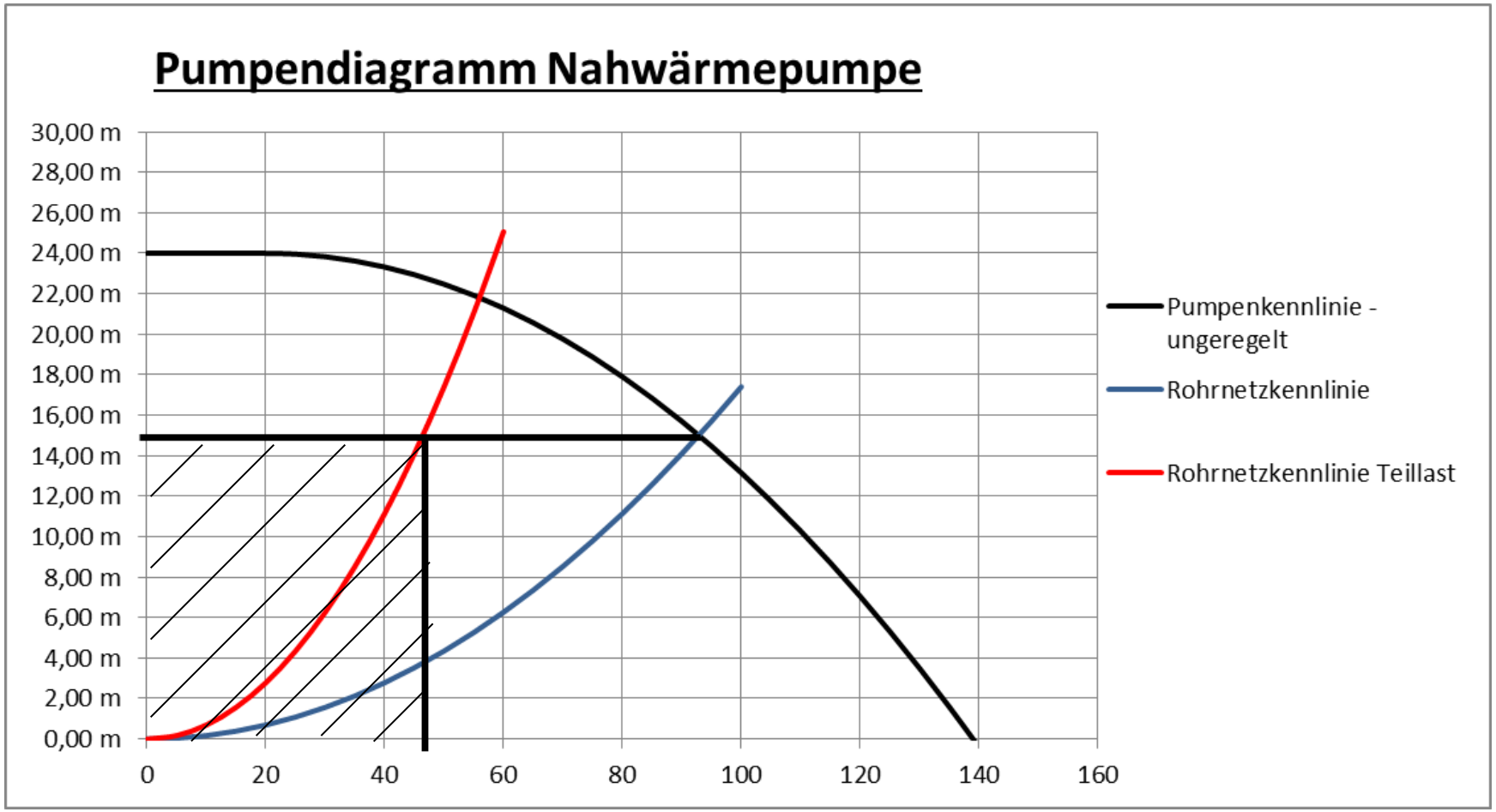
Pumpe ungeregelt → Verschlechterung des Problems im Sommer



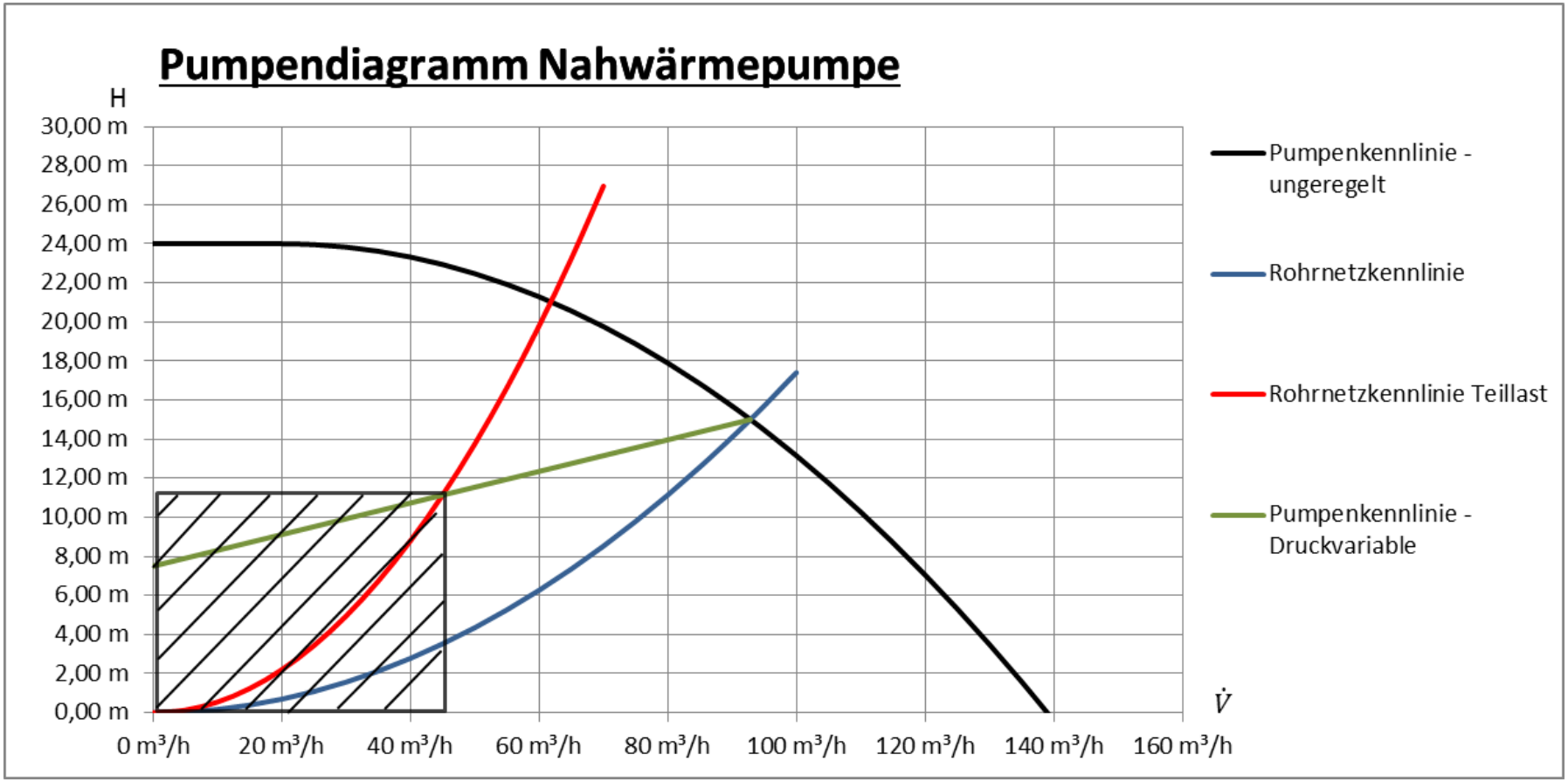
$\dot{V}$ ↓

Δp ↑

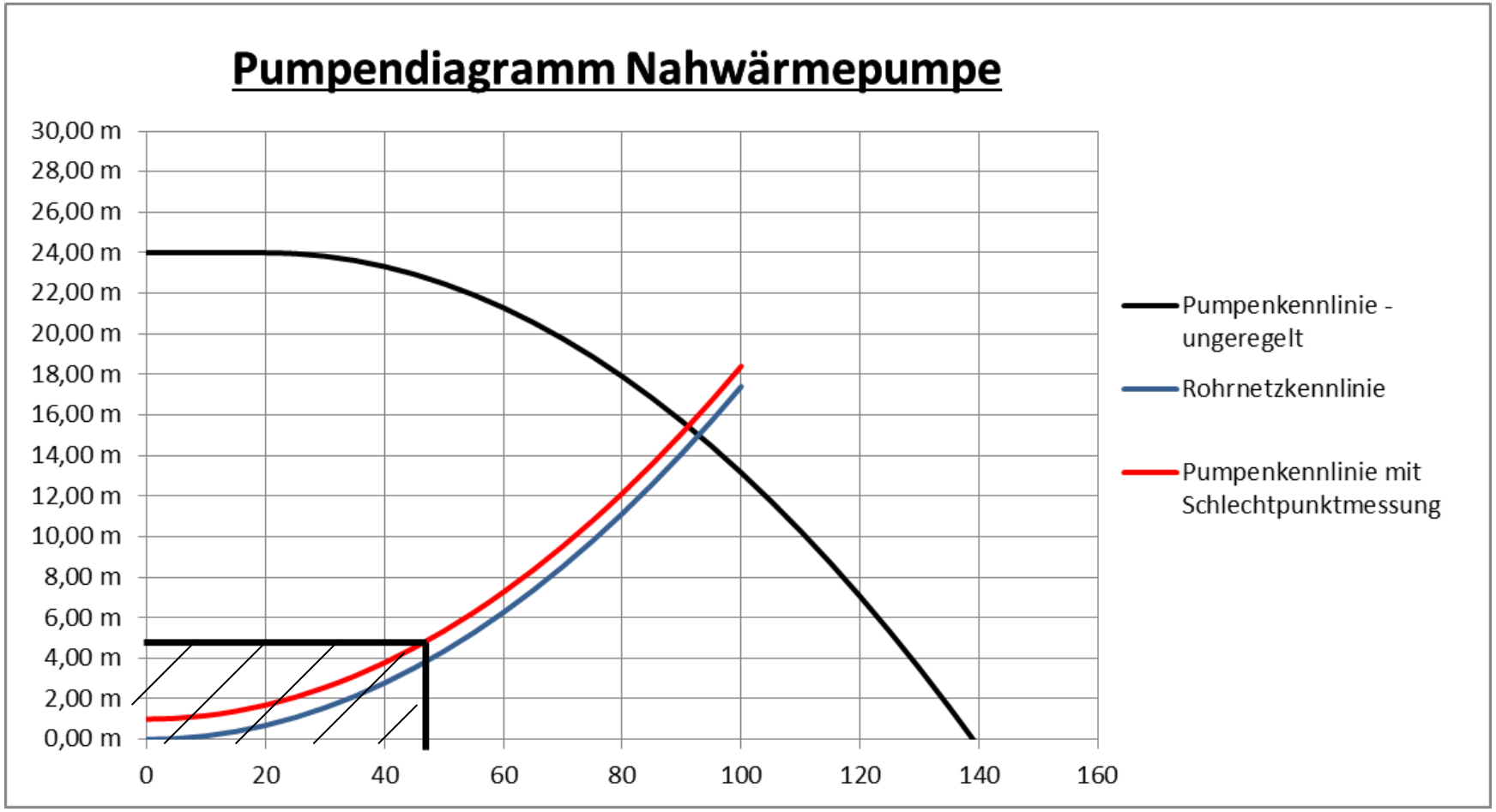
Pumpenregelung mit konstantem Druck



Pumpenregelung mit variablem Druck



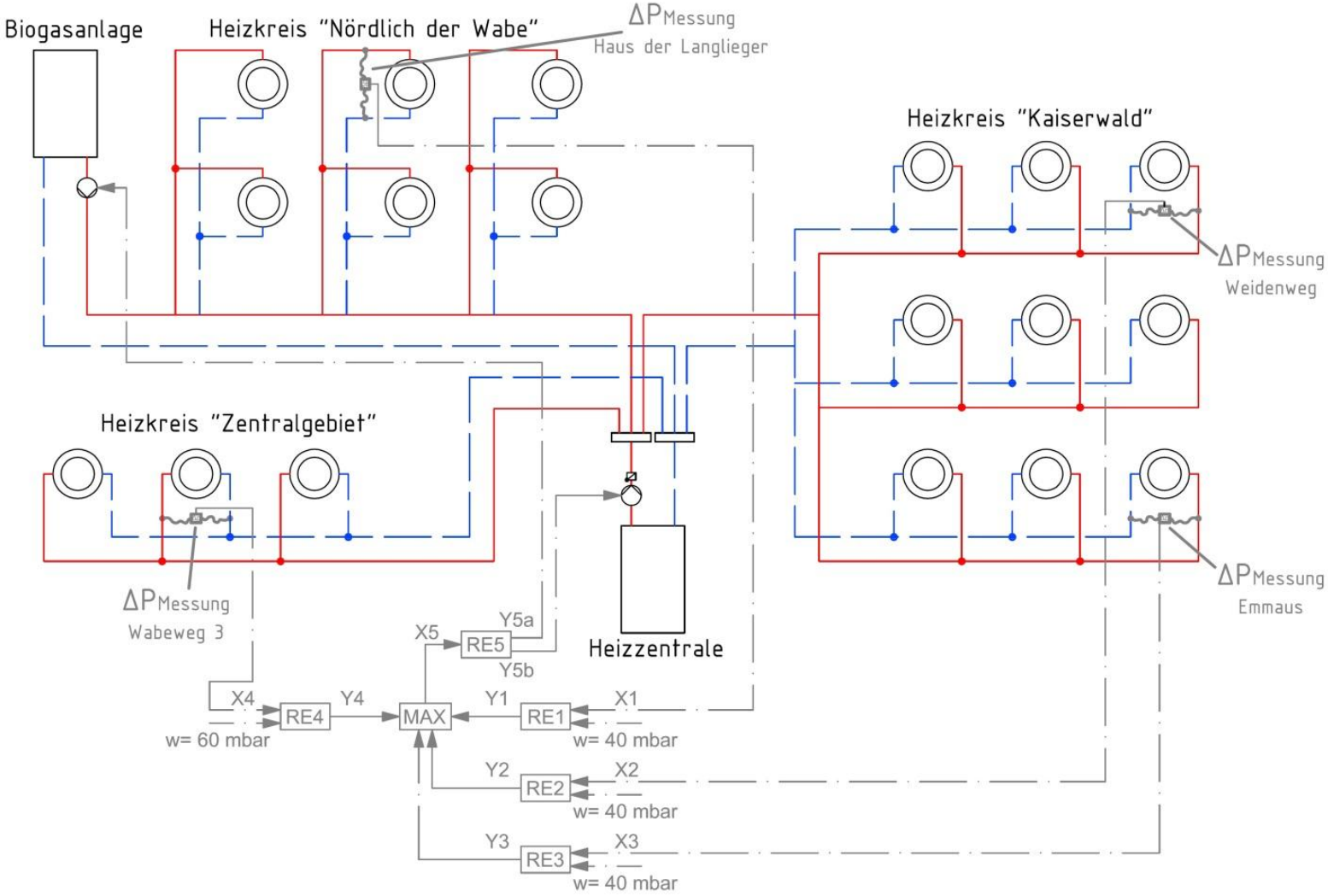
Pumpenregelung mit Schlechtpunktmessung



Differenzdrucksensor

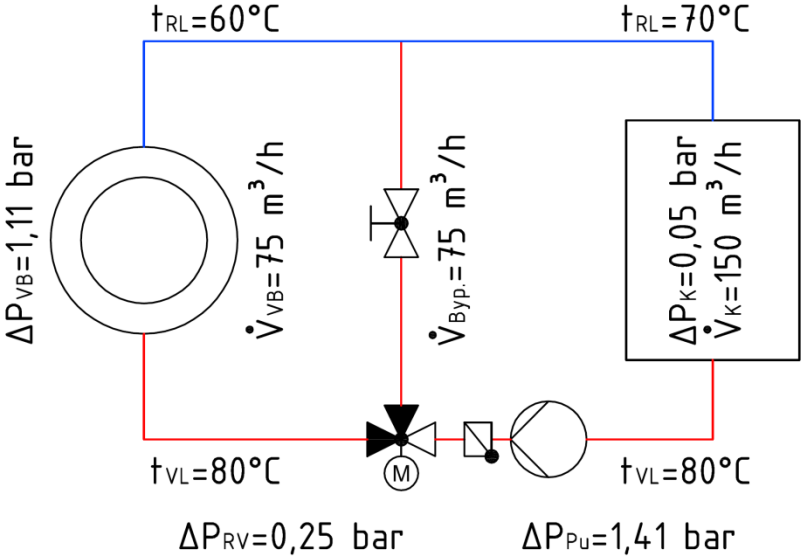
Quelle: www.hubacontrol.de

Pumpenregelung mit mehr als einem „Schlechtpunkt“

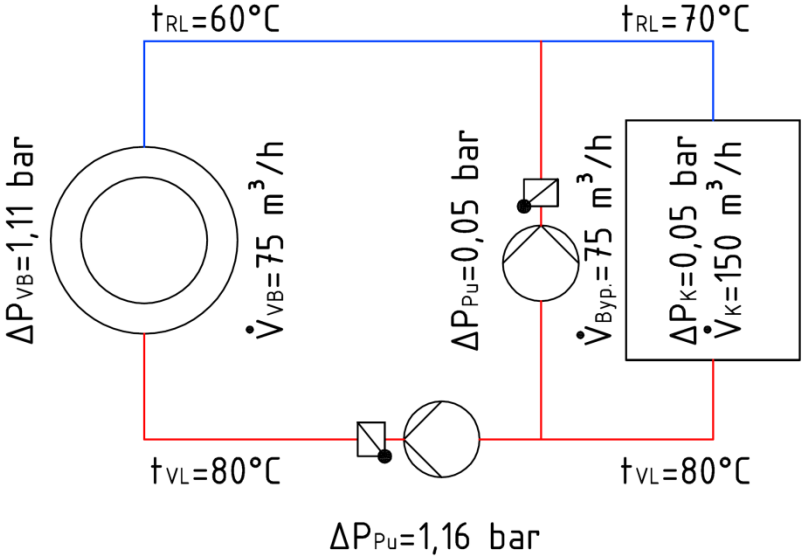


Optimierung Rücklaufanhebung Kessel

Bestand



Optimiert



Einsparung Optimierung Rücklaufanhebung

Berechnung der hydraulischen Leistung:

