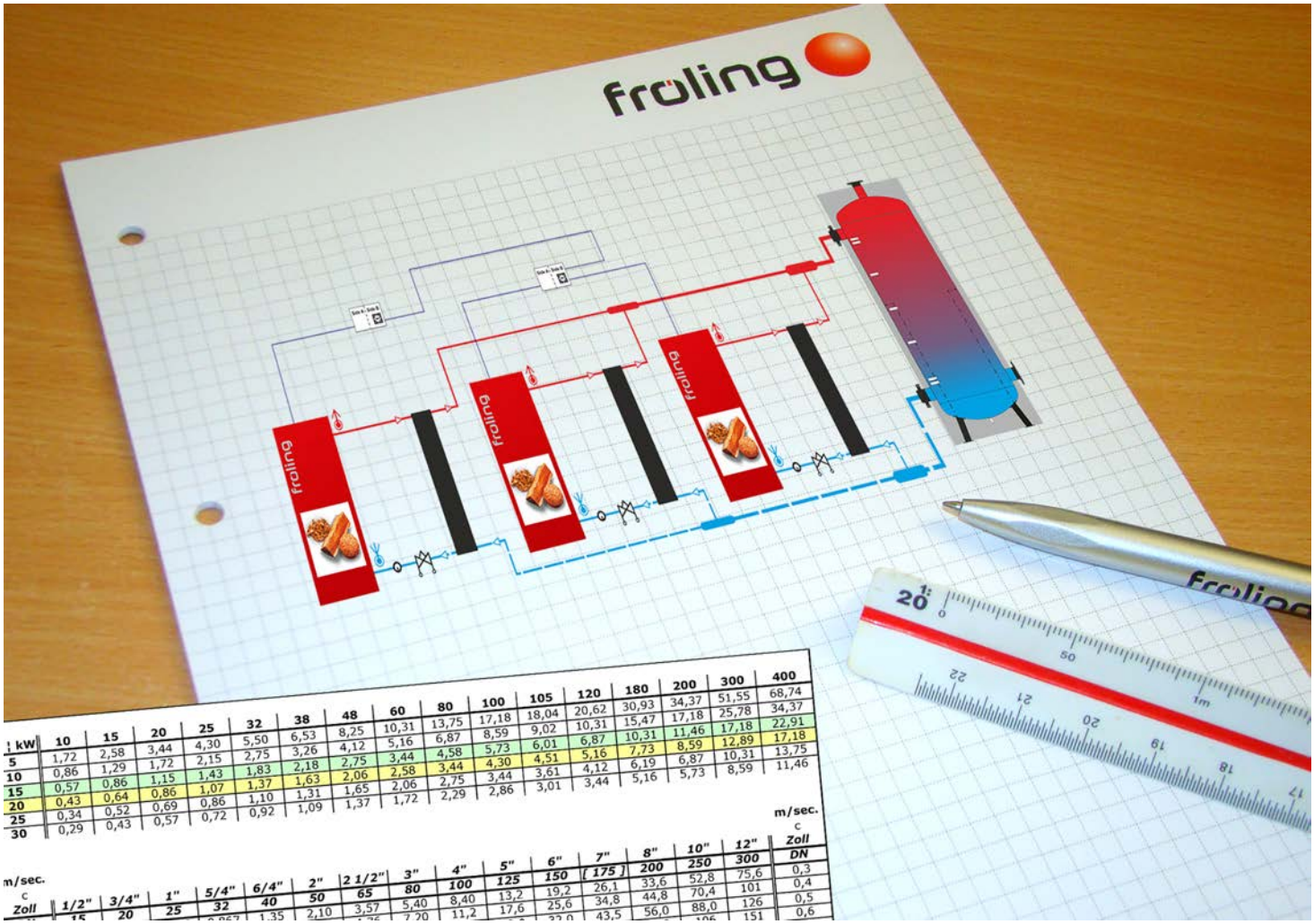


Planungsunterstützung

Pufferspeichermanagement / Kaskadensteuerung

P0690116_de • 12.12.2016

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemein ... 3
1.1 Rücklaufanhebungen ... 3
1.2 Strangregulierventil ... 4
1.2.1 Einstellungsbeispiel ... 4
1.3 Durchflussmenge von Wasser ... 4
2 Pufferspeichermanagement ... 5
2.1 2-Fühler Pufferspeichermanagement ... 5
2.2 2-Fühler-Pufferspeichermanagement mit bedarfsgeführter Anforderung ... 6
2.3 4-Fühler-Pufferspeichermanagement ... 7
3 System "Kaskade" ... 8
3.1 Verdrahtung der Module ... 8
3.2 Hinweise zur Rohrleitungsdimensionierung ... 9
3.2.1 Strömungstechnisch günstige Einbindung ... 9
3.2.2 Installation eines Rohrverteilers ... 9
3.3 Beispiel zur Rohrleitungsdimensionierung ... 10
3.3.1 Darstellung der Ergebnisse im Planungsvorschlag ... 11
3.4 Kaskade mit Pufferspeicher ... 12
3.4.1 Berechnung der Startpunkte ... 12
3.4.2 Unverbindliche Planungsvorschläge ... 13

1 Allgemein

Für den Inhalt dieser Planungsunterlage ist die Fröling GesmbH verantwortlich. Durch die ständige Weiterentwicklung unserer Produkte behalten wir uns technische Änderungen vor und es können Abbildungen geringfügig abweichen. Die Planungsunterlage darf ohne Zustimmung der Fröling GesmbH nicht an Dritte weitergegeben oder vervielfältigt werden.

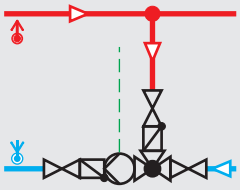
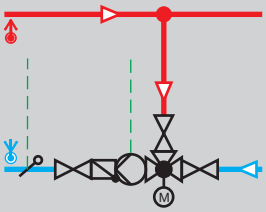
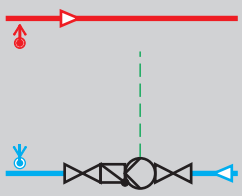
Sollten Sie Fehler feststellen, informieren Sie uns bitte: doku@froeling.com

HINWEIS

Nachfolgend beschriebene und dargestellte Funktionen treffen auf alle automatisch beschickten Kessel der Fröling GesmbH zu. Auf die jeweilige Ausführung der Rücklaufanhebung der unterschiedlichen Kesseltypen ist zu achten!

