

**Deutsche
Demokratische
Republik**

44
STATIONÄRE DAMPFERZEUGUNGSANLAGEN
Regelungen

TGL

27604

Gruppe 934 211

Bauinformation
Zentrale Fachbibliothek
Bauwesen

Verbindlich ab 1. 10. 1973

Dieser Standard gilt für die Regelungen an Naturumlauf- und Zwangdurchlaufdamperzeugungsanlagen mit festem Verdampfungsendpunkt, einer Dampfleistung ab 12,5 t/h bei Verwendung fester, flüssiger und gasförmiger Brennstoffe.

Vorbemerkung

Das Ziel dieses Standards besteht darin, eine verbindliche Arbeitsunterlage zur Vereinbarung der Regelgüte und zur Abfassung rechtlich eindeutiger Wirtschaftsverträge zu bilden. Wegen der Kompliziertheit der von den Regelungen zu beherrschenden Prozesse sind neben den eigentlichen Festlegungen auch zum Verständnis notwendige Erklärungen aufgenommen worden.

Nachfolgend wird statt "Dampferzeugungsanlage" der Begriff "Dampferzeuger" und statt "Regelanlagen für Dampferzeugungsanlage" der Begriff "Regelanlagen" verwendet.

Fortsetzung Seite 2 bis 57

Bestätigt: 30. 3. 1973

VVB Kraftwerksanlagenbau Berlin

	Inhaltsverzeichnis	Seite
1.	Begriffe, Zeichen	5
1.1.	Formelzeichen	5
1.2.	Indizes	5
1.3.	Allgemeines	5
1.4.	Regelgüte	5
1.5.	Prüfstörungen	7
2.	Angaben und Vereinbarungen	7
2.1.	Angaben des Auftraggebers	8
2.1.1.	Angaben für alle Regelungen	8
2.1.2.	Angaben zu den einzelnen Regelungen	8
2.1.2.1.	Leistungsregelung	8
2.1.2.2.	Verbrennungsgüte- und Verbrennungsluftregelung	9
2.1.2.3.	Wasserstandregelung	9
2.1.2.4.	Dampftemperaturregelung	9
2.1.2.5.	Feuerraumunterdruckregelung	9
2.1.3.	Angaben zu den Stellgliedern	9
2.2.	Angaben des Lieferers des Dampferzeugers	10
2.2.1.	Angaben für alle Regelungen	10
2.2.1.1.	Allgemeine Angaben zum Dampferzeuger	10
2.2.1.2.	Verhalten der Regelstrecken	11
2.2.1.2.1.	Beharrungsverhalten	11
2.2.1.2.2.	Übertragungsverhalten	11
2.2.1.3.	Stellglieder	11
2.2.2.	Angaben zu den einzelnen Regelungen	12
2.2.2.1.	Leistungsregelung	12
2.2.2.2.	Verbrennungsgüte- und Verbrennungsluftregelung	12
2.2.2.3.	Wasserstandregelung	13
2.2.2.4.	Dampftemperaturregelung	13
2.2.2.5.	Feuerraumunterdruckregelung	14
2.2.2.6.	Mühlenaustrittstemperaturregelung	14
2.3.	Angaben des Lieferers der Regelanlage	14
2.3.1.	Angaben für alle Regelungen	14
2.3.1.1.	Verhalten der Regeleinrichtungen und der Regelkreise	14
2.3.1.1.1.	Beharrungsverhalten	15
2.3.1.1.2.	Übertragungsverhalten	15