$$P_{hydr.} = \Delta p \cdot \dot{V}$$

Bestand:

$$P_{hydr.} = 1{,}41 \times 10^5 \frac{J}{m^3} \times 150 \frac{m^3}{h} \frac{h}{3600\ s} = 5875\ \mathrm{W} \rightarrow 5{,}88\ kW$$

Optimiert:

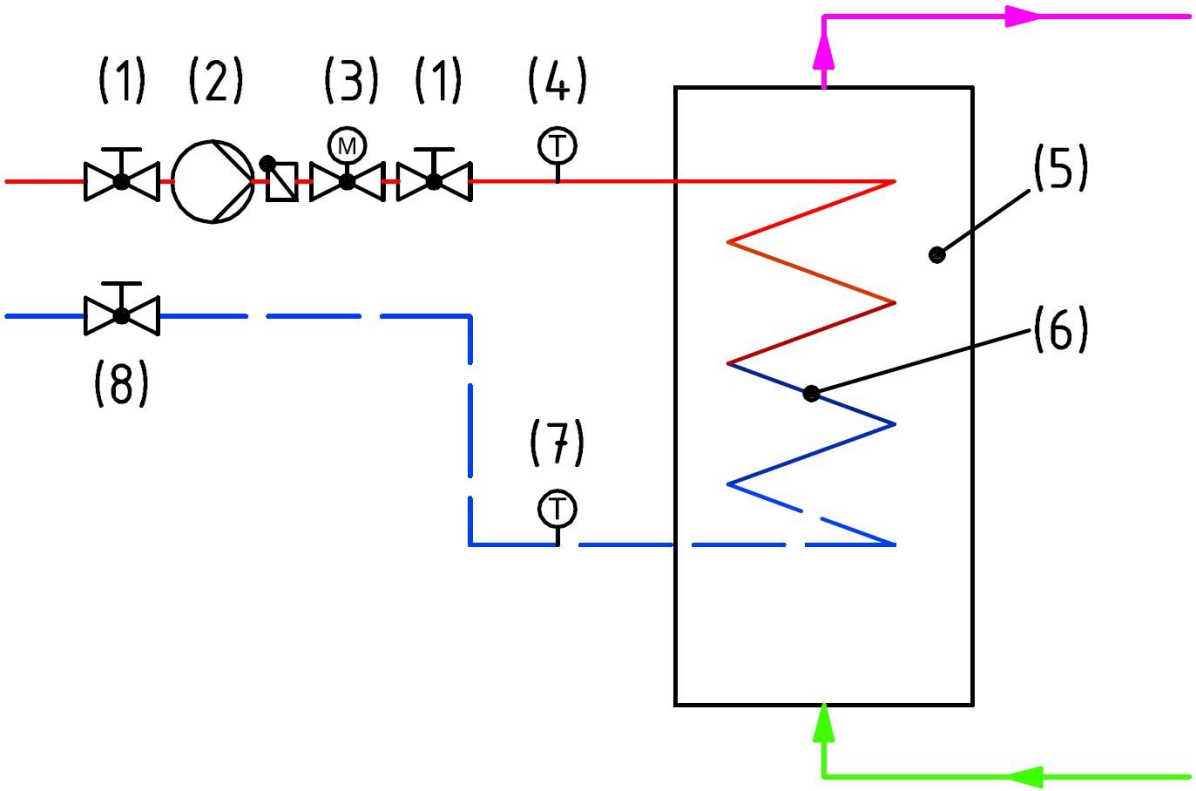
$$P_{hydr.HK} = 1{,}16 \times 10^5 \frac{J}{m^3} \times 75 \frac{m^3}{h} \frac{h}{3600\ s} = 2415\ \mathrm{W} \rightarrow 2{,}41\ kW$$

$$P_{hydr.Byp.} = 0{,}05 \times 10^5 \frac{J}{m^3} \times 75 \frac{m^3}{h} \frac{h}{3600\ s} = 105\ \mathrm{W} \rightarrow 0{,}11\ kW$$

Einsparung: 5,88 kW – 2,41 kW – 0,11 kW = 3,28 kW x 6.000 h =19.680 kWh

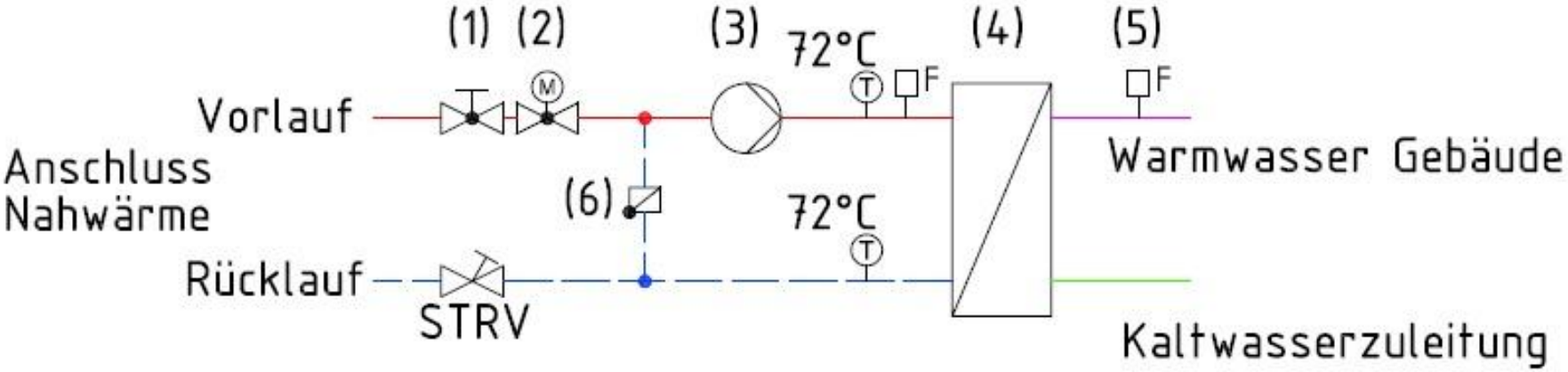
Verbraucher im Nahwärmenetz

Warmwasserbereitung mit Warmwasserspeicher



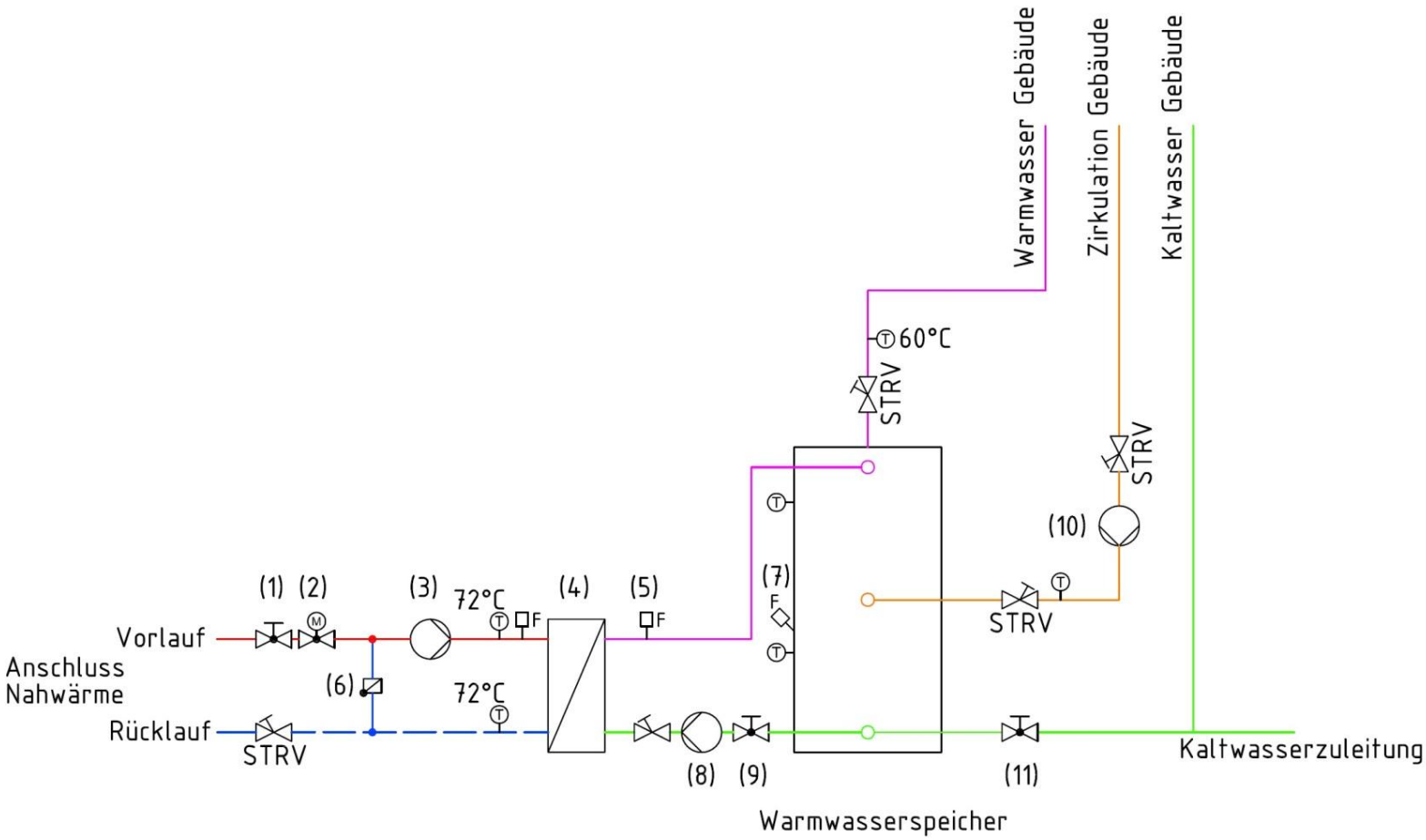
Verbraucher im Nahwärmenetz

Warmwasserbereitung im Durchlaufprinzip



Verbraucher im Nahwärmenetz

Warmwasserbereitung mit Speicherladesystem

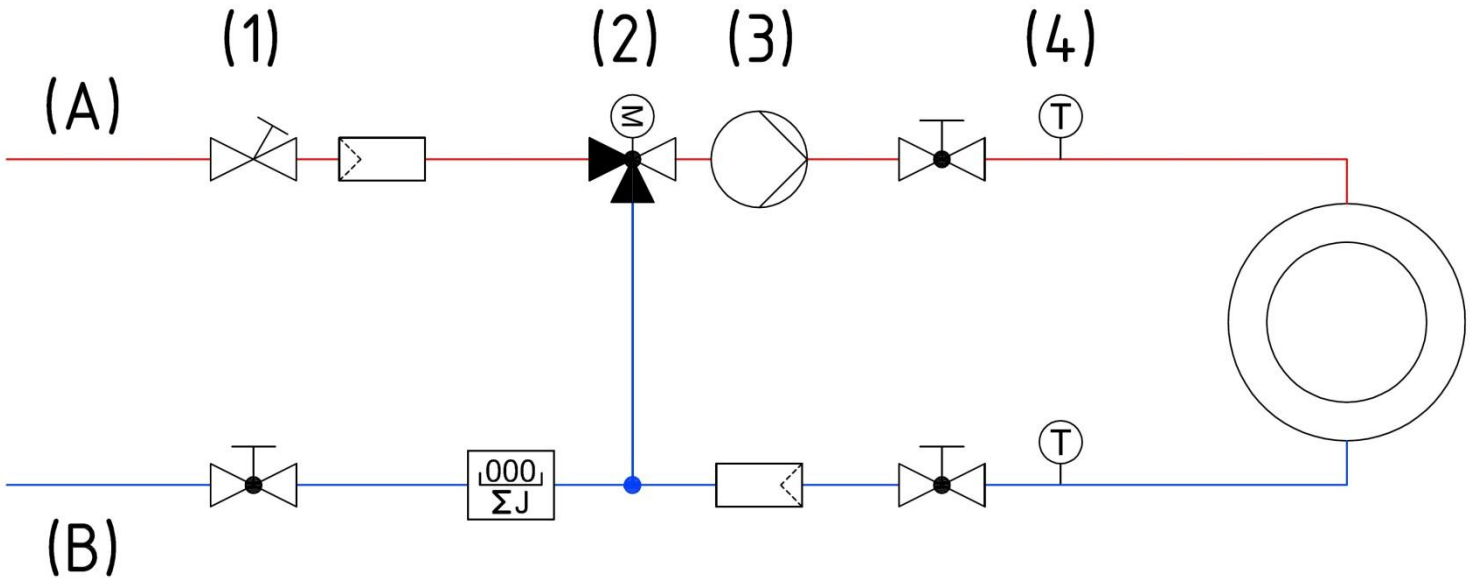


Gegenüberstellung Warmwasserbereitungen

Art WWB	Vorteile	Nachteile
Warmwasserspeicher	– Reduzierung Spitzenleistung Nahwärmenetz – Kleinere Rohrleitungen	– hohe Rücklauftemperaturen – Großer Wasserinhalt (Hygiene)
Durchlaufprinzip	– Niedrige Rücklauftemperaturen – Geringer Wasserinhalt (Hygiene)	– Große Spitzenleistungen und Anschlussleitungen – Schnelle und präzise Regelung erforderlich
Speicherladesystem	– Abdeckung großer Spitzenleistungen möglich – Kleinere Anschlussleistung als reines Durchlaufprinzip – Niedrigere Rücklauftemperatur als Warmwasserspeicher	– Höhere Investitionskosten – Großer Wasserinhalt (Hygiene)