1.1 Rücklaufanhebungen

Abhängig von der jeweiligen Kesseltype sowie Leistungsgröße ist auf die korrekte Ausführung der Rücklaufanhebung zu achten:

Pumpengruppe FE bis 40kW: 	**Anschluss Pufferladepumpe:** Hydraulikmodul: Pumpe 0.1
Pumpengruppe ME: 	Ansteuerung des Rücklaufmischers über Ausgang „Mischer 1“ am Kernmodul (nur Heizkreis 2 am Kernmodul verfügbar), oder über zusätzliches Rücklaufmischermodul bzw. Hackgutmodul.
	Anschluss Mischer: - Scheitholz-, Kombikessel: Mischer 1 am Kernmodul - Scheitholz-, Kombikessel: Mischerausgang am Rücklaufmischermodul - Hackgutkessel: Mischerausgang am Hackgutmodul
	Anschluss Rücklauffühler: - Scheitholz-, Kombikessel: Kernmodul - Hackgutkessel: Hackgutmodul
	Anschluss Pufferladepumpe: Hydraulikmodul: Pumpe 0.1
Pumpengruppe OE: 	**Anschluss Pufferladepumpe:** Hydraulikmodul: Pumpe 0.1

1.2 Strangregulierventil

Das Strangregulierventil ermöglicht eine exakte und einfache Einregulierung. Der Durchflusswert wird in l/min einjustiert, sodass die zeitraubende Ermittlung von Einstellwerten über Diagramme oder andere Hilfsmittel entfällt. Der Durchflusswert kann an der Skala des im Bypass integrierten Messkörpers eingestellt werden, wobei die untere Kante des Schwimmer-Körpers als Ablesemarke dient. Der Bypass wird nur durchströmt, wenn der Bügel gedrückt gehalten wird. Sind Anlagen nicht korrekt abgeglichen, tritt meist ein zu hoher Volumenstrom durch den Kessel auf, welcher eine relativ geringe Spreizung zwischen Kesselvor- und rücklauf zur Folge hat.

1.2.1 Einstellungsbeispiel

Pelletskessel P4 Pellet 15, Spreizung 15 K:

$$\dot{m} = \frac{Q_{Ges}}{c * \Delta T} = \frac{15\ kW}{1{,}163\ (kWh/m^3*K) * 15\ K}$$

$$\approx 0{,}86\ m^3/h\ = \underline{14{,}3\ l/min}$$



Bei einer Spreizung von 15 K kann näherungsweise die Leistung in kW als Durchfluss in l/min am Strangregulierventil eingestellt werden.

kW ≈ l/min

1.3 Durchflussmenge von Wasser

Folgende Tabelle stellt einen Auszug der erforderlichen Wassermenge aus den möglichen Leistungskonstellationen in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf des Kessels dar. Für die Ermittlung der Rohrdimensionen kann der untere Bereich der Tabelle herangezogen werden, aus welcher die entsprechende Durchflussmenge in Abhängigkeit der Wassergeschwindigkeit hervor geht. (Temperatur = 70°C, Rohrleitungsmaterial = Stahl)

Durchflussmenge von Wasser [m³/h]

dT ¦ kW	10	15	20	25	32	38	48	60	80	100	105	120	180	200	300	400
5	1,72	2,58	3,44	4,30	5,50	6,53	8,25	10,31	13,75	17,18	18,04	20,62	30,93	34,37	51,55	68,74
10	0,86	1,29	1,72	2,15	2,75	3,26	4,12	5,16	6,87	8,59	9,02	10,31	15,47	17,18	25,78	34,37
15	0,57	0,86	1,15	1,43	1,83	2,18	2,75	3,44	4,58	5,73	6,01	6,87	10,31	11,46	17,18	22,91
20	0,43	0,64	0,86	1,07	1,37	1,63	2,06	2,58	3,44	4,30	4,51	5,16	7,73	8,59	12,89	17,18
25	0,34	0,52	0,69	0,86	1,10	1,31	1,65	2,06	2,75	3,44	3,61	4,12	6,19	6,87	10,31	13,75
30	0,29	0,43	0,57	0,72	0,92	1,09	1,37	1,72	2,29	2,86	3,01	3,44	5,16	5,73	8,59	11,46

Nennweite

m / sec. c																m / sec. c
Zoll	1/2"	3/4"	1"	5/4"	6/4"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	10"	12"	Zoll
DN	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	[175]	200	250	300	DN
0,3	0,189	0,336	0,552	0,867	1,35	2,10	3,57	5,40	8,40	13,2	19,2	26,1	33,6	52,8	75,6	0,3
0,4	0,252	0,448	0,736	1,16	1,80	2,40	4,76	7,20	11,2	17,6	25,6	34,8	44,8	70,4	101	0,4
0,5	0,315	0,560	0,920	1,45	2,25	3,50	5,95	9,00	14,0	22,0	32,0	43,5	56,0	88,0	126	0,5
0,6	0,379	0,672	1,10	1,73	2,70	4,20	7,14	10,8	16,8	26,4	38,4	52,2	67,2	106	151	0,6
0,7	0,441	0,784	1,28	2,02	3,15	4,90	8,33	12,6	19,6	30,8	44,8	60,9	78,4	123	176	0,7
0,9	0,567	1,01	1,66	2,60	4,05	6,30	10,7	16,2	25,2	39,6	57,6	78,3	101	158	227	0,9
1,0	0,635	1,12	1,84	2,89	4,50	7,00	11,9	18,0	28,0	44,0	64,0	87,0	112	176	252	1,0
1,1	0,698	1,32	2,02	3,18	4,95	7,70	13,9	19,8	30,8	48,4	70,4	95,7	123	194	277	1,1
1,2	0,761	1,34	2,21	3,47	5,40	8,40	14,3	21,6	33,6	52,8	76,8	104	134	211	302	1,2
1,5	0,950	1,68	2,76	4,34	6,75	10,5	17,9	27,0	42,0	66,0	96,0	104	168	264	378	1,5
1,75	1,11	1,96	3,22	5,06	7,87	12,3	20,8	31,5	49,0	77,0	112	152	196	308	441	1,75
2,0	1,26	2,24	3,68	5,78	9,00	14,0	23,8	36,0	56,0	88,0	128	174	224	352	504	2,0