	Seite	
2.3.1.2.	Meß- und Regeleinrichtungen	15
2.3.1.3.	Stellglieder	15
2.3.2.	Dokumentation	15
2.3.3.	Regelgüte	17
3.	Technische Forderungen, Empfehlungen und Richtwerte	17
3.1.	Leistungsregelung	17
3.1.1.	Abgrenzung der Regelstrecke	17
3.1.2.	Verhalten der Regelstrecke	17
3.1.2.1.	Beharrungsverhalten	17
3.1.2.2.	Übertragungsverhalten	18
3.1.3.	Regelungsaufgabe	19
3.1.4.	Regelgüte	20
3.1.5.	Regelkreisschaltungen	20
3.1.6.	Meßeinrichtungen	23
3.1.6.1.	Meßeinrichtungen für Dampf	23
3.1.6.2.	Meßeinrichtungen für feste Brennstoffe	23
3.1.6.3.	Meßeinrichtungen für flüssige und gasförmige Brennstoffe	23
3.1.7.	Stellglieder	24
3.2.	Verbrennungsgüte- und Verbrennungsluftregelung	24
3.2.1.	Abgrenzung der Regelstrecke	24
3.2.2.	Verhalten der Regelstrecke	25
3.2.2.1.	Beharrungsverhalten	25
3.2.2.2.	Übertragungsverhalten	25
3.2.3.	Regelungsaufgabe	25
3.2.4.	Regelgüte	26
3.2.5.	Regelkreisschaltungen	27
3.2.5.1.	Verbrennungsluftregelung	27
3.2.5.2.	Verbrennungsgüteregelung	29
3.2.6.	Meßeinrichtungen	30
3.2.7.	Stellglieder	31
3.3.	Wasserstandregelung	32
3.3.1.	Abgrenzung der Regelstrecke	32
3.3.2.	Verhalten der Regelstrecke	32
3.3.2.1.	Beharrungsverhalten	32
3.3.2.2.	Übertragungsverhalten	33
3.3.3.	Regelungsaufgabe	34

	Seite	
3.3.4.	Regelgüte	34
3.3.5.	Regelkreisschaltungen	35
3.3.5.1.	Regelkreisschaltungen für Naturumlaufdampferzeuger	35
3.3.5.2.	Regelkreisschaltungen für Zwangdurchlauf- dampferzeuger mit festem Verdampfungs- endpunkt	37
3.3.6.	Meßeinrichtungen	39
3.3.7.	Stellglieder	40
3.4.	Dampfthermostattregelung	41
3.4.1.	Abgrenzung der Regelstrecke	41
3.4.2.	Verhalten der Regelstrecke	41
3.4.2.1.	Beharrungsverhalten	41
3.4.2.2.	Übertragungsverhalten	41
3.4.3.	Regelungsaufgabe	43
3.4.4.	Regelgüte	43
3.4.5.	Regelkreisschaltungen	45
3.4.5.1.	Einspritzregelung	45
3.4.5.2.	Weitere Regelverfahren	48
3.4.6.	Meßeinrichtungen	48
3.4.7.	Stellglieder	49
3.5.	Feuerraumunterdruckregelung	49
3.5.1.	Abgrenzung der Regelstrecke	49
3.5.2.	Verhalten der Regelstrecke	49
3.5.2.1.	Beharrungsverhalten	49
3.5.2.2.	Übertragungsverhalten	49
3.5.3.	Regelungsaufgabe	51
3.5.4.	Regelgüte	51
3.5.5.	Regelkreisschaltungen	52
3.5.6.	Meßeinrichtungen	53
3.5.7.	Stellglieder	53
3.6.	Mühlenaustrittstemperaturregelung an Kohlenstaubmühlen für Rohbraunkohle	55
4.	Prüfung	55
	Hinweise	57

1. Begriffe, Zeichen

1.1. Formelzeichen

B	Breite des Toleranzbandes	w	Führungsgröße
m	Massenstrom	x_s	Sollwert
K_J	Integraler Übertragungsfaktor	x_e	Eingangssignal
T	Zeitkonstante	h	Wasserstand
T_a	Ausgleichzeit	p	Druck
T_{aus}	Ausregelzeit	n	Zuteilerdrehzahl
T_t	Totzeit	ϑ	Temperatur
T_u	Verzugszeit		

1.2. Indizes

O	Auslegungspunkt	R	Regler und Regeleinrichtung
A	Abschlammstrom	Rv	Regelventil
B	Brennstoff	W	Speisewasser
D	Dampf	S	Strecke
F	Feuerung	T	Trommel
L	Luft	Tu	Turbineneintritt
Ls	Leitstrang	Ü	Überhitzer

1.3. Allgemeines

Die Regelungen werden vorzugsweise nach den Regelgrößen benannt. Die Regelstrecken und Regeleinrichtungen werden nach technischen Gesichtspunkten abgegrenzt. Sie entsprechen nicht den Lieferabgrenzungen zwischen den Herstellern des Dampferzeugers und der Regelanlage.