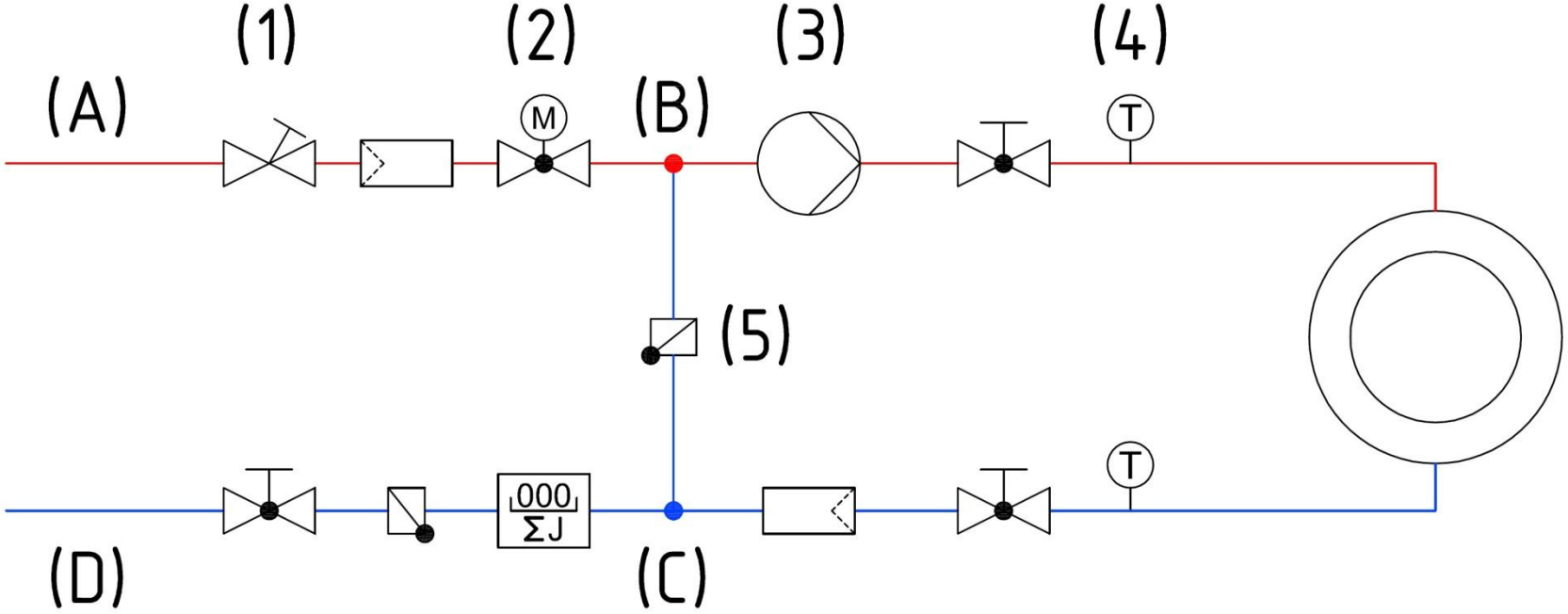
Hydraulische Schaltungen Gebäudeheizung

Beimischschaltung

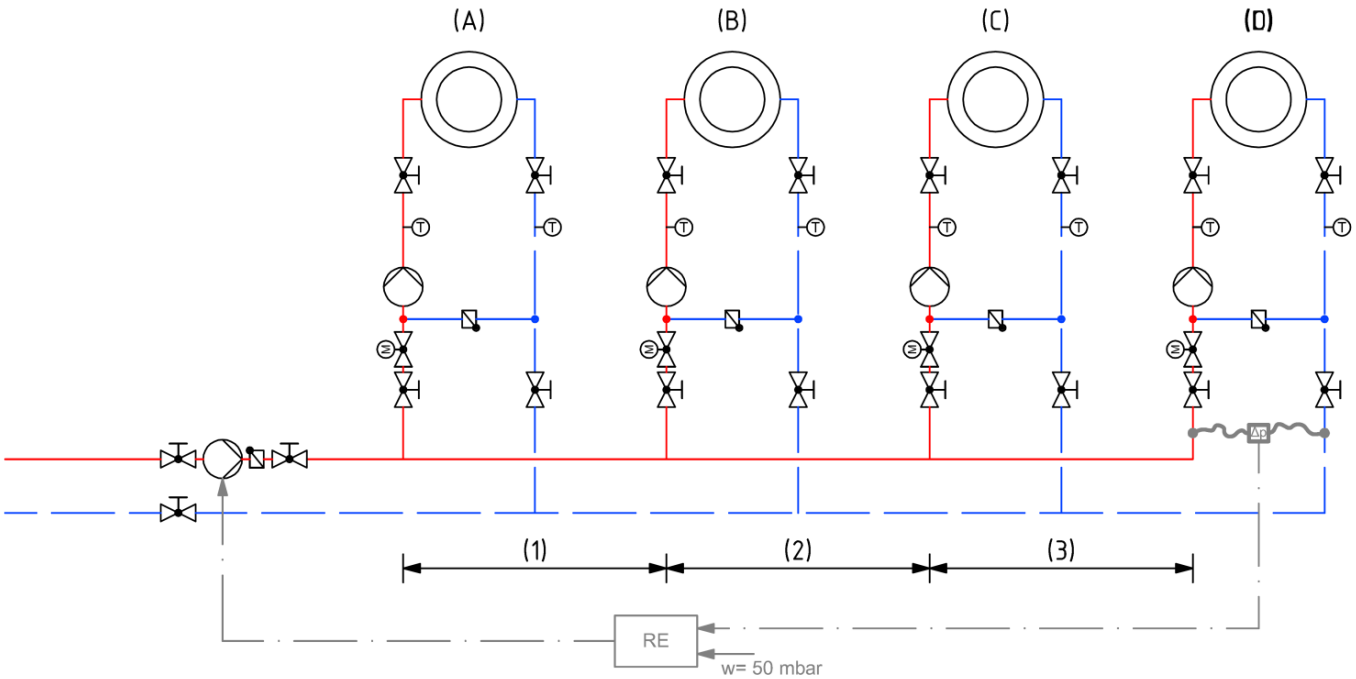


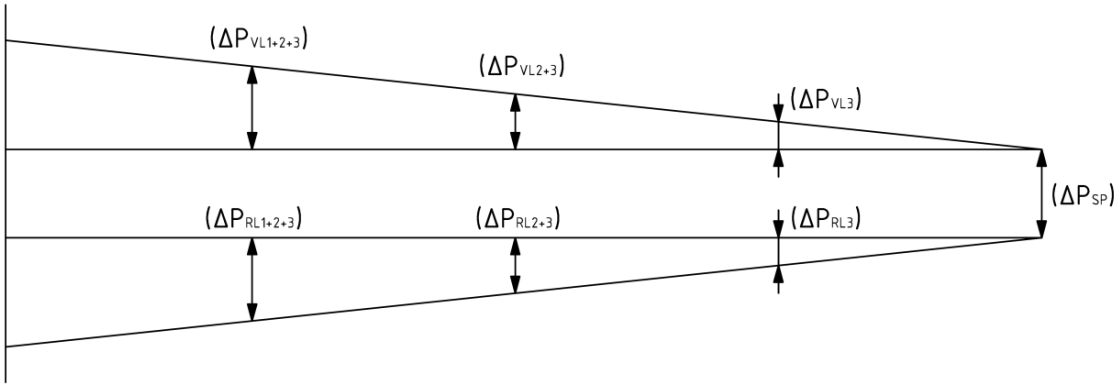
Hydraulische Schaltungen Gebäudeheizung

Einspritzschaltung

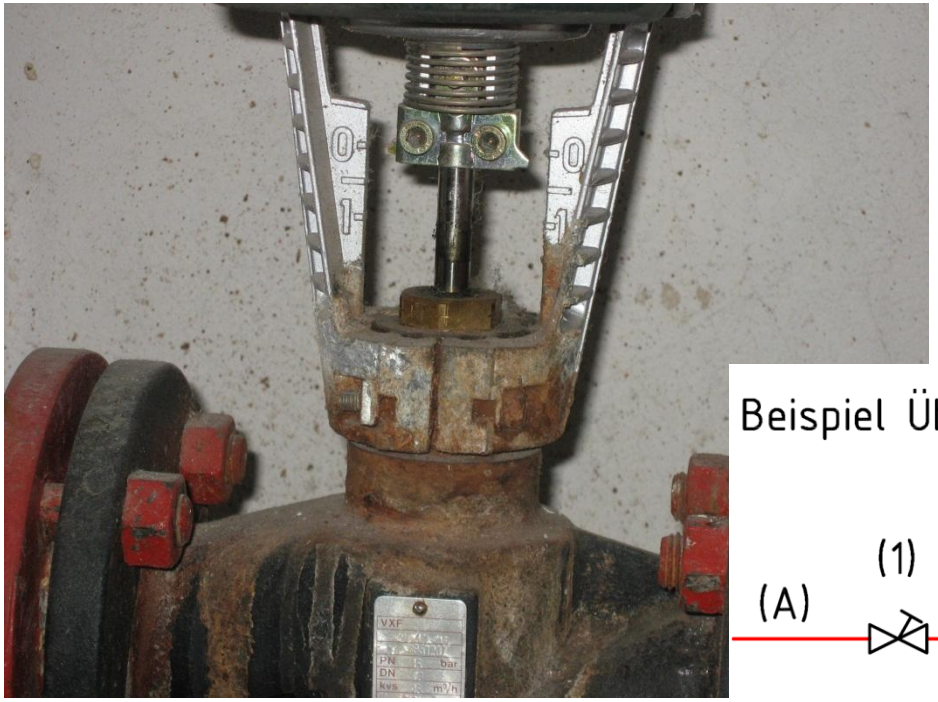


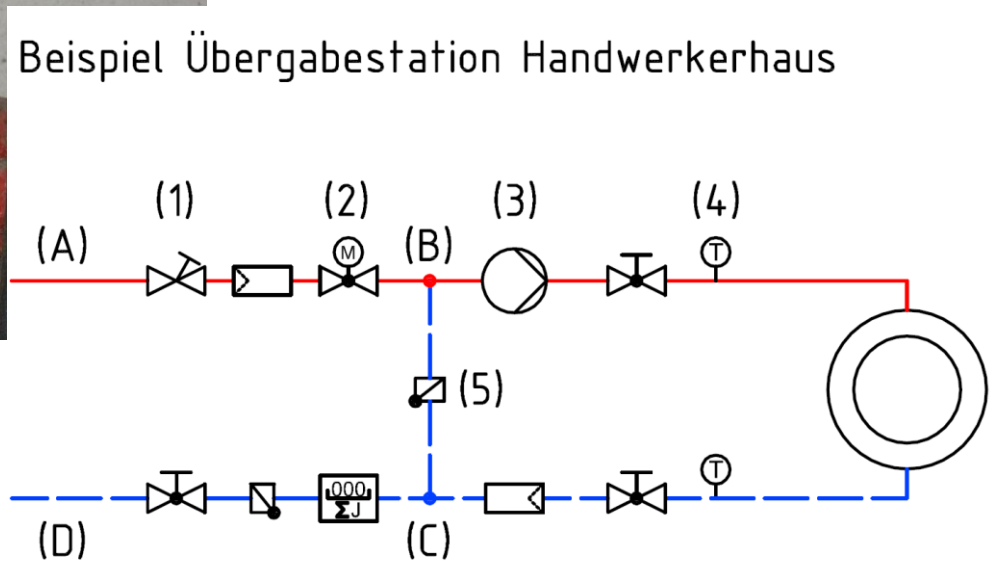
Druckverlauf – Hydraulischer Abgleich



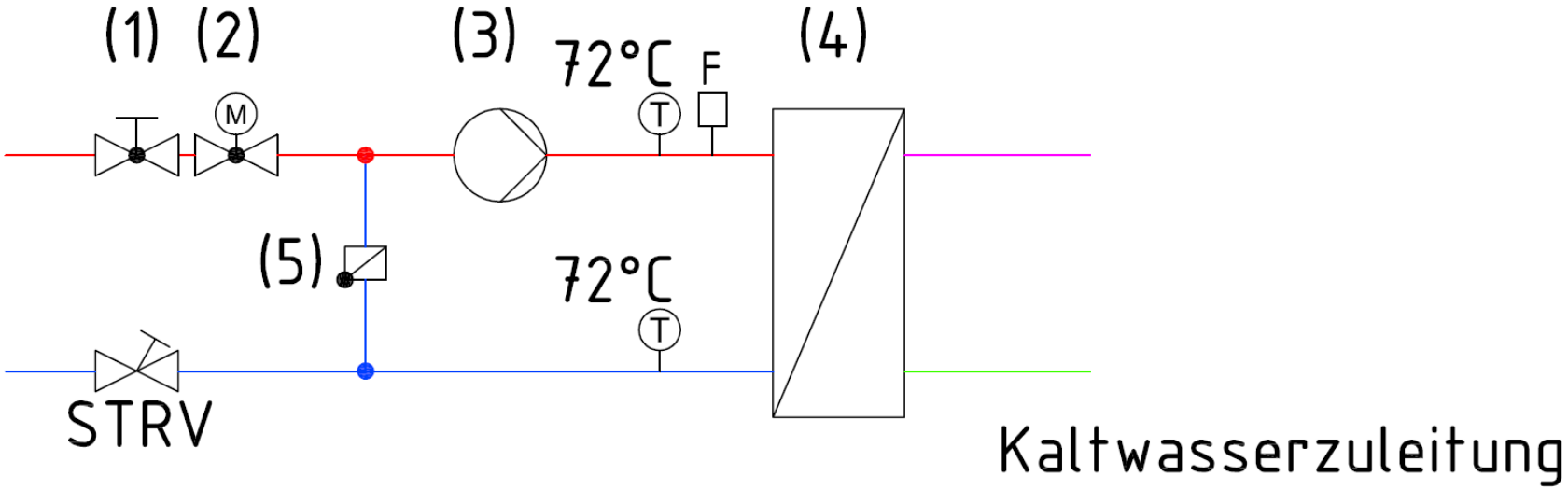


Hydraulischer Abgleich - Überversorgung

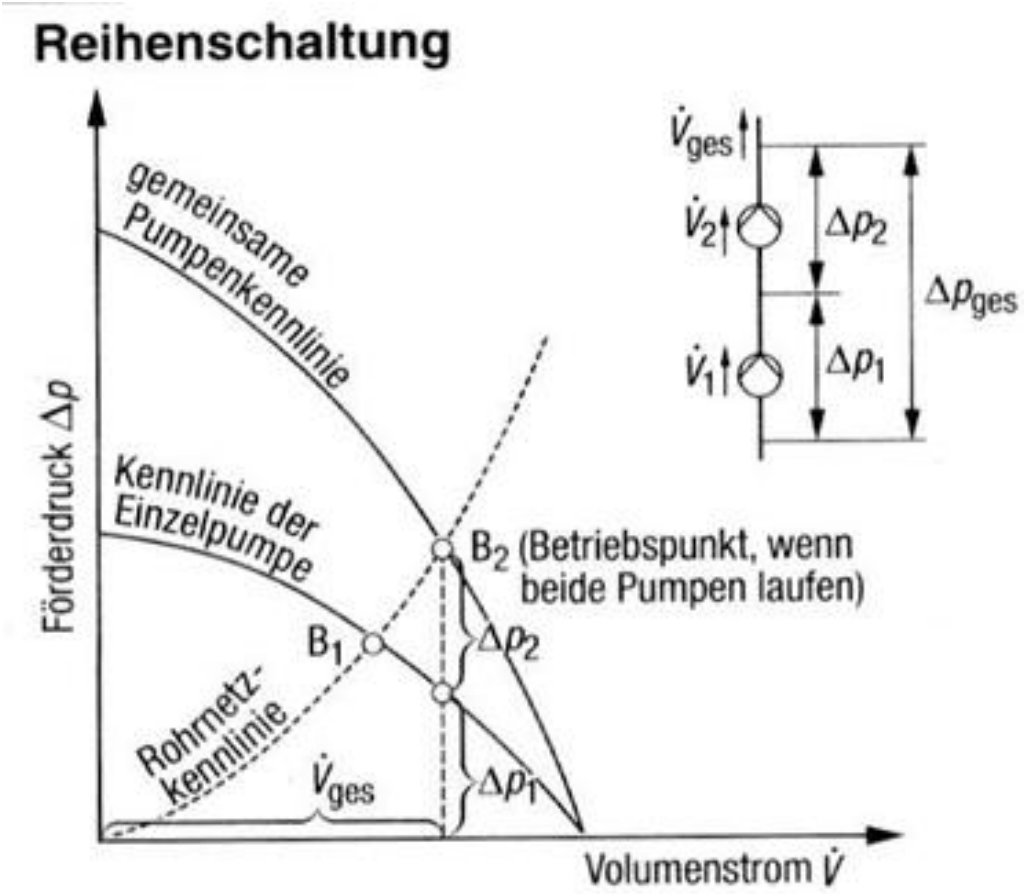




Nicht abgeglichene Verbraucher



Effekt zur Volumenstromerhöhung bei verbleibendem Differenzdruck am Mischpunkt



Hydraulischer Abgleich „Optimalfall“

1. Aufnahme sämtlicher Netzdaten (Rohrleitungslängen, Formteile, Einbauten etc.)
2. Detaillierte Rohrnetzberechnung
3. Ermittlung des hydraulisch ungünstigsten Verbrauchers
4. Auslegung Strangregulierventile/Differenzdruckregler
5. Berechnung Einstellwerte Strangregulierventile/Differenzdruckregler
6. Umsetzung der berechneten Einstellungen
7. Dokumentation der eingestellten Werte