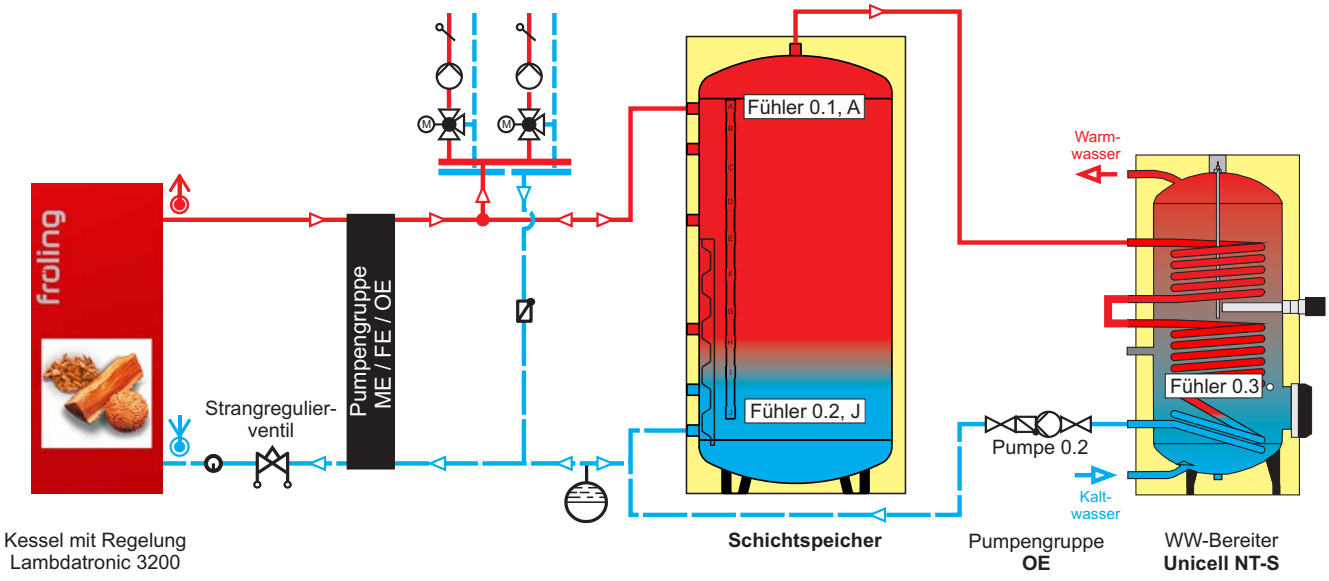
2 Pufferspeichermanagement

Bei Kesselanlagen mit Pufferspeicher wird die Betriebsart „Automatik“ gewählt. In dieser Betriebsart stehen vier Pufferladezeitfenster mit höchster Priorität zur Verfügung. Der Kessel startet nur innerhalb dieser Zeitfenster, außerhalb der Zeitfenster werden Wärmeanforderungen seitens des Pufferspeichers ignoriert.

2.1 2-Fühler Pufferspeichermanagement

Beim 2-Fühler-Pufferspeichermanagement werden die obere und untere Temperatur im Pufferspeicher als Start- bzw. Stoppkriterium herangezogen.

START-KRITERIUM:	
Die Einstellung der minimalen Pufferspeichertemperatur erfolgt über die Kessel-Solltemperatur (KT_{Soll}) minus eines einstellbaren Wertes (T_{Start}). Unterschreitet die obere Pufferspeichertemperatur (PU_{oben}) innerhalb des definierten Zeitfensters die eingestellte minimale Pufferspeichertemperatur, startet der Kessel.	
$KE_{Start} = ZF_{aktiv}$ & $[PU_{oben} < (KT_{Soll} - T_{Start})]$	
STOPP-KRITERIEN:	
Endet das eingestellte Pufferladezeitfenster während des Heizbetriebs, stellt der Kessel geregelt ab.	Ist das Durchladekriterium nach der unteren Pufferspeichertemperatur erreicht, stellt der Kessel geregelt ab.
$KE_{Stopp} = ZF_{inaktiv}$	$KE_{Stopp} = PU_{unten} > (KT_{Soll} - T_{Stopp})$
Begriffserklärungen	
KE_{Start} … Kesselstart KE_{Stopp} … Kesselstopp ZF_{aktiv} … Innerhalb des Zeitfensters $ZF_{inaktiv}$ … Außerhalb des Zeitfensters PU_{oben} … Puffertemperatur oben	PU_{unten} … Puffertemperatur unten KT_{Soll} … Kessel-Solltemperatur T_{Start} … Einstellbarer Wert T_{Stopp} … Einstellbarer Wert



2.2 2-Fühler-Pufferspeichermanagement mit bedarfsgeführter Anforderung

Bei der bedarfsgeführten Anforderung des Kessels meldet das Systemumfeld (Heizkreise, Boiler) Temperaturvorgaben an die Regelung zurück und vergleicht diese mit der aktuellen Pufferspeichertemperatur. Ist die aktuelle Temperaturvorgabe höher als die aktuelle obere Pufferspeichertemperatur plus 2°C, startet der Kessel.
Um diese Funktion nutzen zu können, ist in dem Menü „Puffer“, Einstellpunkt „Service“, der Parameter „`Pufferanforderung nach Systemumfeld steuern`“ auf „JA“ zu setzen.

START-KRITERIUM:
Unterschreitet die obere Pufferspeichertemperatur (PU_{oben}) innerhalb des eingestellten Zeitfensters die höchste aktuell benötigte Temperatur am Vorlauf (VL_{Soll}) bzw. die gewünschte Boiler-Solltemperatur (BT_{Soll}) plus einer Hysterese von 2 °C, startet der Kessel.
$KE_{Start} = ZF_{aktiv}$ & $[PU_{oben} < ((VL_{Soll}$ oder $BT_{Soll}) + 2\ °C)]$

STOPP-KRITERIEN		
Endet das eingestellte Pufferladezeitfenster während des Heizbetriebs, stellt der Kessel geregelt ab.	Stellen Heizkreise und Boiler keine Wärmeanforderung an den Kessel, stellt der Kessel nach einer einstellbaren Verzögerungszeit geregelt ab.	Ist das Durchladekriterium nach der unteren Pufferspeichertemperatur erreicht, stellt der Kessel geregelt ab.
$KE_{Stopp} = ZF_{inaktiv}$	$KE_{Stopp} = [HK_{inaktiv}$ & $(BT_{aktuell} > BT_{min})] + NLZ$	$KE_{Stopp} = PU_{unten} > (KT_{Soll} - T_{Stopp})$