1.4. Regelgüte

Die Regelgüte wird gekennzeichnet durch:

- die Einhaltung eines Sicherheitsabstandes von unzulässigen Betriebszuständen
 - eine genügende Stabilität des Regelkreises, wobei diese anhand des zeitlichen Verlaufes der Regelgröße beurteilt wird.
- Kriterium für eine ausreichende Stabilität ist die Ausregelzeit (Bild 1 und 2).

- die bei Abweichung vom Sollwert entstehenden betriebswirtschaftlichen Kosten

Die Beurteilung der Regelgüte erfolgt anhand der Antwortfunktion für den geschlossenen Regelkreis nach Aufgabe der Prüfstörung.

Wird nichts anderes vereinbart, gilt für die Prüfstörung der Abschnitt 4.

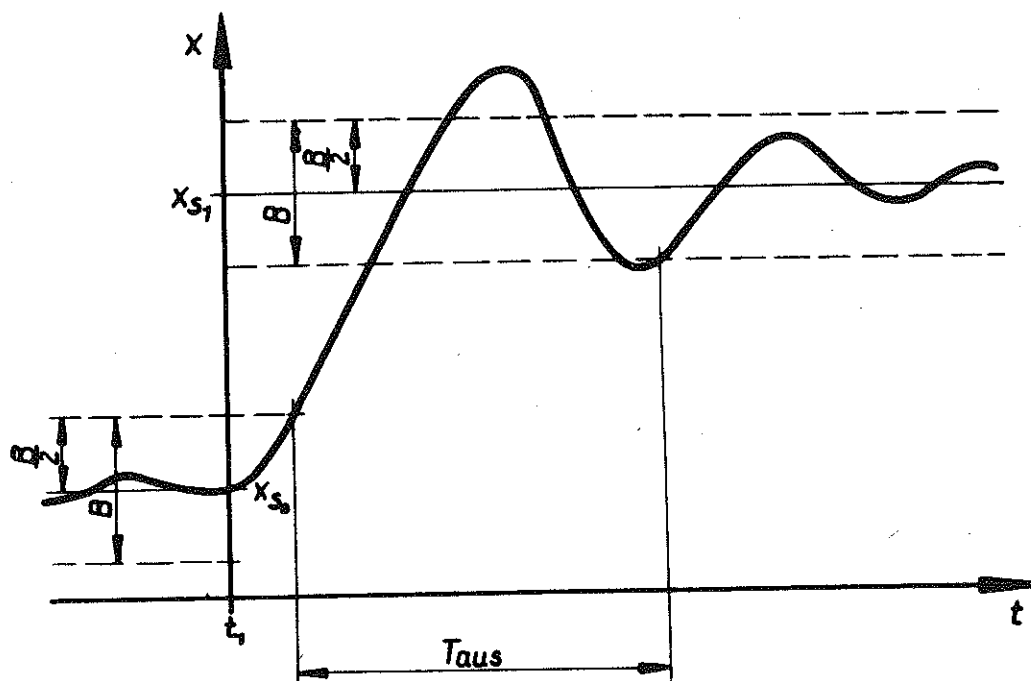


Bild 1: Ausregelzeit und Toleranzband bei sprunghafter Änderung der Führungsgröße zum Zeitpunkt t_1 (zeitlicher Verlauf der Regelgröße bei Regler mit integralem Anteil).