Hydraulischer Abgleich im Bestand

(Wenn keine detaillierten Daten über das Rohrnetz vorliegen)

1. Aufnahme grober Netzverläufe
2. Bestimmung des hydraulisch ungünstigsten Verbrauchers
3. Bestimmung der Entfernung des betrachteten Verbrauchers zum ungünstigsten Verbraucher (Vor- und Rücklaufleitung)
4. Bestimmung Druckverlust anhand von „Standard“-Rohrreibungsverlusten
5. Aufschlag für Formteile und Einbauten
6. Volumenstrom aus Leistung berechnen
7. Berechnung einzustellender kv-Werte
8. Einstellung mit vorhandenen Ventilen

Beispielrechnung nach Schema Folie 29

Berechnung Einstellung Drosselventil an Verbraucher (C)

Gegeben:

- Länge L3: 100 m
- R-Wert: 100 Pa/m
- Aufschlag für Einbauten 25%
- Volumenstrom: 4,1 m^3/h
- Regulierventil DN 40
- Die Regelventile aller Verbraucher sind auf den gleichen Druckverlust ausgelegt

Beispielrechnung nach Schema Folie 29

Berechnung Einstellung Drosselventil an Verbraucher (C)

$$\Delta p_R = R \cdot L = R \cdot (L_{VL} + L_{RL})$$

$$\Delta p_R = 100 \frac{Pa}{m} \cdot (100m + 100m) = 20.000\ Pa$$

$$\Delta p_{ges} = \Delta p_R + \Delta p_{Einbauten}$$

$$\Delta p_{ges} = 20.000\ Pa \cdot 1{,}25 = 25.000\ Pa$$

Berechnung kv-Wert

$$k_V = \dot{V} \cdot \sqrt{\frac{1\ bar}{\Delta p}}$$

$$k_V = 4{,}1\,\frac{m^3}{h} \cdot \sqrt{\frac{1\ bar}{0{,}25\ bar}}$$

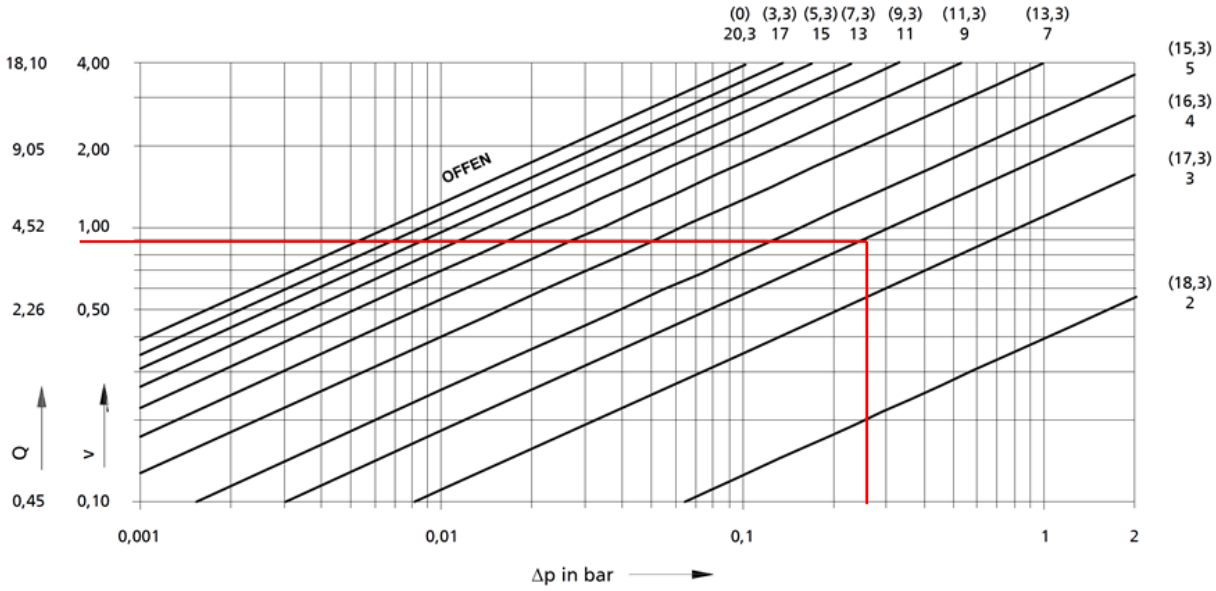
$$k_V = 8{,}2\,\frac{m^3}{h}$$

Einstellung Regulierventil

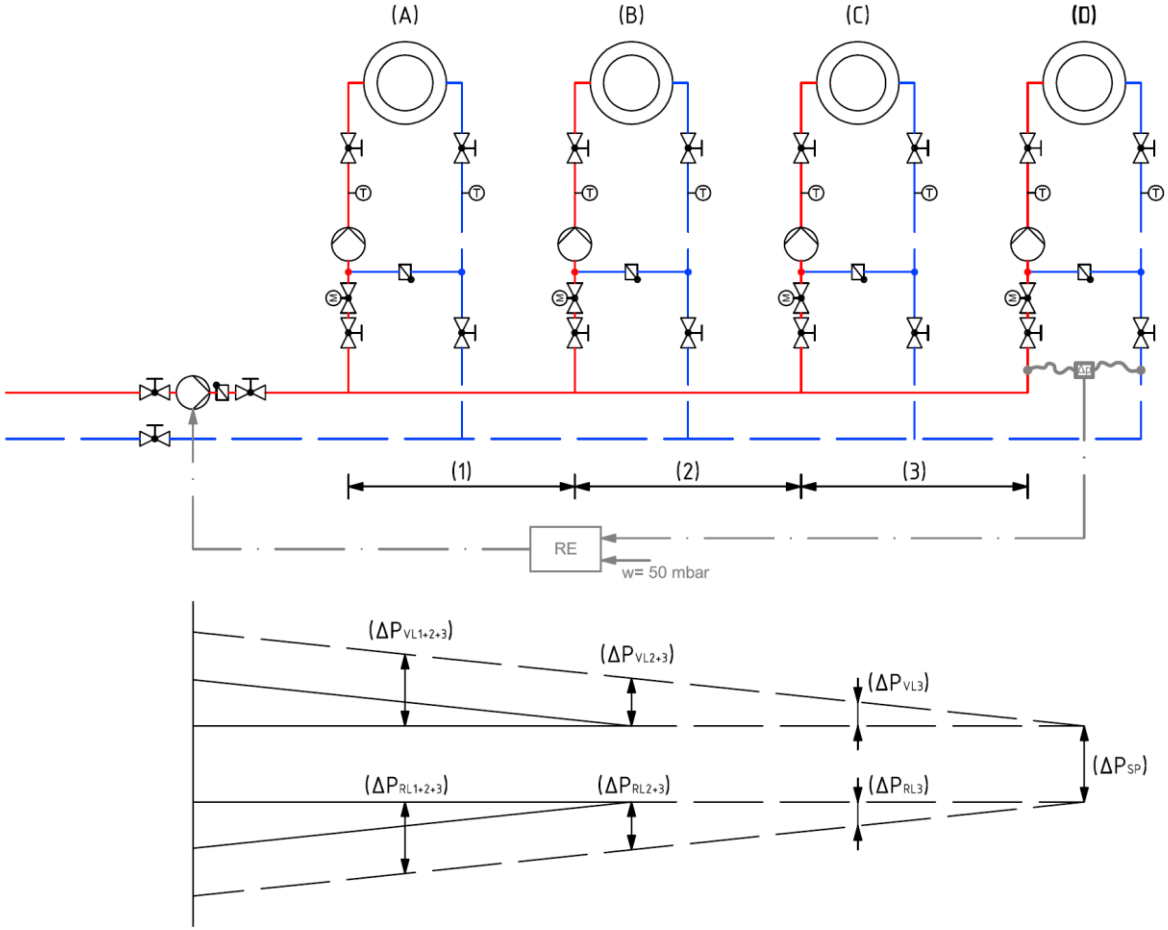
DN 40, PN 6/16

Auswahltabelle

Kv [m³/h]	Druckverlustbeiwert [ζ]	Spindelumdrehungen n1 ab Geschlossenstellung	Spindelumdrehungen n2 ab Offenstellung
55,7	1,3	20,3	(0)
48,9	1,7	17	(3,3)
43,6	2,1	15	(5,3)
37,7	2,8	13	(7,3)
31,5	4,1	11	(9,3)
24,7	6,6	9	(11,3)
18,1	12,2	7	(13,3)
11,6	30,0	5	(15,3)
8,2	59,9	4	(16,3)
5,0	161	3	(17,3)
1,8	1252	2	(18,3)

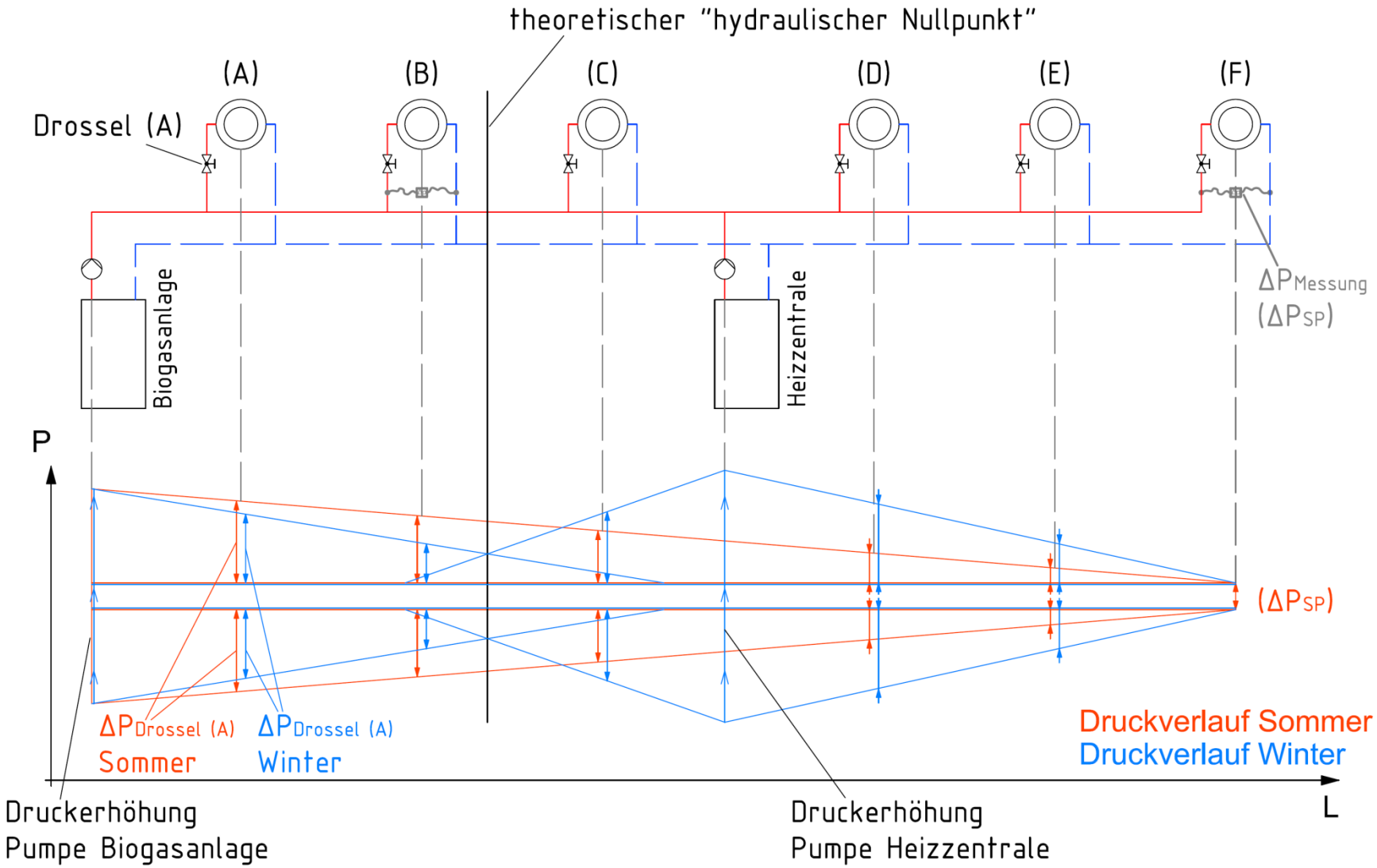


Problematik: Unterversorgung bei statischer Einregulierung und Pumpenregelung mit Schlechtpunktmessung