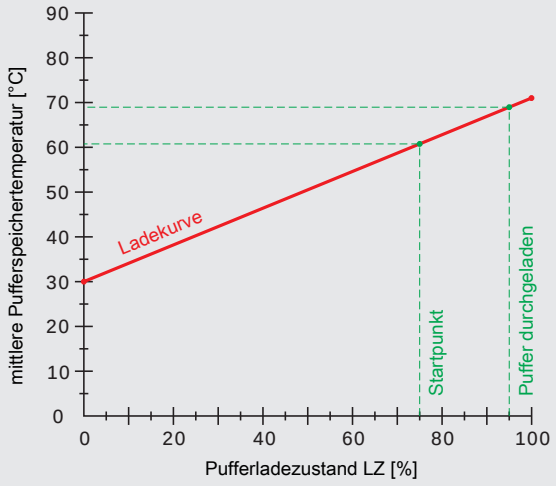
Begriffserklärungen	
KE_{Start} … Kesselstart	T_{Stopp} … Einstellbarer Wert
KE_{Stopp} … Kesselstopp	VL_{Soll} … Vorlauf-Solltemperatur
ZF_{aktiv} … Innerhalb des Zeitfensters	$BT_{aktuell}$ … Aktuelle Boilertemperatur
$ZF_{inaktiv}$ … Außerhalb des Zeitfensters	BT_{Soll} … Boiler-Solltemperatur
PU_{oben} … Puffertemperatur oben	BT_{min} … minimale Boilertemperatur
PU_{unten} … Puffertemperatur unten	$HK_{inaktiv}$ … Heizkreispumpe läuft nicht
KT_{Soll} … Kessel-Solltemperatur	NLZ … einstellbare Nachlaufzeit

2.3 4-Fühler-Pufferspeichermanagement

Bei Verwendung des Mehrfühlermanagements werden vier Fühler gleichmäßig über die gesamte Pufferspeicherhöhe verteilt. Die Kesselregelung ermittelt daraus einen Pufferladezustand zwischen 0 und 100%. Kurzfristige Lastwechsel lassen sich dadurch schnell erkennen (z.B. Heizlüfter, Lackierkabine, …). Bei größeren Anlagen mit einem knapp dimensionierten Pufferspeicher kann ein konstanter Lastpunkt durch reduzieren der Kesselleistung, bevor der Pufferspeicher durchgeladen ist, erreicht werden.

START-KRITERIUM:

Die Einstellung der Ladekurve erfolgt über die Definition der mittleren Pufferspeichertemperatur für 0 bzw. 100% Ladezustand. Unterschreitet der Ladezustand den Startpunkt, startet der Kessel.



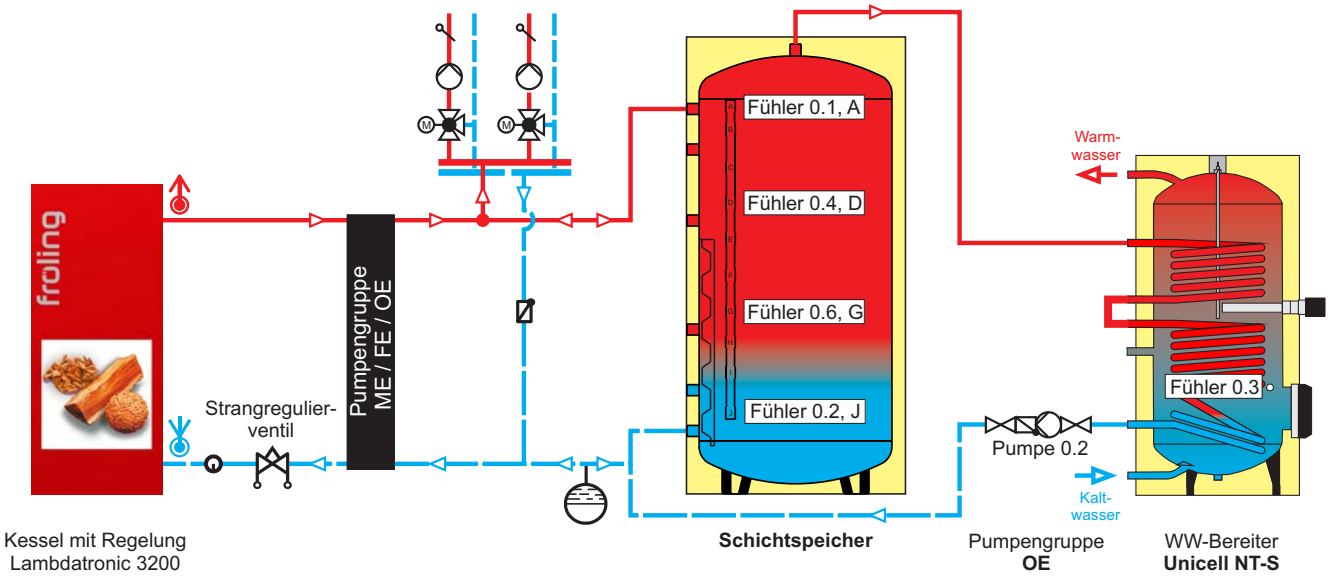
$KE_{Start} = ZF_{aktiv}$ & LZ [%] < SP [%]

STOPP-KRITERIEN:

Endet das eingestellte Pufferladezeitfenster während des Heizbetriebs, stellt der Kessel geregelt ab.	Ist das Durchladekriterium nach dem maximalen Pufferladezustand erreicht, stellt der Kessel geregelt ab.
$KE_{Stopp} = ZF_{inaktiv}$	KE_{Stopp} = LZ > 95%

Begriffserklärungen

LZ [%] … Ladezustand des Pufferspeichers in %	SP [%] … Startpunkt des Kessels in % des Ladezustandes des Pufferspeichers