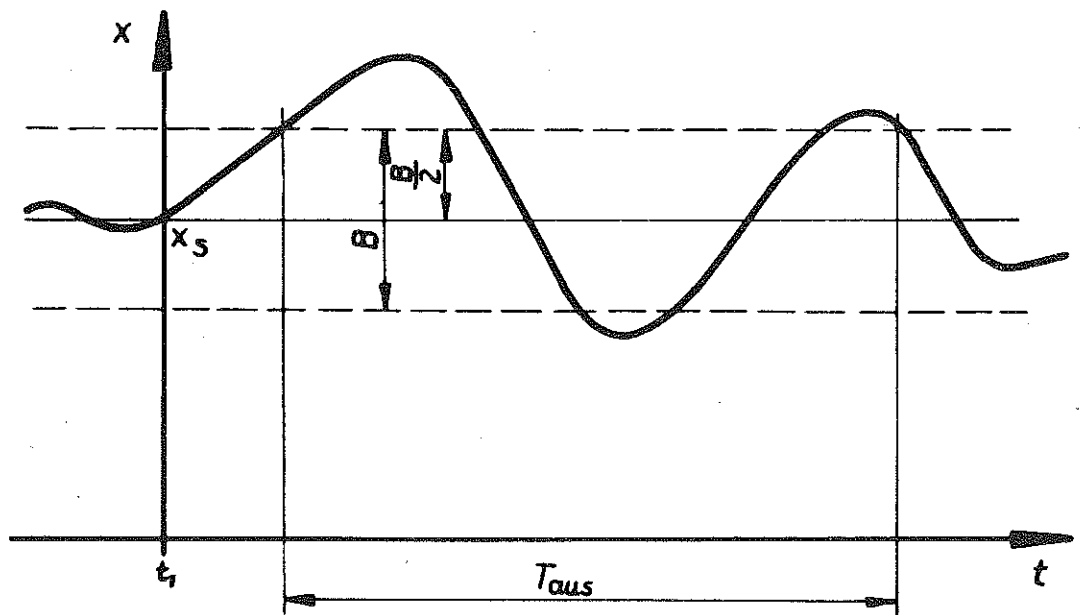


Bild 2: Ausregelzeit und Toleranzband bei sprunghafter Änderung einer Störgröße zum Zeitpunkt t_1 (zeitlicher Verlauf der Regelgröße bei Regler mit integralem Anteil)

1.5. Prüfstörungen

Prüfstörungen sind gewollte Änderungen der Stell-, Stör- oder Führungsgrößen nach Betrag, Richtung und zeitlichem Verlauf zur Beeinflussung der Regelgrößen.

Weitere Begriffe und Zeichen nach TGL 14 591 "Steuerungs- und Regelungstechnik; Begriffe - Benennungen".

2. Angaben und Vereinbarungen

Die in diesem Abschnitt aufgeführten Vereinbarungen und die Lieferung der geforderten Angaben sind in die Wirtschaftsverträge zwischen Auftraggeber, Lieferer des Dampferzeugers und Lieferer der Regelanlage aufzunehmen.

Der angegebene Umfang stellt den Normalfall dar und ist gegebenenfalls dem tatsächlich notwendigen Umfang anzupassen. Außer der Dokumentation sind die Angaben als Grundlage zur Auslegung und Projektierung der Regelanlage bereitzustellen. Detaillierte Festlegungen, Richtwerte und Erläuterungen sind den Abschnitten 3 und 4 zu entnehmen.

2.1. Angaben des Auftraggebers ¹⁾

2.1.1. Angaben für alle Regelungen

- die geplante Einsatzweise, wie Blockbetrieb, Sammelschienenbetrieb und Betrieb im Rahmen der Verbundnetzregelung, dauernder oder zeitweiser Grund-, Mittel- oder Spitzenlastbetrieb
- detaillierte Aussagen über die Einbeziehung mehrerer zu installierender oder vorhandener Dampferzeuger in die Regelung
- die möglichen Störungen nach Häufigkeit, Geschwindigkeit und Ausmaß
- die Regelungsaufgaben
Die Regelungsaufgaben sind zu beschreiben und durch ein technisches Schema des Regelkreises zu ergänzen. Bei komplizierten Schaltungen sind Signalflußbilder und schematisierte Baugliedpläne zu übergeben, wenn die Regelungsaufgabe dadurch klarer formuliert wird.
- die örtliche Anordnung der Warten und Reglerräume
- die Belegung der Felder auf Pulten und Tafeln in den Warten
- die notwendigen Zentraleinrichtungen vor Ort und deren Belegung
- die vorhandene Hilfsenergie
- die Anforderungen an die Regeleinrichtungen bei Ausfall der Hilfsenergie
- das gewünschte Gerätesystem
- die geplanten Prozeßsteuerungen und übrigen Automatisierungsvorhaben

2.1.2. Angaben zu den einzelnen Regelungen

2.1.2.1. Leistungsregelung

- die Führungsgröße
- die zulässige maximale Regelabweichung der Regelgröße
- der Ansprechdruck der Reduzierstationen
- die Laständerungsgeschwindigkeit

¹⁾ Ist ein Generalauftragnehmer vorhanden, ist dieser der Auftraggeber. Die Angaben des ersten bis dritten Anstriches unter Abschnitt 2.1.1. hat in der Regel der spätere Betreiber zu liefern.