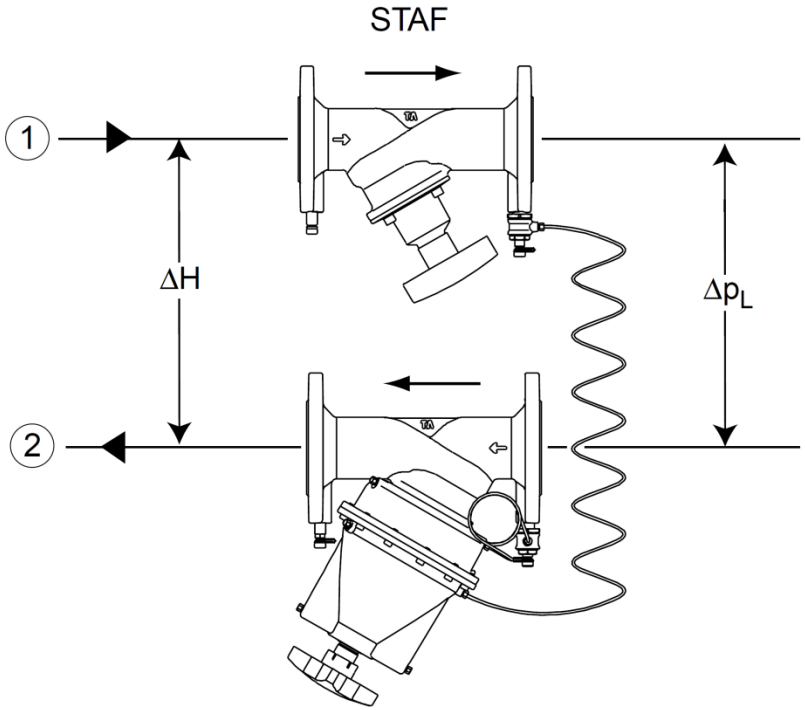


- **Nach Möglichkeit dynamischer Abgleich bei schwankenden Lastbedingungen!**

Druckverlauf im Nahwärmenetz



Differenzdruckregler für dynamischen Abgleich

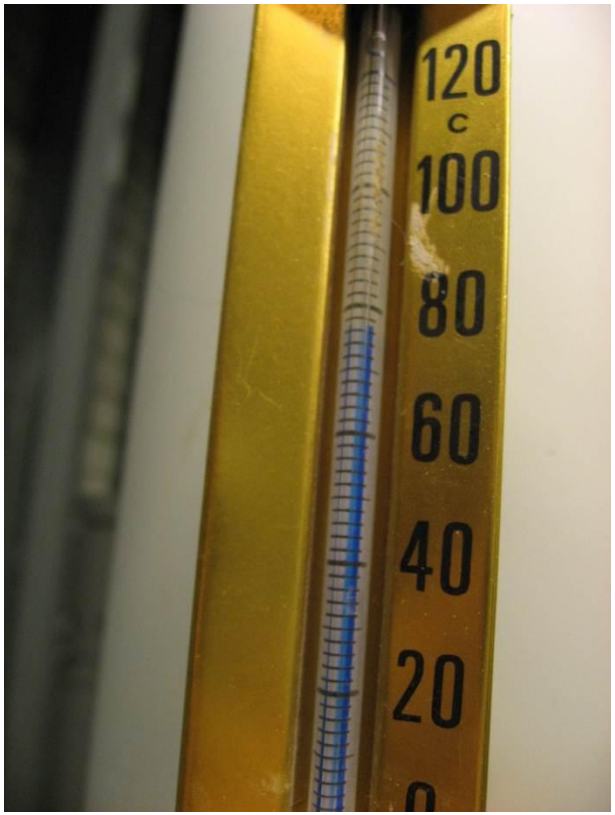


1. Vorlauf
2. Rücklauf

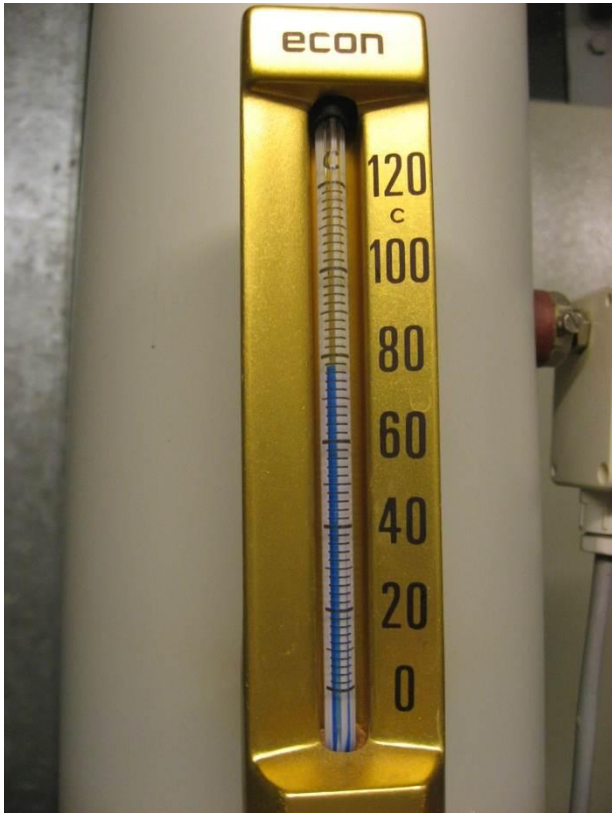
Quelle: www.taheimeier.de

Temperaturen beobachten

Vorlauf



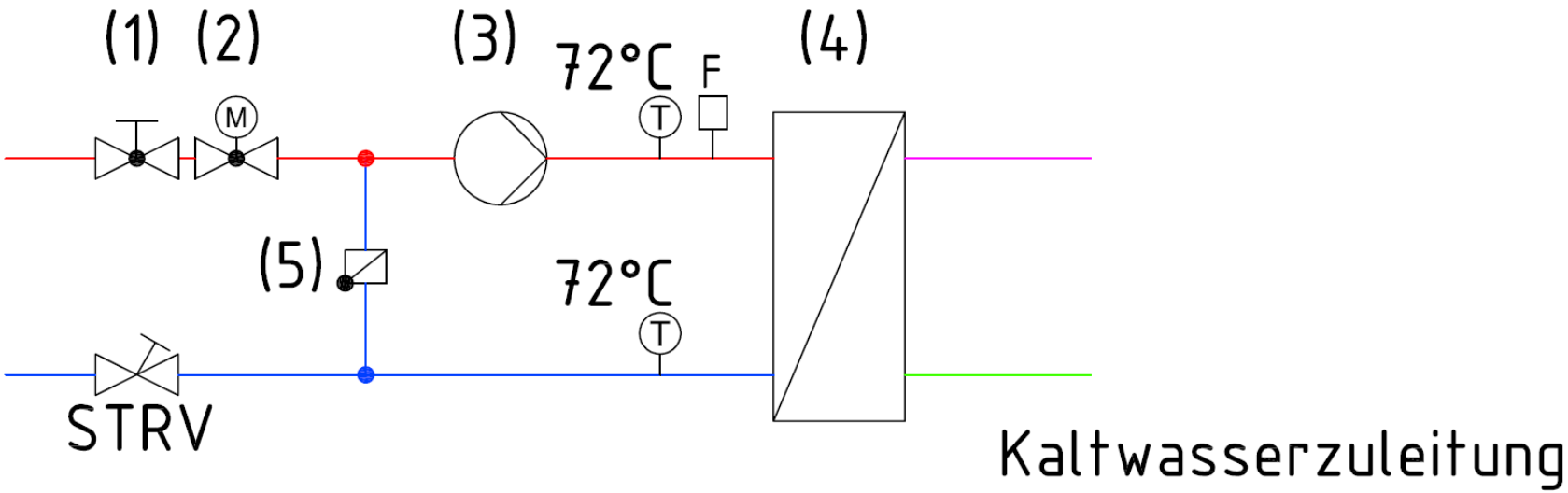
Rücklauf



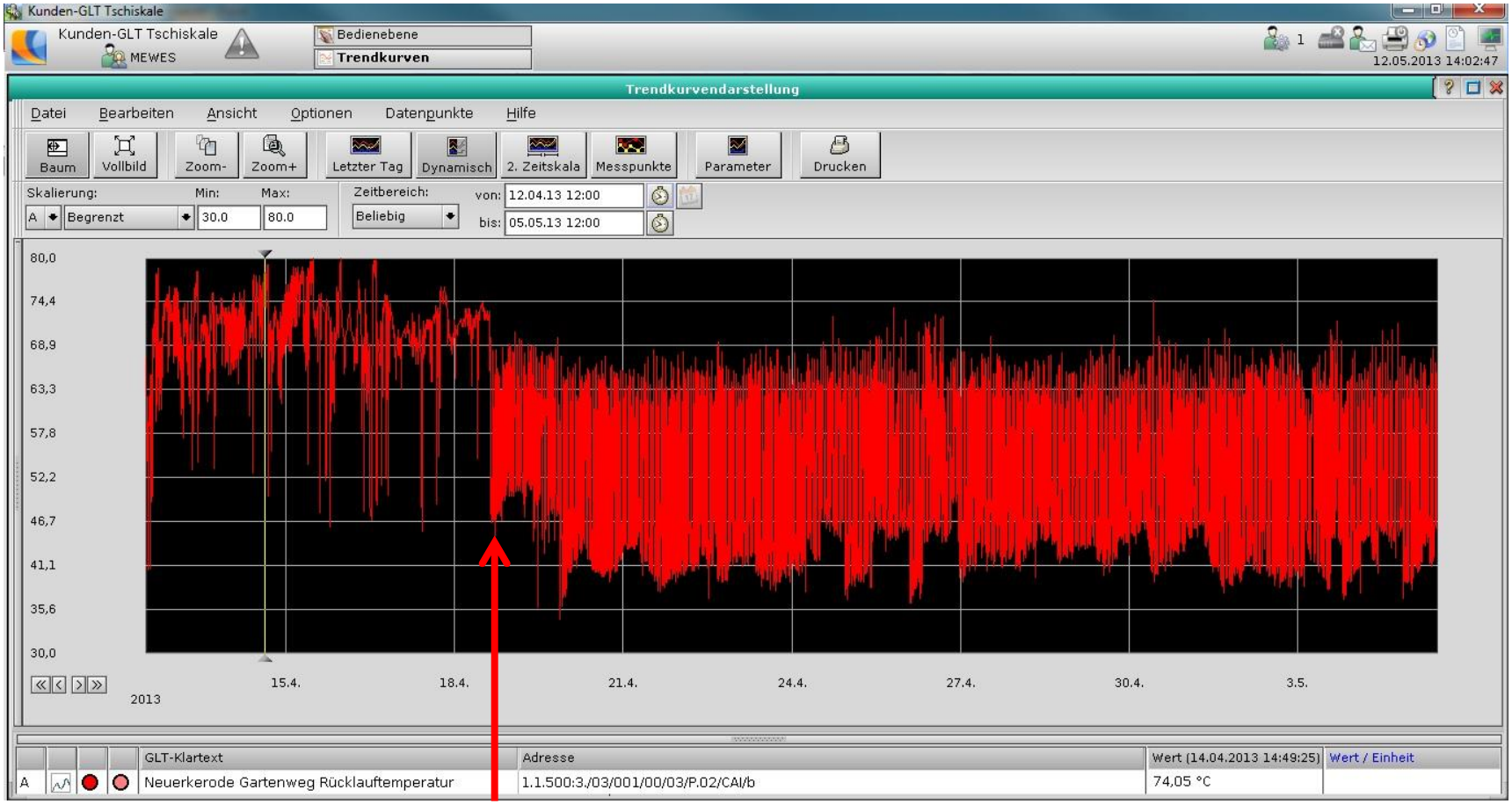
$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{VL} - t_{RL})$$

Hohe Rücklauftemperaturen – fehlende Regelventile

Hohe Rücklauftemperaturen – defekte Regelventile



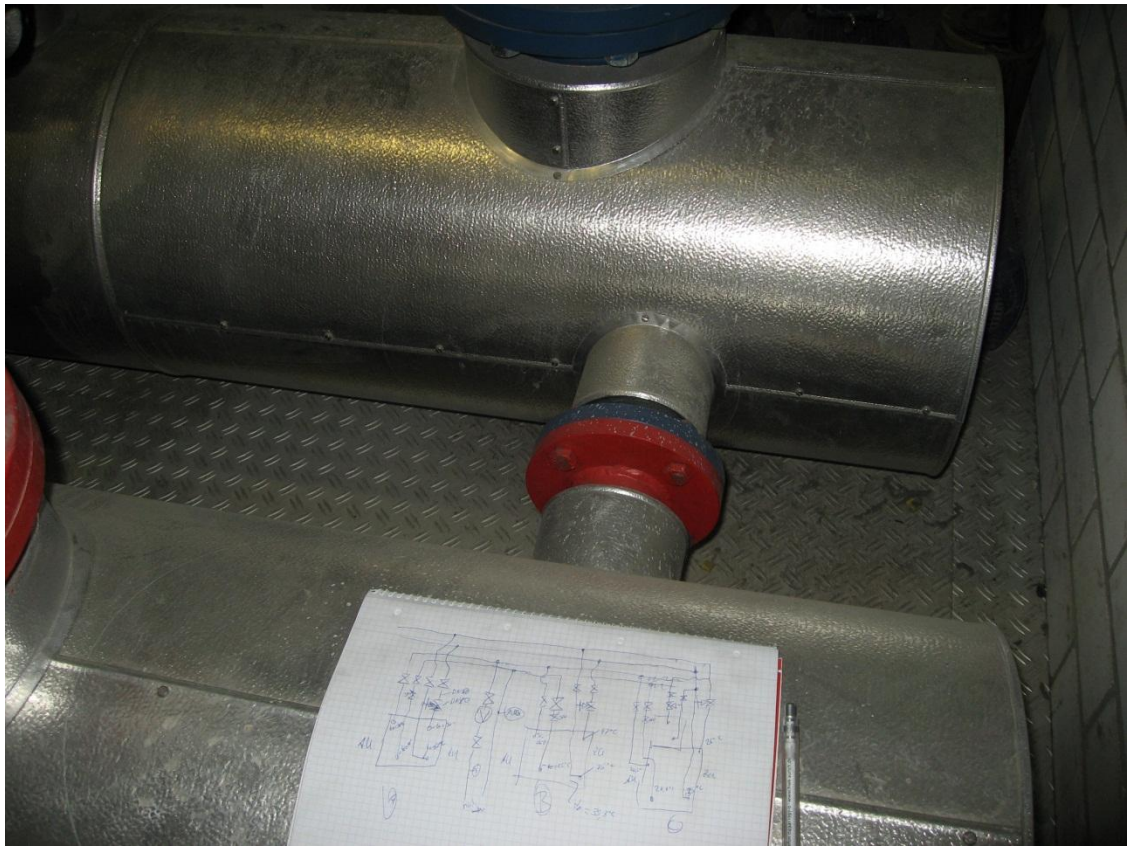
Temperaturverlauf Rücklauf WWB Gartenweg



Reparatur Stellantrieb Regelventil

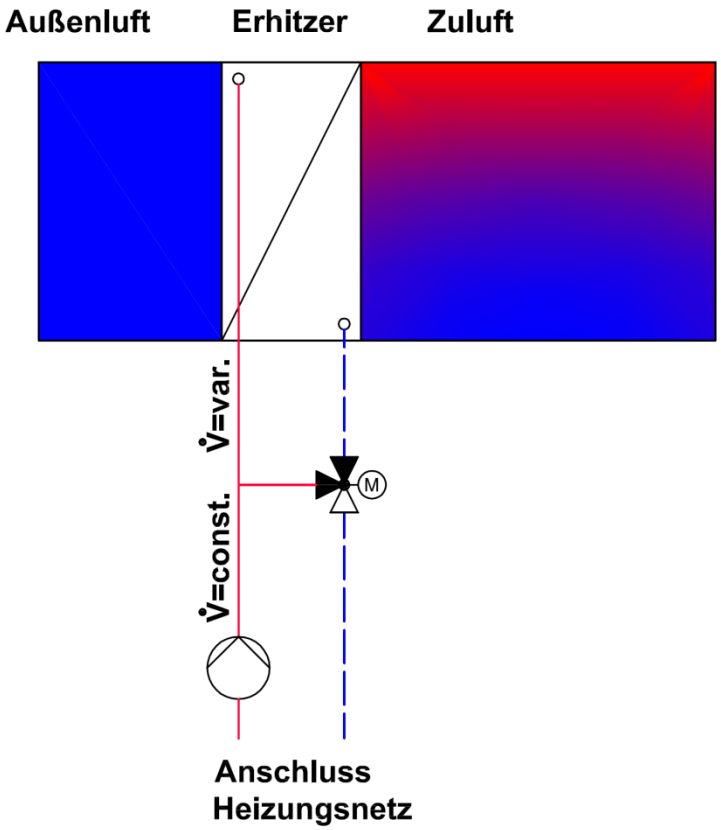
Hohe Rücklauftemperaturen –

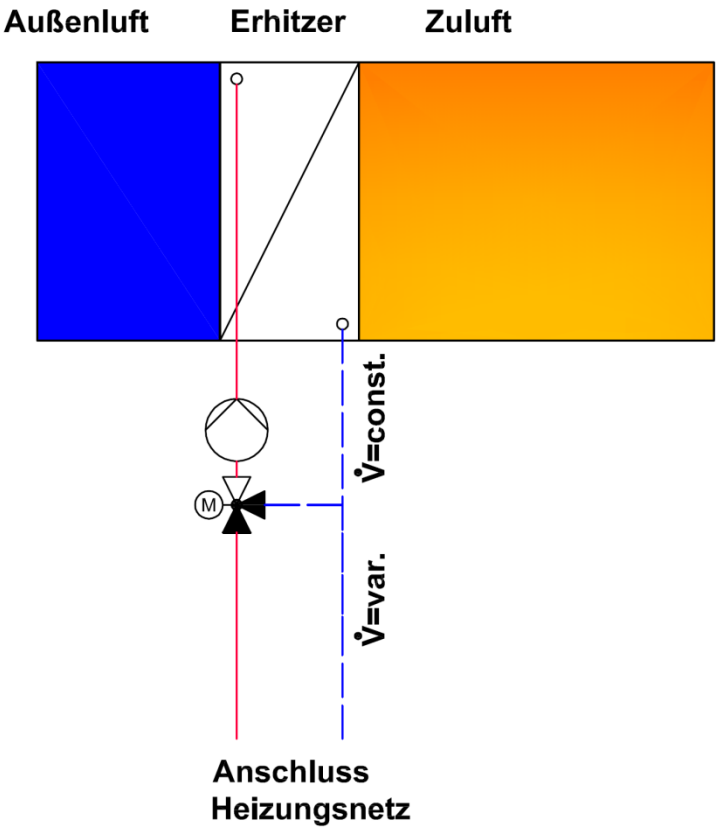
hydraulische Weichen/drucklose Verteiler im Netz