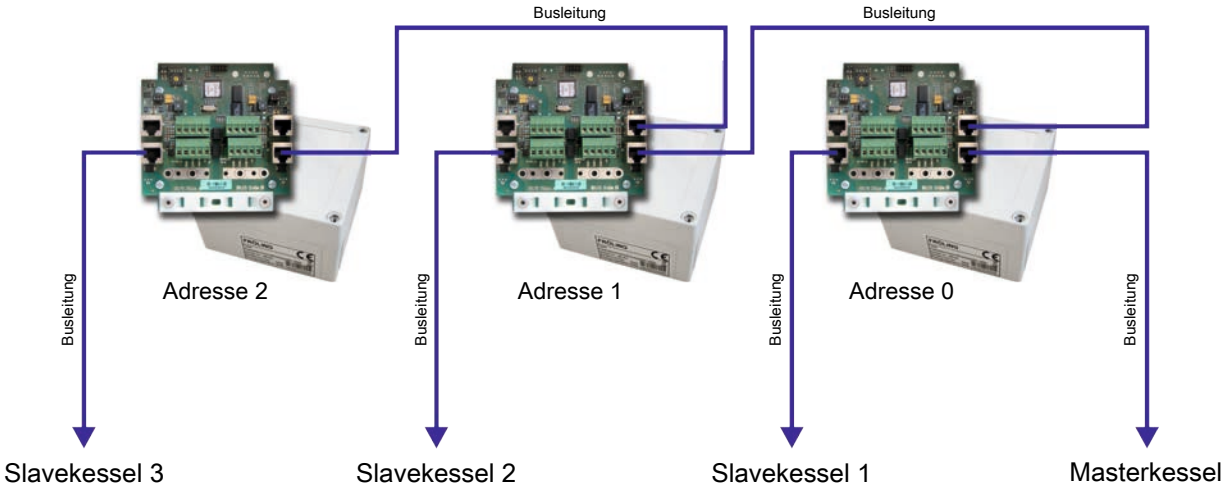
3 System "Kaskade"

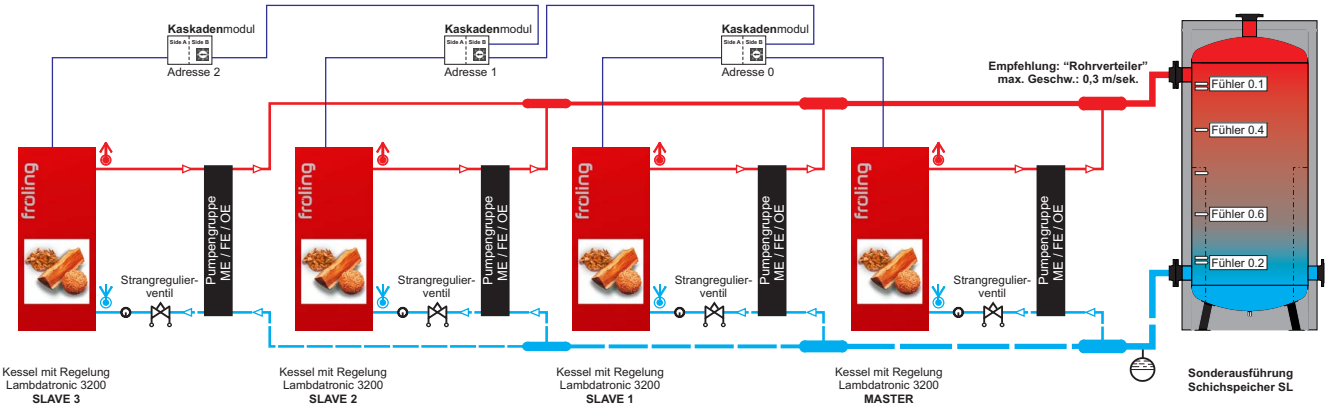
Bei der Fröling Kaskadensteuerung können bis zu vier Kessel im Verbund betrieben werden. Die Vorteile einer Kaskade zeigen sich auch in der warmen Jahreszeit. An den meisten Heiztagen im Jahr reicht ein Kessel zur Deckung des Wärmebedarfs aus. Ein weiteres Plus ist die erhöhte Betriebssicherheit, denn die Erbringung der Wärmeleistung ist auf mehrere Kessel aufgeteilt. Da die Kaskadensteuerung unterschiedliche Möglichkeiten bietet, können sowohl Kessel mit gleicher als auch unterschiedlicher Nennwärmeleistung kombiniert werden. Hierzu vergibt man unterschiedliche Startprioritäten, wodurch nicht der Kessel mit der größten Nennwärmeleistung als erstes startet, sondern jener, welcher z.B. für die Brauchwasserbereitung ausreicht. Kommen Kessel mit gleicher Nennwärmeleistung zum Einsatz und man vergibt jedem Kessel die gleiche Startpriorität, werden die Betriebsstunden als Startkriterium herangezogen. So wird eine gleiche Auslastung und eine überaus effiziente Heizlösung erreicht.

3.1 Verdrahtung der Module

Die Anzahl der Module ergibt sich aus der Anzahl der Kessel minus eins.

Anzahl Kessel	Anzahl Module
4	3
3	2
2	1



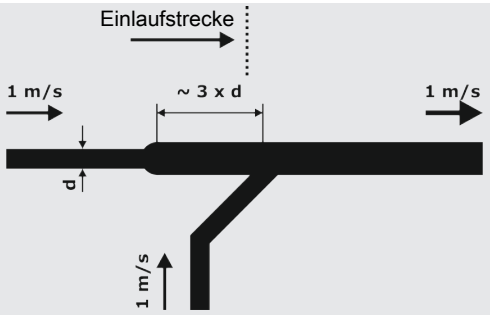


3.2 Hinweise zur Rohrleitungsdimensionierung

Bei Kaskadenanlagen mit einer Gesamtkesselleistung > 100 kW ist aufgrund der Wassermengen darauf zu achten, dass die Anschlüsse der Standard-Schichtspeicher (DN40) einen zu geringen Durchfluss aufweisen. Hier sind Sonder-Schichtspeicher mit größeren Anschlüssen (z. B. Heizspeicher SL) einzusetzen. Auch ist auf die hydraulische Einbindung der einzelnen Komponenten zu achten. Im Bereich der Zusammenführung zweier Kesselvor- und rückläufe können zwei Ausführungsvarianten angewendet werden:

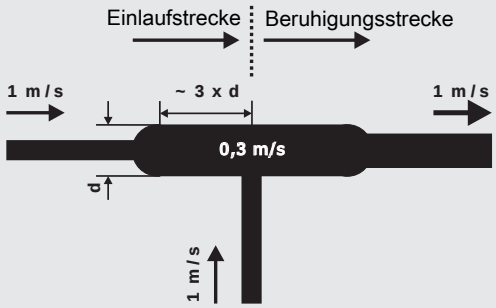
3.2.1 Strömungstechnisch günstige Einbindung

Bei dieser Einbindungsvariante wird vor der Zusammenführung der Kesselvor- und rückläufe auf die der Gesamtkesselleistung entsprechende Dimension erweitert. Der zweite Kesselvor- bzw. rücklauf wird im 45° Winkel in Strömungsrichtung in die Vor- bzw. Rücklaufleitung eingebunden. Als Einlaufstrecke sollte in etwa die 3-fache Länge der vorhergehenden Dimension berücksichtigt werden. Die Geschwindigkeit im neuen Teilstück ist auf ca. 1 m/s auszulegen.