2.1.2.2. Verbrennungsgüte- und Verbrennungsluftregelung

2.1.2.3. Wasserstandregelung

- die Anzahl der Speiseleitungen und Speisepumpen
Sind mehrere Leitungen vorhanden, ist anzugeben, wie diese in die Regelung einbezogen werden.
- die Kennlinien der Speisepumpen und der Regelventile
- ein Diagramm des Druckgefälles zwischen der Trommel oder dem Abscheider und der Speisepumpe in Abhängigkeit von der Dampferzeugerleistung
- die Speisewassertemperatur mit und ohne Hochdruckvorwärmer am Dampferzeugereintritt
- die Lage der Rohrleitungen am Einbauort der Regelventile sowie Angaben über NW und ND der Rohrleitungen

2.1.2.4. Dampftemperaturregelung

- die zulässige maximale Regelabweichung am Dampferzeugeraustritt
- die Temperatur und der Druck des Dampfes am Zwischenüberhitzer-eintritt
- die Kennlinien der Einspritzregelventile
- der Druck des Einspritzwassers in Abhängigkeit von der Dampferzeugerleistung vor und nach dem Einspritzregelventil
- die Temperatur des Einspritzwasserstromes
- der Entnahmeort für das Einspritzwasser

2.1.2.5. Feuerraumunterdruckregelung

- der vorhandene Unterdruck am Schornsteineintritt in Abhängigkeit von der Dampferzeugerleistung, vom Heizwert des Brennstoffes und der Außentemperatur

2.1.3. Angaben zu den Stellgliedern

- die Kennlinien und der Leckstrom durch das geschlossene Stellglied

- der Stellbereich ²⁾
- die Art der Stellungsanzeige
- die Möglichkeiten der Betätigung der Stellglieder
- das erforderliche Stellmoment
- falls erforderlich, die Stellgenauigkeit und Stellgeschwindigkeit

2.2. Angaben des Lieferers des Dampferzeugers

2.2.1. Angaben für alle Regelungen

2.2.1.1. Allgemeine Angaben zum Dampferzeuger

- die maximale Dampfdauerleistung
- die fahrbare Überlast
- die kleinste fahrbare Last ohne Stützfeuer bei Kohlenstaubfeuerungen
- der Genehmigungsdruck
- der Arbeitsdruck in der Trommel oder im Abscheider
- der Druck am Überhitzeraustritt
- der Ansprechdruck der Sicherheitsventile
- die Frischdampf- und Zwischendampftemperatur am Überhitzeraustritt
- Verfahren zur Dampftemperaturregelung
- die Feuerungsart und das Umlaufprinzip des Dampferzeugers
- die Rauchgastemperatur am Dampferzeugerende
- eine Zusammenstellungszeichnung des Dampferzeugers
- die Schaltschemata der Feuerung, des Druckteils, der Luftleitungen und der Rauchgaskanäle mit Gebläsen
- die Meßstellenlisten
- die Meßstellenschemata

²⁾ Die Stellglieder, Zuteileinrichtungen für Brennstoffe und die Gebläse sind so zu bemessen, daß bei Regelvorgängen eine ausreichende Stellreserve vorhanden ist.

Ist nichts anderes vereinbart, beträgt die Stellreserve für die Regelung 10 % der Stoffströme bei maximaler Dauerleistung bezogen auf Garantiebrennstoff.