Hohe Rücklauftemperaturen –

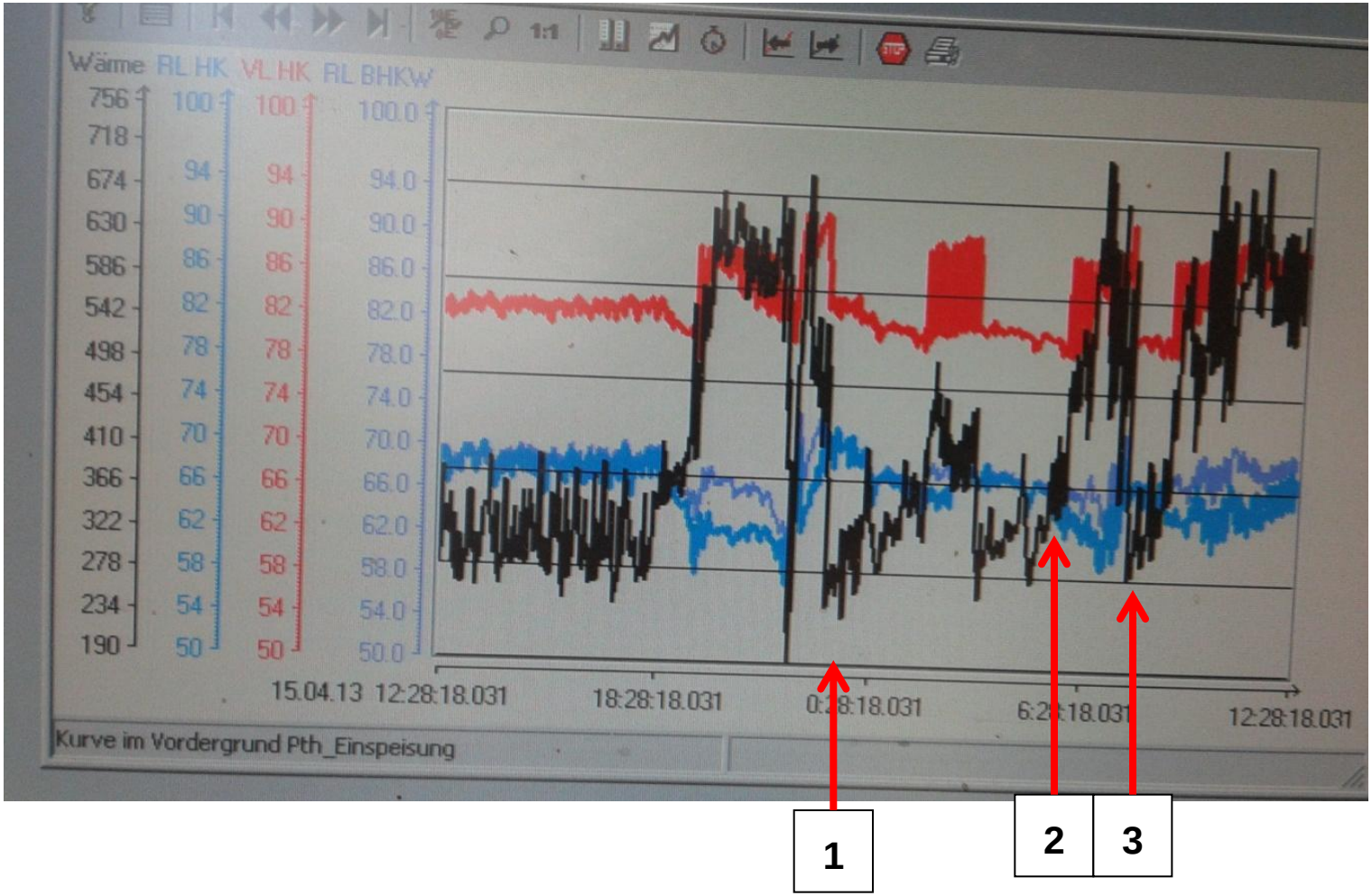
Ungünstige Hydraulik an Verbrauchern



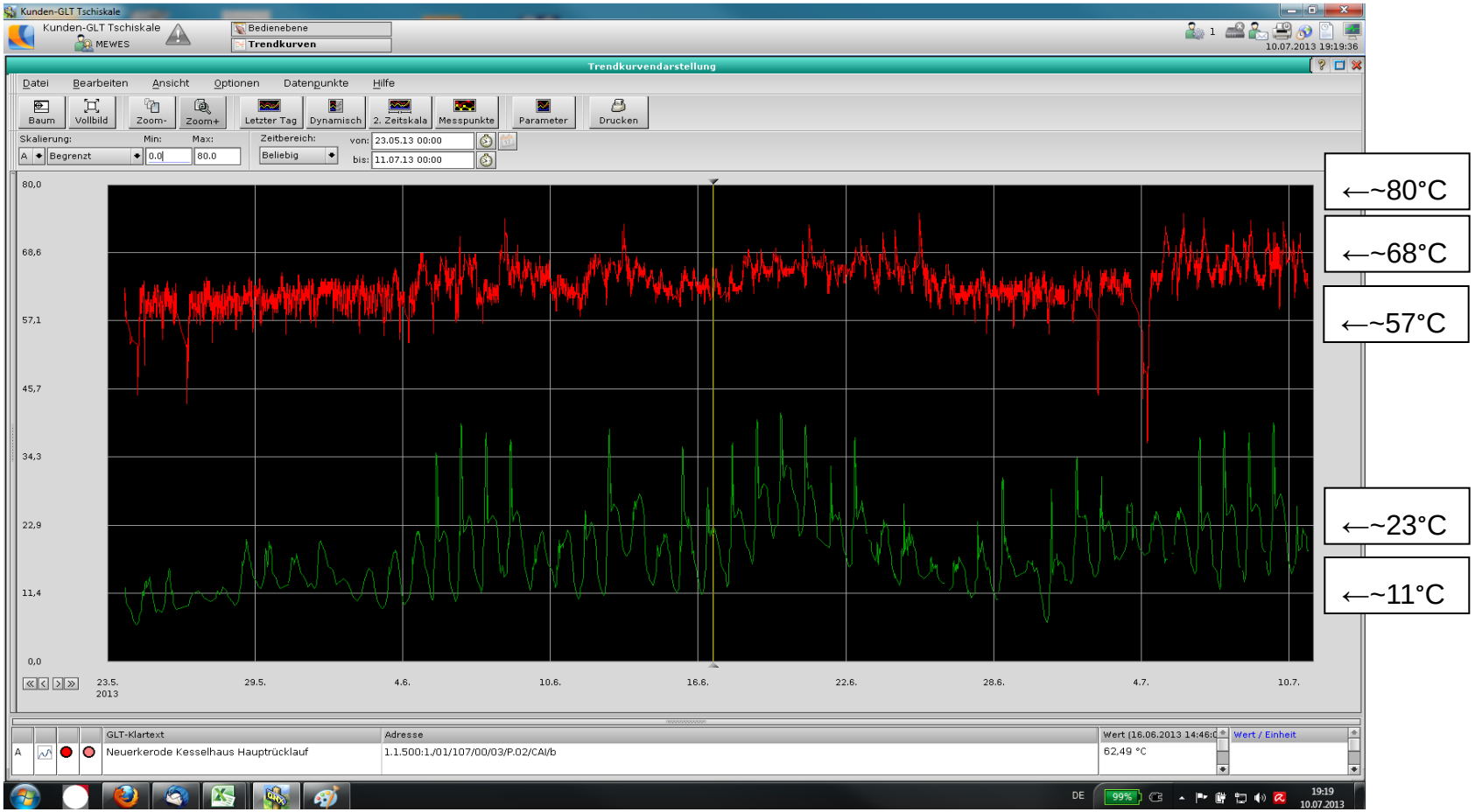


Anschluss Wärmeübertrager im Gegenstrom

Auswirkungen hohe Rücklauftemperaturen: Leistungsminderung Biogasanlage

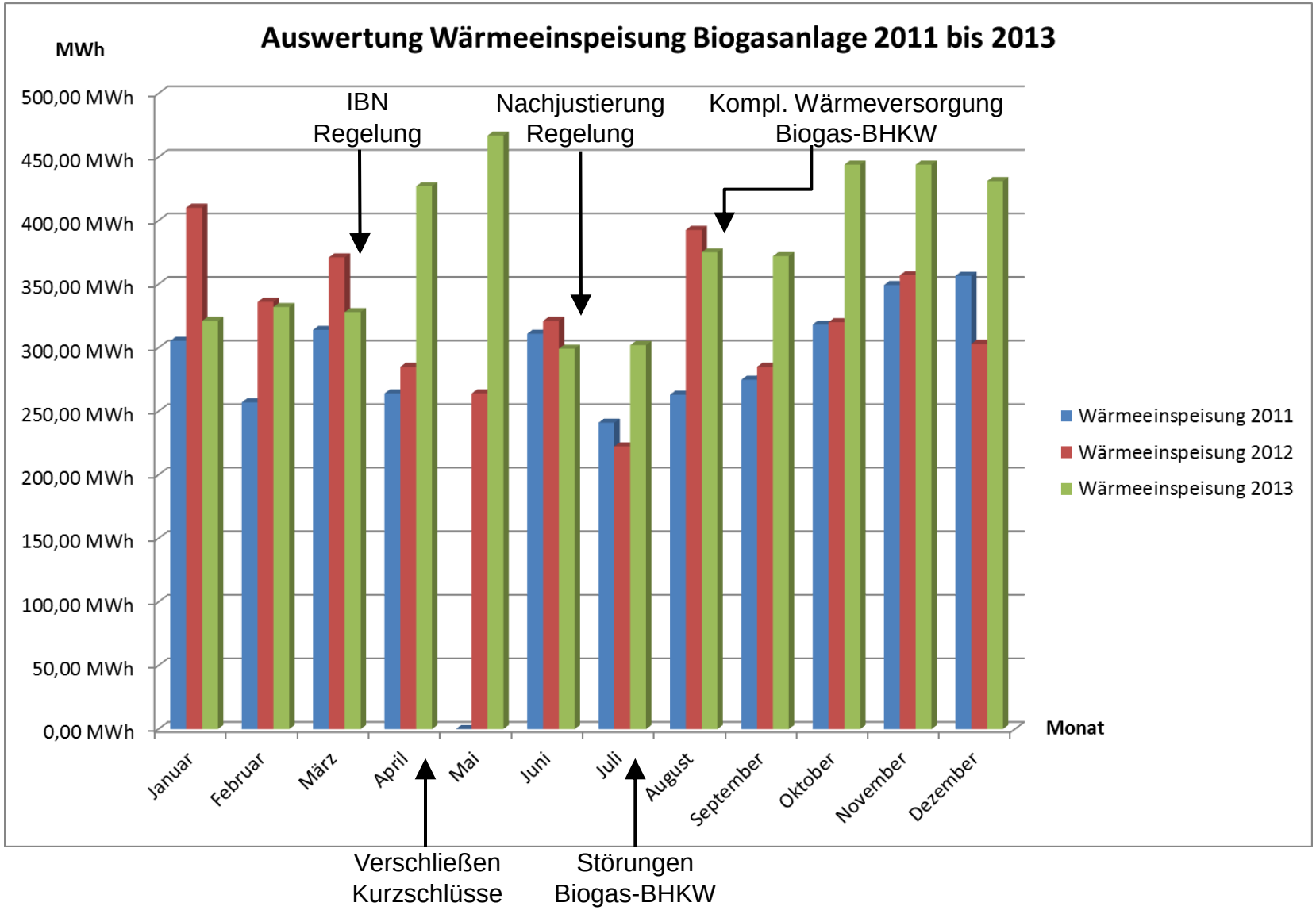


Auswirkungen hohe Rücklauftemperaturen: Verhinderung von Brennwertnutzung

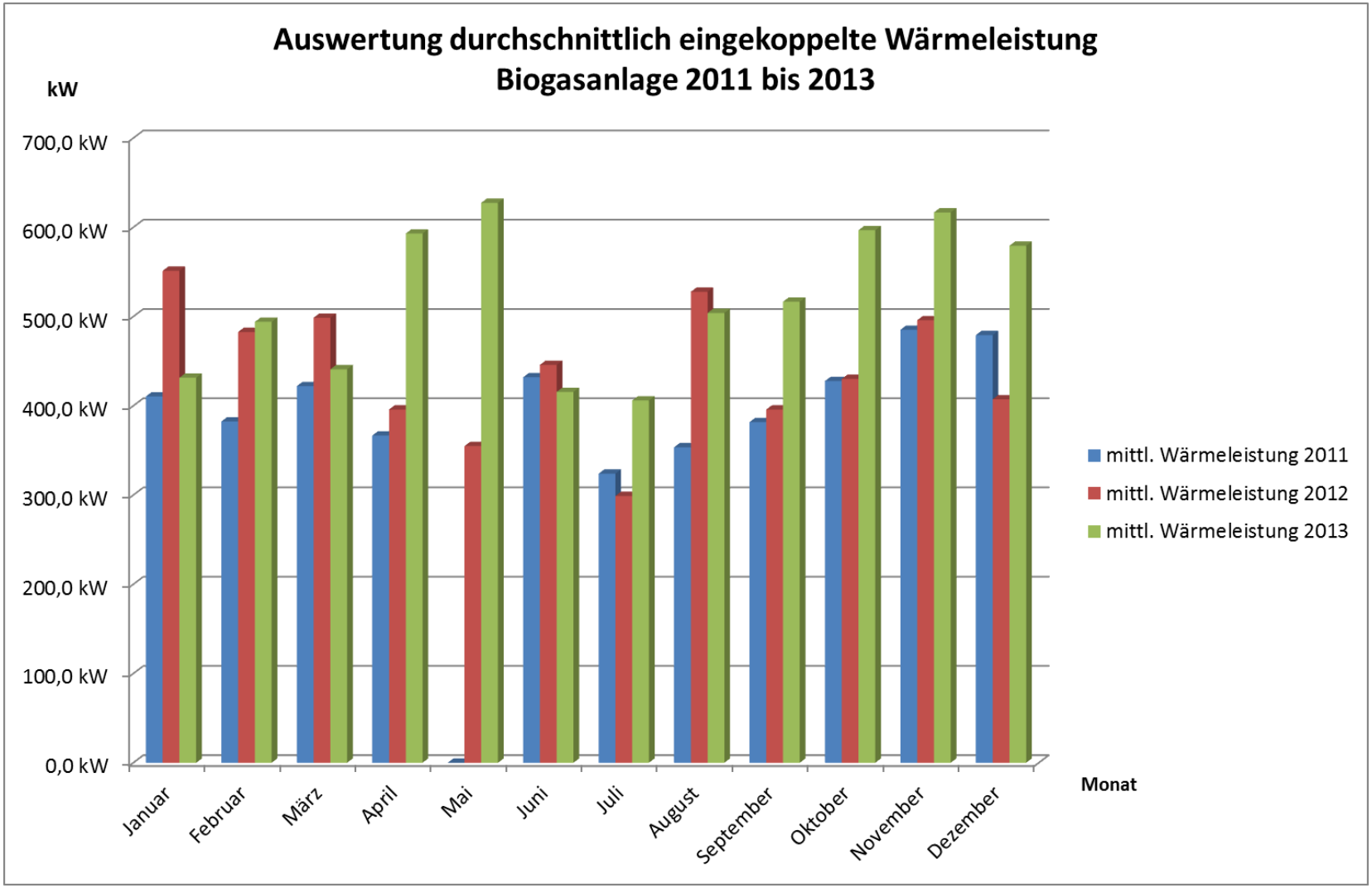


ROT= Rücklauftemperatur **GRÜN= Außentemperatur**

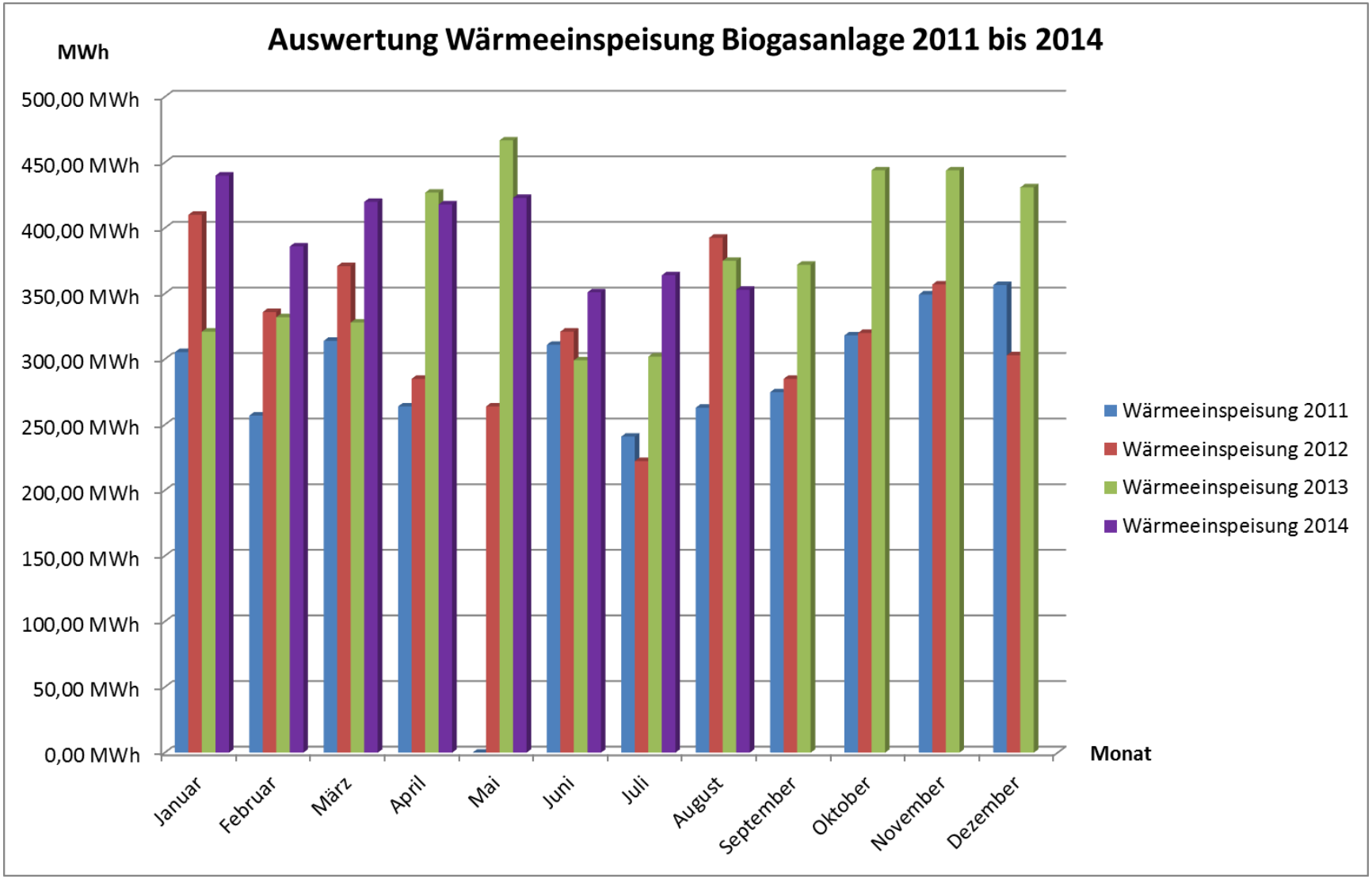
Ergebnisse der bisher umgesetzten Maßnahme