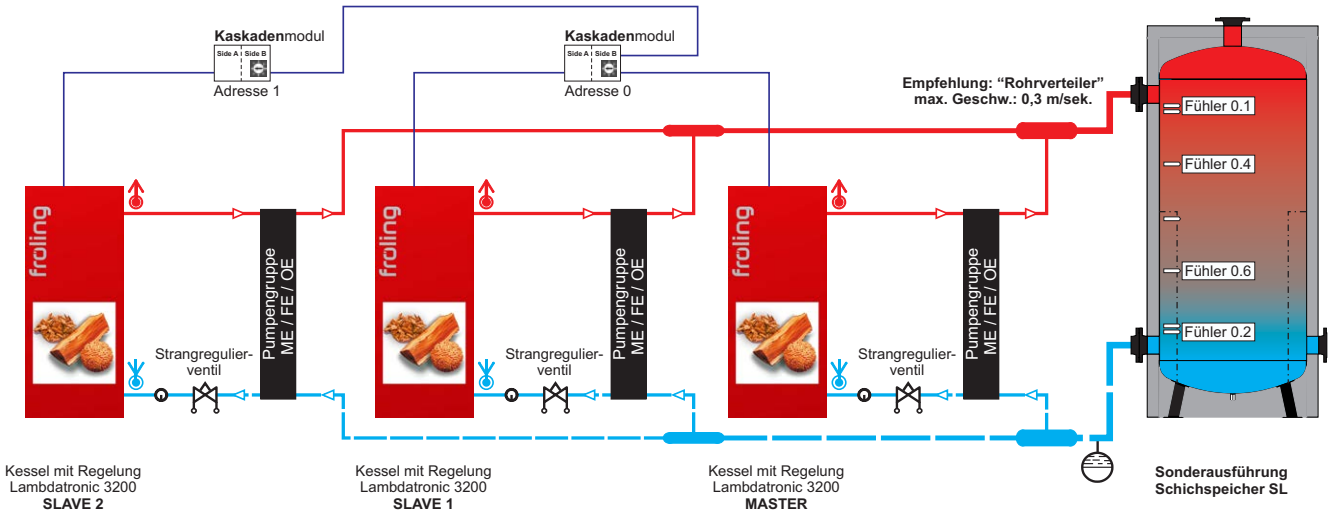
3.2.2 Installation eines Rohrverteilers

Empfehlenswert ist es im Bereich der Zusammenführung zweier Kesselvor- bzw. rückläufe einen Rohrverteiler zu installieren. Wird kein Rohrverteiler installiert und die Dimension der Rohrleitung nicht auf die Leistung abgestimmt, wird das Wasser aufgrund der zu geringen Rohrleitungsdimension stark beschleunigt. Dies führt einerseits zu Geräuschentwicklung aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeit und andererseits Schichtungsproblemen im Pufferspeicher. Ein Rohrverteiler sollte so dimensioniert sein, dass die Geschwindigkeit auf ca. 0,3 m/s verringert wird. Die Einlauf- sowie Beruhigungsstrecke des Rohrverteilers sollte dem 3-fachen Durchmesser des Rohrverteilers entsprechen, jedoch mindestens 30 cm betragen. Ab dem Ende des Rohrverteilers ist die Rohrleitung auf die maximal mögliche Gesamtkesselleistung sowie einer Geschwindigkeit von 1 m/s auszulegen.



3.3 Beispiel zur Rohrleitungsdimensionierung

Gesucht wird die Dimensionierung der einzelnen Rohrleitungen sowie der Rohrverteiler. Folgende Hydraulik soll realisiert werden. Kesselleistung jeweils **100 kW**.



Begonnen wird mit der kleinsten Rohrleitungsdimension, vom jeweiligen Kessel zum Rohrverteiler. Aus der Tabelle geht bei einer Leistung von **100 kW** und einer Spreizung von **15 K** ein benötigter Wasserdurchfluss von **5,73 m³/h** hervor.

Rohrleitung: 1 m/s

32	38	48	60	80	100	105
5,50	6,53	8,25	10,31	13,75	17,18	18,04
2,75	3,26	4,12	5,16	6,87	8,59	9,02
1,83	2,18	2,75	3,44	4,58	5,73	6,01
1,37	1,63	2,06	2,58	3,44	4,30	4,51
1,10	1,31	1,65	2,06	2,75	3,44	3,61
0,92	1,09	1,37	1,72	2,29	2,86	3,01

6/4"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"
40	50	65	80	100	125	150
1,35	2,10	3,57	5,40	8,40	13,2	19,2
1,80	2,40	4,76	7,20	11,2	17,6	25,6
2,25	3,50	5,95	9,00	14,0	22,0	32,0
2,70	4,20	7,14	10,8	16,8	26,4	38,4
3,15	4,90	8,33	12,6	19,6	30,8	44,8
4,05	6,30	10,7	16,2	25,2	39,6	57,6
4,50	7,0	11,9	18,0	28,0	44,0	64,0
4,95	7,70	13,9	19,8	30,8	48,4	70,4

Für Vor- bzw. Rücklaufleitung der Kessel ergibt sich eine Dimension von **DN50**.

Im ersten Rohrverteiler treffen der Slavekessel 2 und Slavekessel 1 aufeinander. Werden beide Kessel mit Nennwärmeleistung betrieben, ergibt sich eine Gesamtkesselleistung von 200 kW. Die maximale Geschwindigkeit von 0,3 m/s im Rohrverteiler soll nicht überschritten werden. Nach dem Rohrverteiler ist die Rohrleitung auf die maximale Gesamtkesselleistung und einer Geschwindigkeit von ca. 1 m/s auszulegen.