- die Art und Lage der Meßwertentnahmen
- ein Armaturenschema
- die zulässige Laständerungsgeschwindigkeit des Dampferzeugers
- die notwendigen Maßnahmen zum Schutz des Dampferzeugers bei Speisepumpen-, Saugzug-, Frischlüfter-, Brennstoffstrom- und Hochdruckvorwärmerausfall sowie bei Schnellschluß der Turbine oder Notabschaltung des Verbrauchers.

2.2.1.2. Verhalten der Regelstrecken

Das Übertragungsverhalten und das Verhalten im Beharrungszustand sind, soweit erforderlich und möglich, anzugeben.

2.2.1.2.1. Beharrungsverhalten

Das Beharrungsverhalten ist durch Kenndaten, Kennlinien oder Kennlinienfelder anzugeben.

2.2.1.2.2. Übertragungsverhalten

Zur Kennzeichnung des Übertragungsverhaltens sind die Stellübergangsfunktionen und die Störübergangsfunktionen für wichtige Störgrößen anzugeben. Diese können aus rechnerischen Untersuchungen oder aus experimentell vorliegenden Meßergebnissen gleicher oder ähnlicher Anlagen ermittelt werden. Ist es nicht möglich, die Übergangsfunktionen zu ermitteln, dürfen experimentell ermittelte Antwortfunktionen angegeben werden. Zur Kennzeichnung des Übertragungsverhaltens darf auch die Angabe von Übertragungsfunktionen vereinbart werden.

2.2.1.3. Stellglieder

- die Kennlinien und der Leckstrom durch das geschlossene Stellglied
- der Stellbereich ²⁾
- die Art der Stellungsanzeige
- die Möglichkeiten der Betätigung der Stellglieder
- das erforderliche Stellmoment
- falls erforderlich, die Stellgenauigkeit und Stellgeschwindigkeit.

2) siehe Seite 10

2.2.2. Angaben zu den einzelnen Regelungen

2.2.2.1. Leistungsregelung

- der Bereich der selbsttätigen Leistungsregelung des Dampferzeugers ³⁾

- die zulässige Abweichung vom Arbeitsdruck

- die Art der Feuerung, die Anzahl der Brenner und Beschreibung der Brennstoffzuführungseinrichtungen

Bei Gemischfeuerungen sind Angaben über den Anteil der einzelnen Brennstoffe sowie über die zulässige Häufigkeit und Geschwindigkeit der Brennstoffwechsel zu machen.

- die Kennlinie der Brennstoffzuteiler oder der Brenner bei Gas- und Ölfeuerungen

- die Leistung der Zündfeuerungs

- die Führungsgröße

- der Druckabfall über den Überhitzer in Abhängigkeit vom Dampfstrom

- die Einrichtungen zur Bekämpfung von Verschlackungen und die Art und Weise ihrer voraussichtlichen Benutzung.

2.2.2.2. Verbrennungsgüte- und Verbrennungsluftregelung

- der Bereich der selbsttätigen Verbrennungsgüte- oder Verbrennungsluftregelung ³⁾

- die Anzahl der Lüfter und deren Kennlinien

- die Stellglieder zur Beeinflussung des Verbrennungsluftstromes

Bei Drehzahlregelung ist eine genaue Beschreibung des angewandten Systems und die näherungsweise Angabe der Stellübergangsfunktion erforderlich.

- der steuerbare Verbrennungsluftstrom in Abhängigkeit von der Dampferzeugerleistung oder vom geförderten Brennstoffstrom

- der Druckverlust in den Luftvorwärmern, wenn dieser als indirektes Maß für den Luftstrom herangezogen wird

³⁾ Der Bereich der selbsttätigen Regelung ist in % der Frischdampfdauerleistung anzugeben.

- die Meßwertgeber und die Kanalabmessungen an der Einbaustelle
- der O_2 -Gehalt des Rauchgases in Abhängigkeit von der Dampferzeugerleistung.

2.2.2.3. Wasserstandregelung

- der Bereich der selbsttätigen Wasserstandregelung ³⁾
- die zulässige Abweichung vom Normalwasserstand
- die Temperatur und der Druck des Speisewassers vor Eintritt in die Trommel oder in den Abscheider in Abhängigkeit von der Dampferzeugerleistung bei Betrieb mit und ohne Hochdruckvorwärmer
- der maximale Abschlämmstrom und Angaben, wie dieser beeinflusst wird
- der maximale Einspritzwasserstrom und Angaben über die Entnahmestelle, wenn dieser nach der Gesamtwasserstrommessung entnommen wird
- der Umwälzwasserstrom bei unterstütztem Kreislauf
- die Kennlinien der Umwälzpumpen.