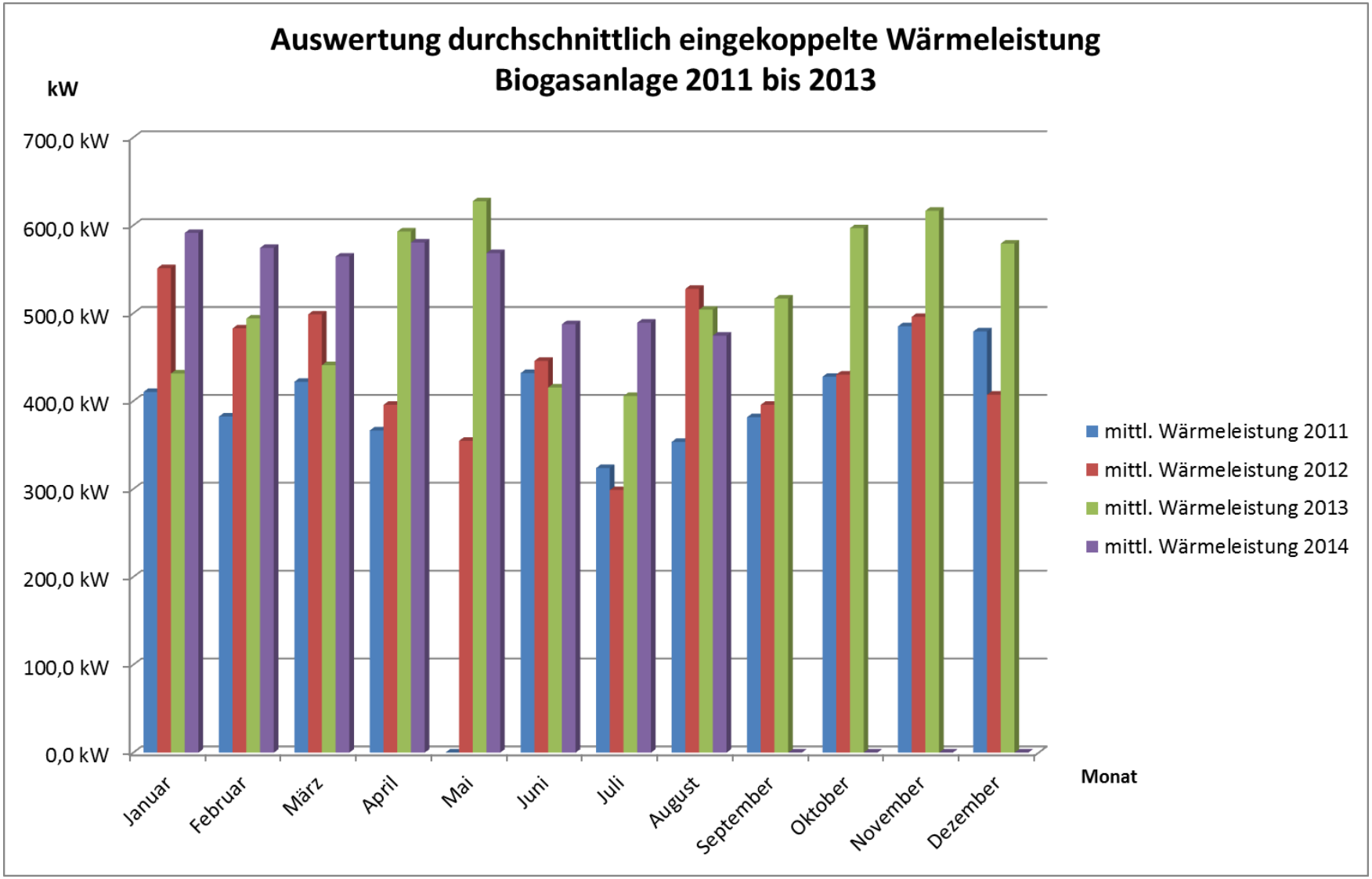
Ergebnisse der bisher umgesetzten Maßnahme



Ergebnisse der bisher umgesetzten Maßnahme



Ergebnisse der bisher umgesetzten Maßnahme



Betrachtung Anlagentechnik

- Vor- und Rücklauftemperaturen
- Benötigtes Temperaturniveau Verbraucher
- Pumpeneinstellungen
- Startverhalten Kesselanlage
- Kesselfolgeschaltung (Kessel mit besseren Wirkungsgrad als Führungskessel?!)
- Anschluss Wärmeübertrager prüfen

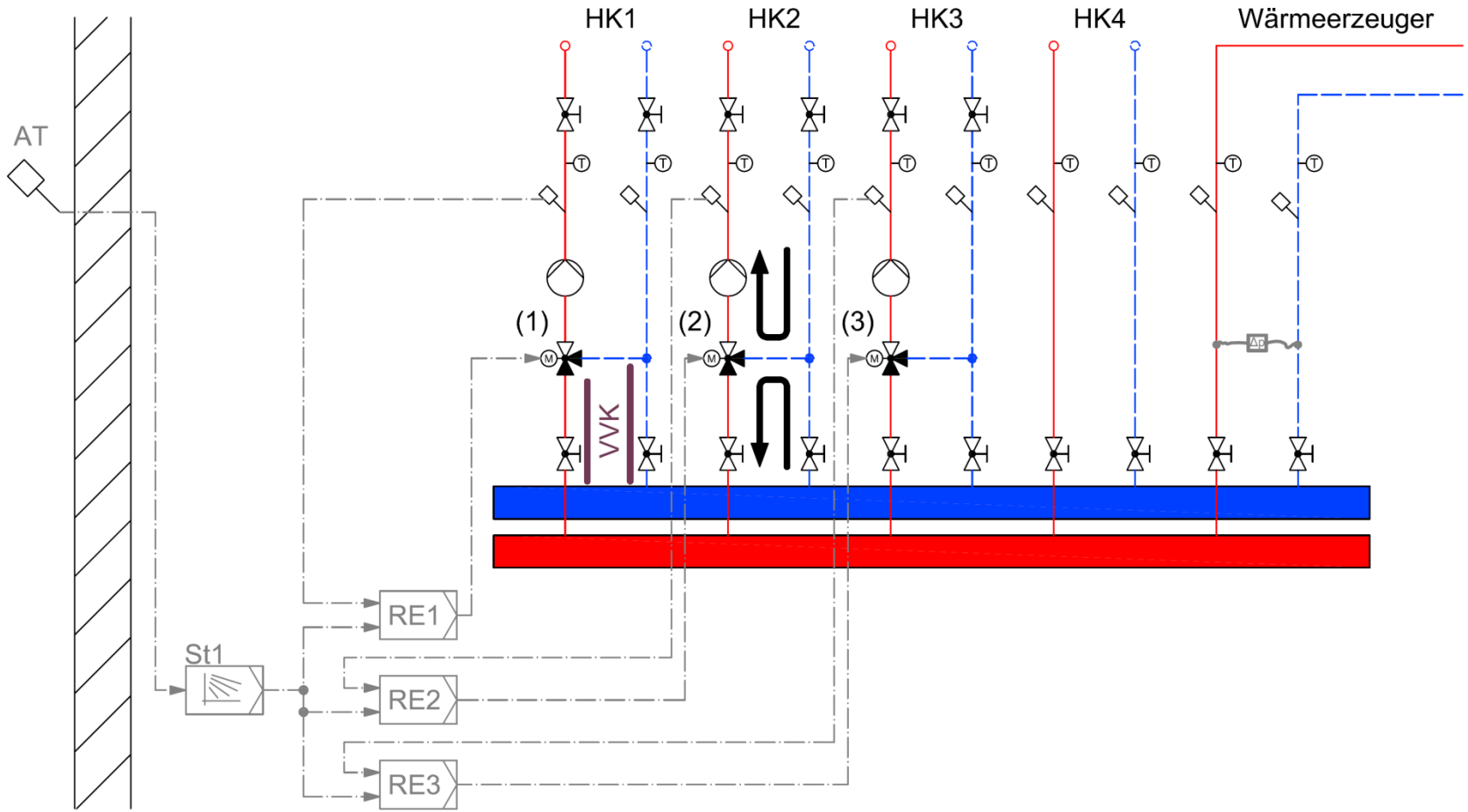
Fazit

- Fernzugriff und Aufzeichnung von Trendkurven zur Dokumentation der Anlagenfunktion und Lokalisierung von Fehlerquellen sinnvoll !!
- Konsequente Umsetzung der Maßnahme
- Fortlaufende Kontrolle der umgesetzten Maßnahmen (Temperaturverläufe, Leistungsverläufe, eingespeiste Wärmemenge etc.)
- Vertraglich festgelegte Zielsetzung → Energieeinsparung
- Flexible Vertragsgestaltung Bsp. Wärmevernichtung Biogasanlage
- Detaillierte Betrachtung einzelner Verbraucher bei Problemen der Wärmebereitstellung (Vermeidung Problemkompensation durch „hochstellen“ von Sollwerten)

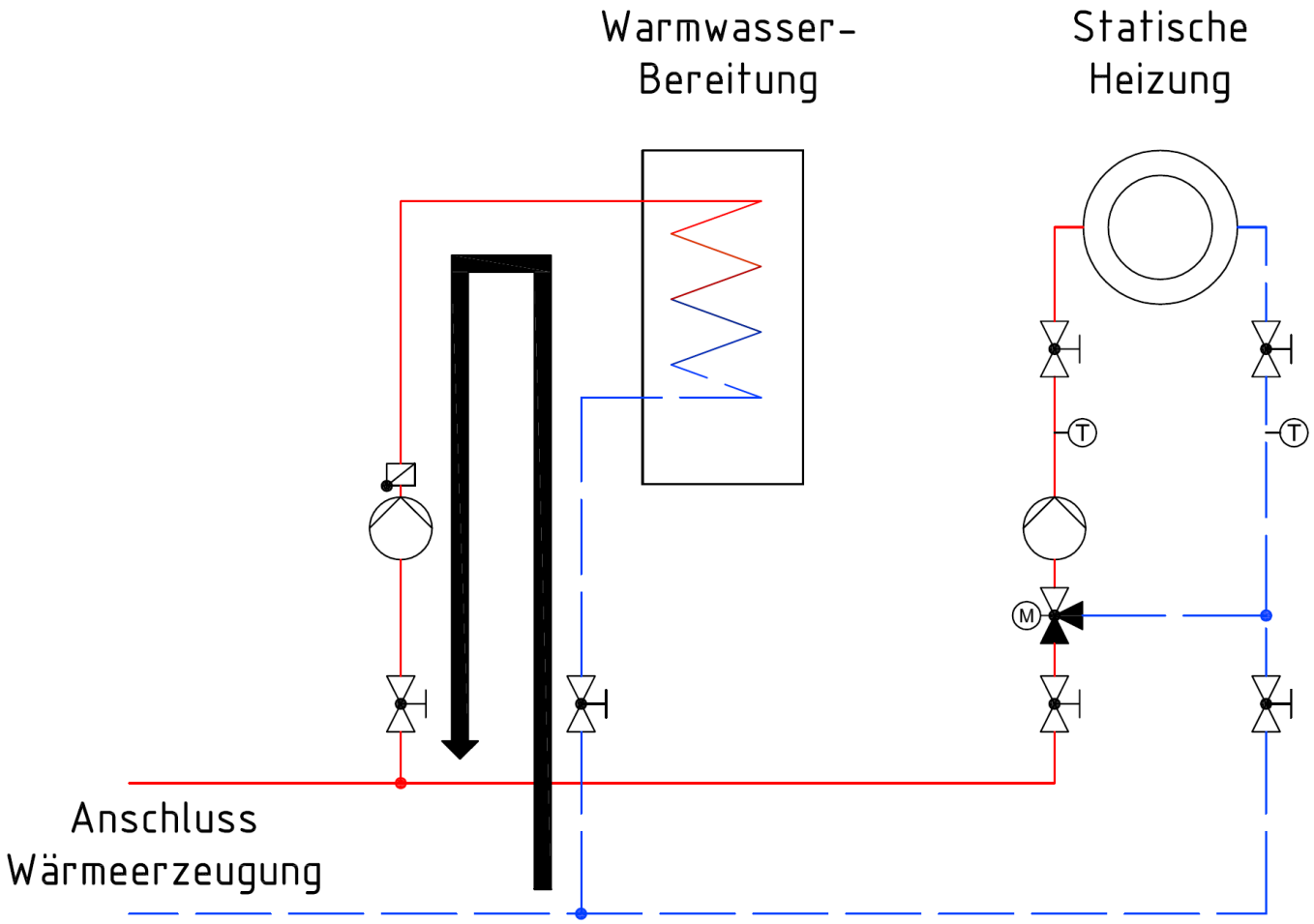
Ausblick

- Umsetzung geplanter Dezentralisierungsmaßnahmen
- Sanierung/Optimierung verbleibender Verbraucher
- Erneute Überprüfung der Wärmeerzeugung