Rohrverteiler: 0,3 m/s

80	100	105	120	180	200	300
13,75	17,18	18,04	20,62	30,93	34,37	51,55
6,87	8,59	9,02	10,31	15,47	17,18	25,78
4,58	5,73	6,01	6,87	10,31	11,46	17,18
3,44	4,30	4,51	5,16	7,73	8,59	12,89
2,75	3,44	3,61	4,12	6,19	6,87	10,31
2,29	2,86	3,01	3,44	5,16	5,73	8,59

4"	5"	6"	7"	8"	10"	12"
100	125	150	[175]	200	250	300
8,40	13,2	19,2	26,1	33,6	52,8	75,6
11,2	17,6	25,6	34,8	44,8	70,4	101

Für den ersten Rohrverteiler ergibt sich eine Dimension von **DN125**.
Für die Rohrleitung zum zweiten Rohrverteiler eine Dimension von **DN65**.

Rohrleitung: 1 m/s

38	48	60	80	100	105	120	180	200	300
6,53	8,25	10,31	13,75	17,18	18,04	20,62	30,93	34,37	51,55
3,26	4,12	5,16	6,87	8,59	9,02	10,31	15,47	17,18	25,78
2,18	2,75	3,44	4,58	5,73	6,01	6,87	10,31	11,46	17,18
1,63	2,06	2,58	3,44	4,30	4,51	5,16	7,73	8,59	12,89
1,31	1,65	2,06	2,75	3,44	3,61	4,12	6,19	6,87	10,31
1,09	1,37	1,72	2,29	2,86	3,01	3,44	5,16	5,73	8,59

2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	10"	12"
50	65	80	100	125	150	[175]	200	250	300
2,10	3,57	5,40	8,40	13,2	19,2	26,1	33,6	52,8	75,6
2,40	4,76	7,20	11,2	17,6	25,6	34,8	44,8	70,4	101
3,50	5,95	9,00	14,0	22,0	32,0	43,5	56,0	88,0	126
4,20	7,14	10,8	16,8	26,4	38,4	52,2	67,2	106	151
4,90	8,33	12,6	19,6	30,8	44,8	60,9	78,4	123	176
6,30	10,7	16,2	25,2	39,6	57,6	78,3	101	158	227
7,0	11,9	18,0	28,0	44,0	64,0	87,0	112	176	252
7,70	13,9	19,8	30,8	48,4	70,4	95,7	123	194	277

Der zweite Rohrverteiler sowie die Verbindungsleitung zum Pufferspeicher werden auf die maximal mögliche Gesamtkesselleistung von **300 kW** ausgelegt.

Rohrverteiler: 0,3 m/s

100	105	120	180	200	300	400
17,18	18,04	20,62	30,93	34,37	51,55	68,74
8,59	9,02	10,31	15,47	17,18	25,78	34,37
5,73	6,01	6,87	10,31	11,46	17,18	22,91
4,30	4,51	5,16	7,73	8,59	12,89	17,18
3,44	3,61	4,12	6,19	6,87	10,31	13,75
2,86	3,01	3,44	5,16	5,73	8,59	11,46

5"	6"	7"	8"	10"	12"	m/sec. c Zoll
125	150	[175]	200	250	300	DN
13,2	19,2	26,1	33,6	52,8	75,6	0,3
17,6	25,6	34,8	44,8	70,4	101	0,4

Für den zweiten Rohrverteiler ergibt sich eine Dimension von **DN150.**
Für die Verbindungsleitung zum Pufferspeicher eine Dimension von **DN80**.

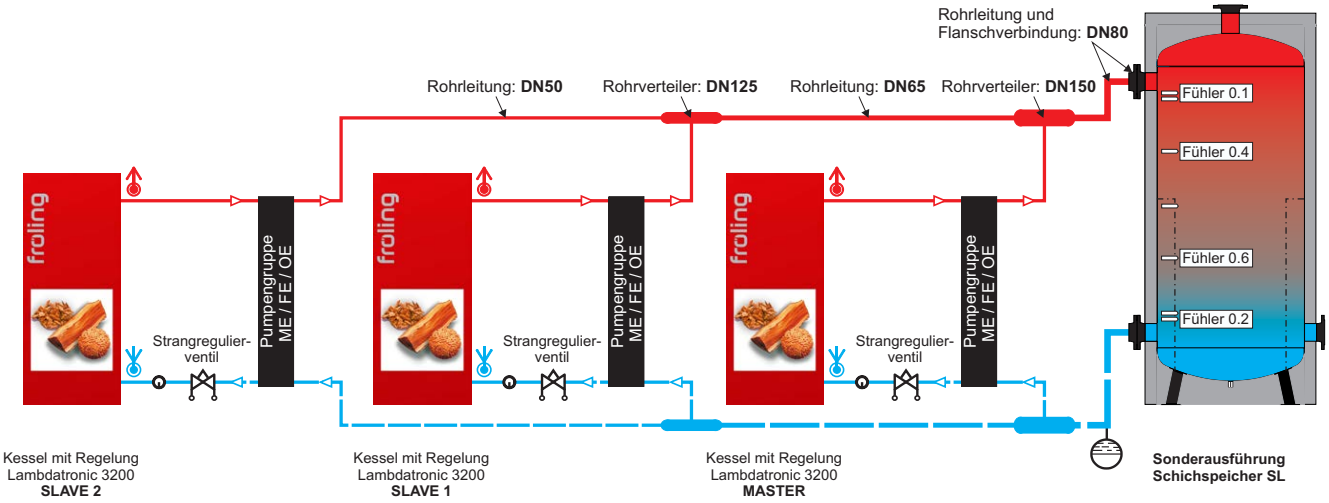
Die Verbindungsleitung zum Pufferspeicher definiert die Anschlussdimension am Pufferspeicher!

Rohrleitung: 1 m/s

48	60	80	100	105	120	180	200	300	400
8,25	10,31	13,75	17,18	18,04	20,62	30,93	34,37	51,55	68,74
4,12	5,16	6,87	8,59	9,02	10,31	15,47	17,18	25,78	34,37
2,75	3,44	4,58	5,73	6,01	6,87	10,31	11,46	17,18	22,91
2,06	2,58	3,44	4,30	4,51	5,16	7,73	8,59	12,89	17,18
1,65	2,06	2,75	3,44	3,61	4,12	6,19	6,87	10,31	13,75
1,37	1,72	2,29	2,86	3,01	3,44	5,16	5,73	8,59	11,46

2 1/2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	10"	12"	m/sec. c Zoll
65	80	100	125	150	[175]	200	250	300	DN
3,57	5,40	8,40	13,2	19,2	26,1	33,6	52,8	75,6	0,3
4,76	7,20	11,2	17,6	25,6	34,8	44,8	70,4	101	0,4
5,95	9,00	14,0	22,0	32,0	43,5	56,0	88,0	126	0,5
7,14	10,8	16,8	26,4	38,4	52,2	67,2	106	151	0,6
8,33	12,6	19,6	30,8	44,8	60,9	78,4	123	176	0,7
10,7	16,2	25,2	39,6	57,6	78,3	101	158	227	0,9
11,9	18,0	28,0	44,0	64,0	87,0	112	176	252	1,0
13,9	19,8	30,8	48,4	70,4	95,7	123	194	277	1,1

3.3.1 Darstellung der Ergebnisse im Planungsvorschlag



3.4 Kaskade mit Pufferspeicher

Werden Kessel im Kaskadenverbund mit einem Pufferspeicher kombiniert, so werden über die gesamte Pufferhöhe vier Fühler verteilt. Diese vier Fühler ermitteln durch Mittelwertbildung die aktuelle mittlere Pufferspeichertemperatur. Für die Berechnung des Pufferspeichervolumens wird 30 l/kW, bezogen auf Gesamtkesselleistung der Kaskade, empfohlen. Durch Parametereinstellungen wird eine Ladekurve in der Kesselregelung hinterlegt, woraus sich die jeweiligen Startpunkte der vorhandenen Kessel ergeben. Die Reihenfolge des jeweiligen Kesselstarts ergibt sich durch Definieren von Startprioritäten. Wird bei allen vorhandenen Kesseln die gleiche Startpriorität vergeben, so werden die Betriebsstunden als Startkriterium herangezogen.

3.4.1 Berechnung der Startpunkte

Folgende Parameter sind in der Kesselregelung hinterlegt:

Kessel-Solltemperatur	**75 °C**
Pufferladezustand ist 100% bei Kesselsoll – Parameter	**4 °C**
Pufferladezustand ist 0% bei	**30 °C**

Daraus ergibt sich, dass der Pufferspeicher bei einer mittleren Pufferspeichertemperatur von **71°C** einen Ladezustand von **100%** aufweist.

Formel zur Berechnung der Startpunkte:

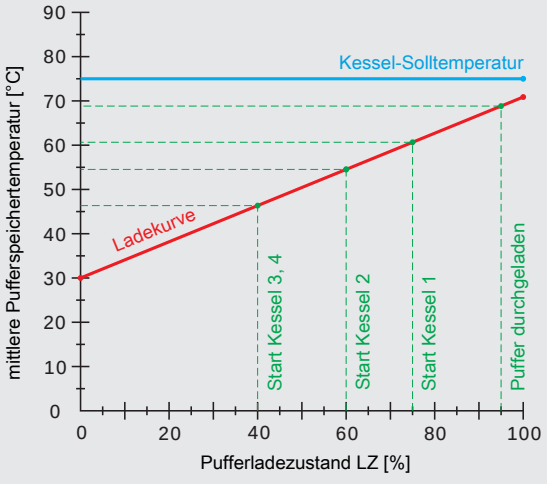
$$\text{Start/Stopptemperatur} = \text{LZ 0\%} + \frac{(\text{LZ 100\%} - \text{LZ 0\%}) \times \text{Startpunkt}}{100\%}$$

Erreicht der Pufferspeicher einen Ladezustand von **95%**, werden alle Kessel abgestellt.

$$\text{Stopptemperatur} = 30°C + \frac{(71°C - 30°C) \times 95\%}{100\%} = 69°C$$

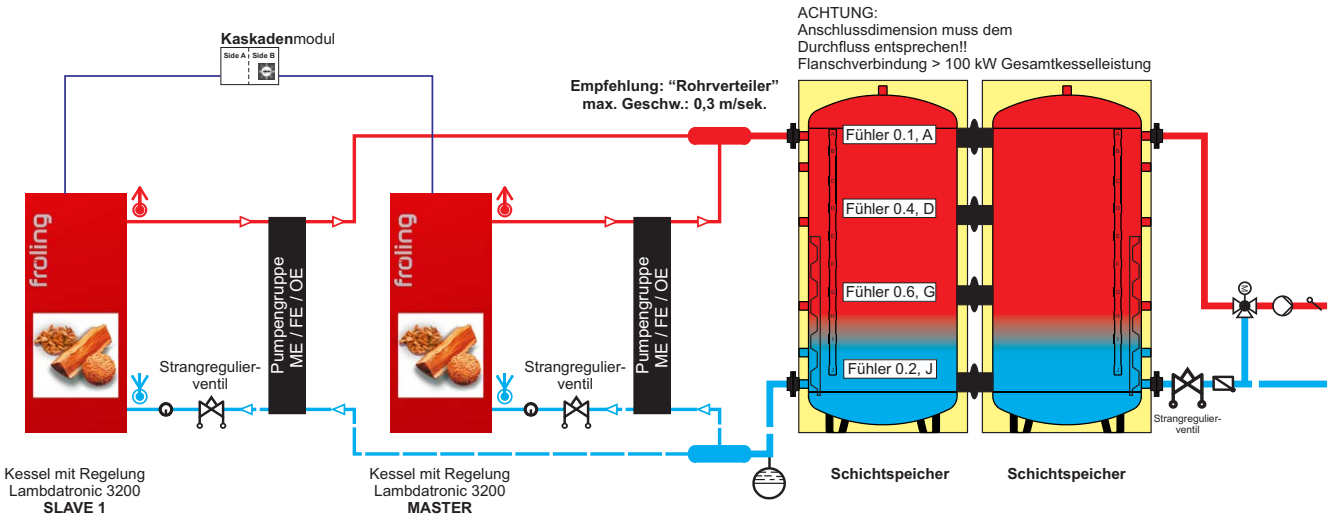
Aus oben dargestellter Formel ergeben sich als Startpunkte der Kessel 1, 2 sowie 3 und 4 (sofern vorhanden) folgende Temperaturen:

Startpunkt Kessel 1	LZ **75%**	**60,8 °C**
Startpunkt Kessel 2:	LZ **60%**	**54,6 °C**
Startpunkt Kessel 3 und 4:	LZ **40%**	**46,4 °C**
Schnellstart [%/10 min]	**15%**	**7,7 °C**



3.4.2 Unverbindliche Planungsvorschläge

Zwei Kesselanlagen im Kaskadenverbund



Vier Kesselanlagen im Kaskadenverbund