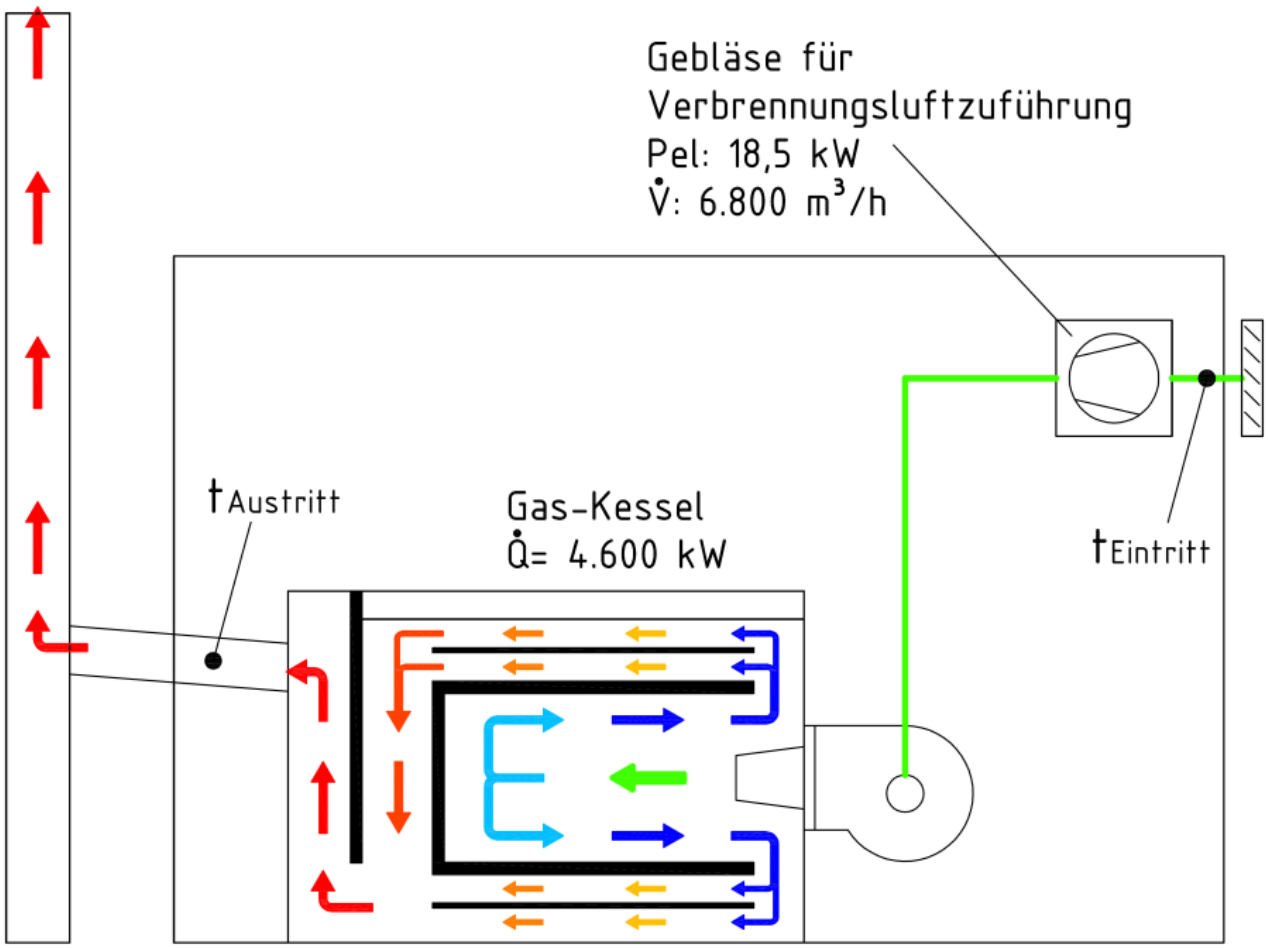
Fehlersuche – Fehlzirkulation bei zu groß dimensionierten Regelventilen



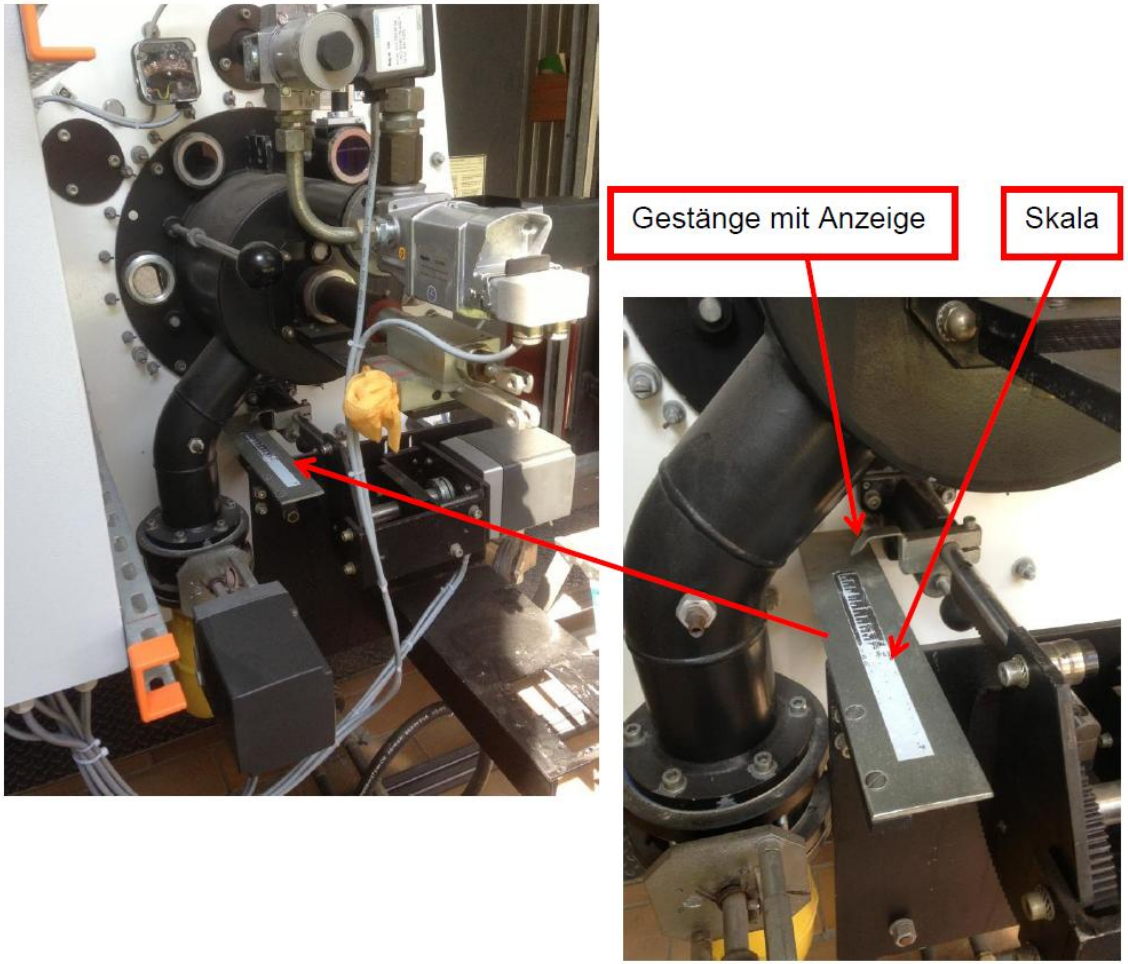
Fehlersuche – Fehlzirkulation aufgrund von defekten Rückschlag- oder Regelventilen



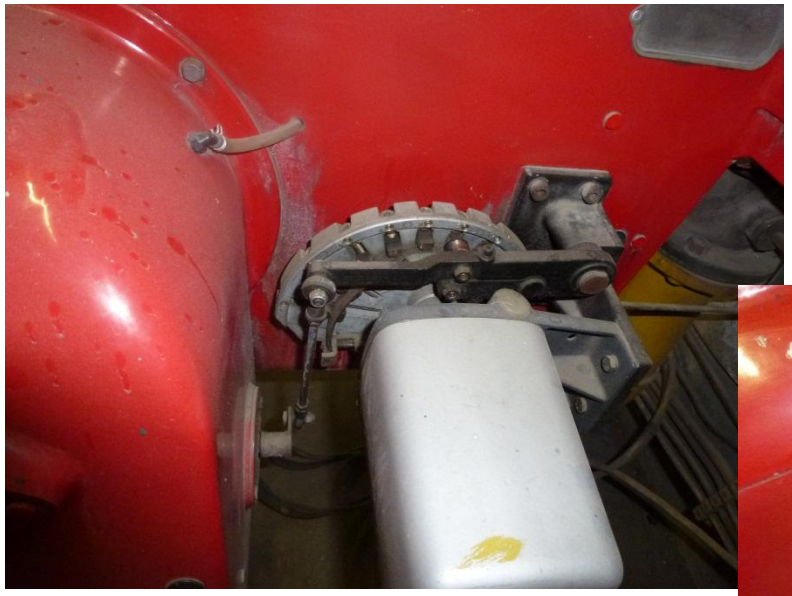
Verluste durch Vorbelüftung



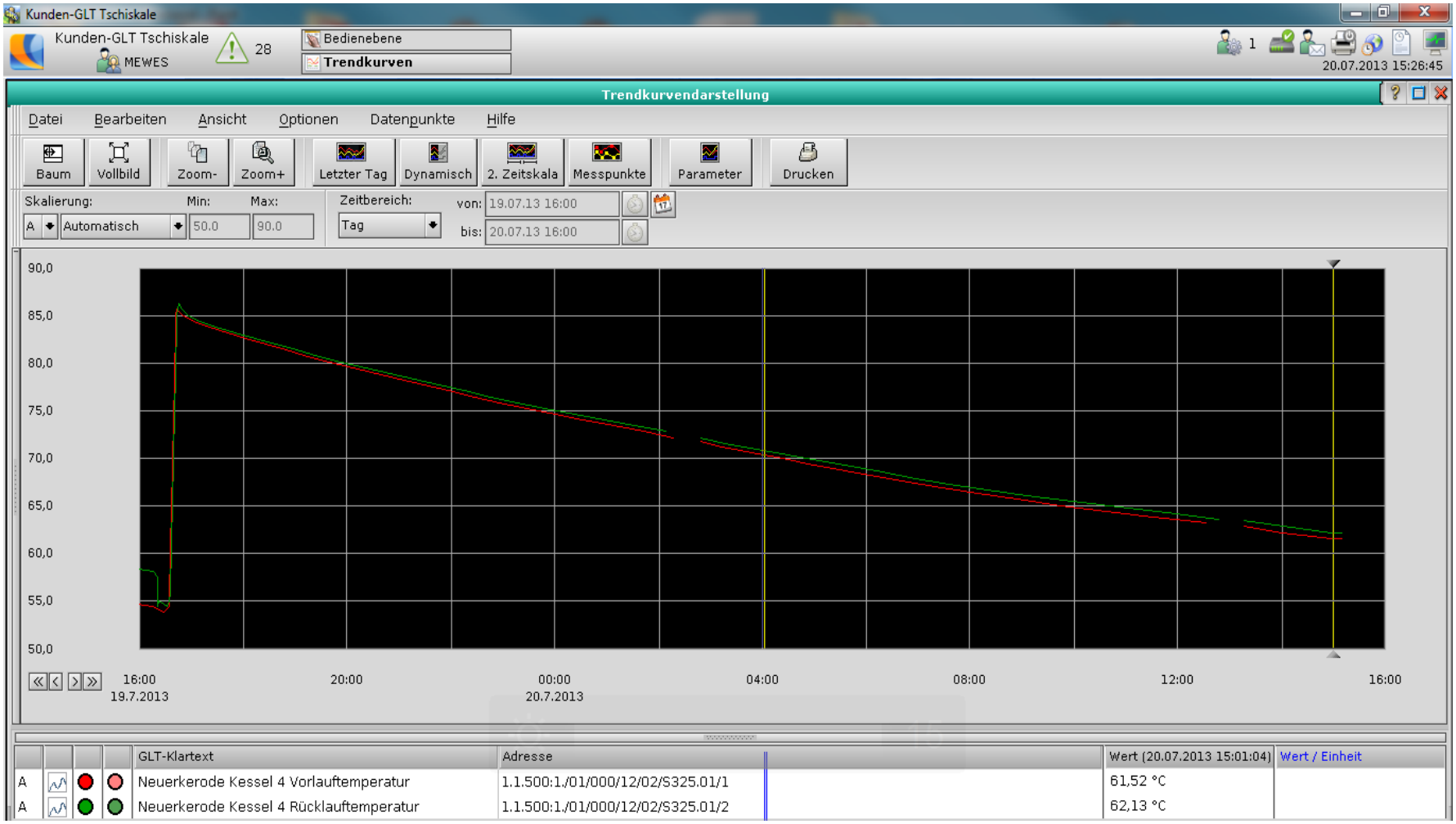
Kesselregelung - Startverhalten Brenner



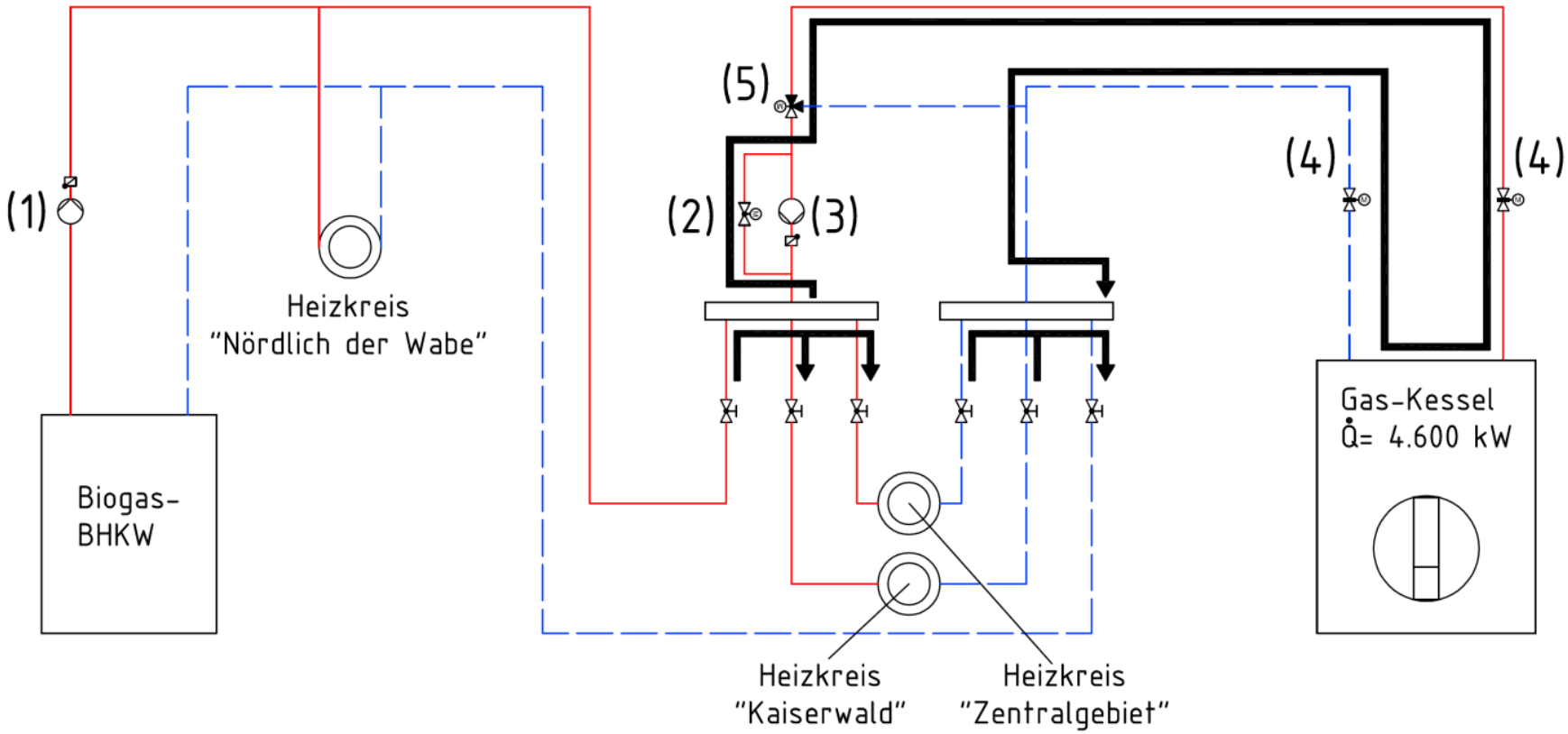
Kesselregelung - Startverhalten Brenner



Kesselregelung - Restwärmenutzung



Hydraulische Einbindung bestehenden Gas-Kessel als Pufferspeicher



Ergebnisse Wärmeerzeugung Kesselhaus

Quelle Kapitel	Beschreibung	Endenergieeinsparung	Einsparung/ Mehraufwand
6.3.1.1	Verringerung Kesselstarts durch kleinere Kesselanlage	5.340 kWh_{HS}	- 315,06 €
6.3.1.1	Verringerung Kesselstarts durch Pufferspeicher	690 kWh_{HS} 20.934 kWh_{HS}	- 40,71 € - 586,15 €
6.3.1.2	Wärmeverluste Pufferspeicher	10.060 $kWh_{Biowärme}$	+ 311,86 €
6.3.1.2	Wärmeverluste Kesselanlage als Pufferspeicher OHNE Abgas-Absperrklappen	15.820 $kWh_{Biowärme}$	+ 490,42 €
6.3.1.2	Wärmeverluste Kesselanlage als Pufferspeicher MIT Abgas-Absperrklappen	10.060 $kWh_{Biowärme}$	+ 311,86 €

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!