2.2.2.4. Dampftemperaturregelung

- der Bereich der selbsttätigen Temperaturregelung ³⁾
- die zulässige Temperaturabweichung am Überhitzer Austritt
- das Überhitzerschema mit eingetragenen Einspritzstellen
- die Überhitzerkennlinien
- die Dampftemperatur vor den Einspritzungen in den Mischrohren zwischen den Überhitzerstufen
- der Dampfdruck in den Mischrohren an den Einspritzstellen in Abhängigkeit von der Dampferzeugerleistung
- der erforderliche Einspritzwasserstrom in Abhängigkeit von der Dampferzeugerleistung
- der Einspritzwasserstrom bei Ausfall der Hochdruckvorwärmer
- die Lage der Rohrleitungen am Einbauort der Regelventile sowie Angaben über NW und ND der Rohrleitungen

³⁾ siehe Seite 12

- die Kennlinien der Einspritzdüsen
- die zulässige Temperaturänderungsgeschwindigkeit für die kritischen Bauteile.

Diese Angaben sind für die Einspritzregelungen notwendig.

Werden andere Verfahren zur Dampftemperaturregelung angewendet, sind entsprechende Angaben zu machen.

2.2.2.5. Feuerraumunterdruckregelung

- der Bereich der selbsttätigen Feuerraumunterdruckregelung ³⁾
- der erforderliche Feuerraumunterdruck
- die zulässige Abweichung vom erforderlichen Feuerraumunterdruck
- der Druckabfall längs des Rauchgasweges vom Meßort der Regelgröße bis zum Saugzug
- die Anzahl der Saugzüge und deren Kennlinien
- die Stellglieder zur Beeinflussung des Rauchgasstromes

Bei Drehzahlregelung ist eine genaue Beschreibung des angewandten Systems und die näherungsweise Angabe der Stellübergangsfunktion erforderlich.

2.2.2.6. Mühlenaustrittstemperaturregelung

Die Regelung der Mühlenaustrittstemperatur ist eine Ausnahme und besonders zu vereinbaren. Sie ist dann anzuwenden, wenn wegen Schwankungen der Brennstoffeigenschaften oder zu erwartender größerer Laständerungen die Mühlenaustrittstemperatur dauernden Schwankungen unterworfen wird und eine Handfernsteuerung nicht ausreicht.

2.3. Angaben des Lieferers der Regelanlage

2.3.1. Angaben für alle Regelungen

2.3.1.1. Verhalten der Regeleinrichtungen und der Regelkreise

Für die Regeleinrichtungen und die Regelkreise sind das Übertragungsverhalten und das Verhalten im Beharrungszustand, soweit erforderlich und möglich, anzugeben.

³⁾ siehe Seite 12

2.3.1.1.1. Beharrungsverhalten

Das Beharrungsverhalten ist durch Kenndaten, Kennlinien und Kennlinienfelder anzugeben.

2.3.1.1.2. Übertragungsverhalten

Zur Kennzeichnung des Übertragungsverhaltens sind die Übertragungsfunktionen anzugeben. Für Stellglieder und Meßglieder, für die die Übertragungsfunktionen nicht angegeben werden können, dürfen Übergangsfunktionen oder Antwortfunktionen angegeben werden.

Zur Kennzeichnung des Übertragungsverhaltens des geschlossenen Regelkreises sind die Antwortfunktionen bei Änderung einer Führungs- oder Störgröße ausreichend und anzugeben.

2.3.1.2. Meß- und Regeleinrichtungen

Das angewandte Gerätesystem ist anzugeben. Es sind vorzugsweise nur solche Meß- und Regeleinrichtungen vorzusehen, die innerhalb eines in Serie gefertigten Gerätesystems für die Regelung ohne wesentliche Anpassung eingesetzt werden können.

2.3.1.3. Stellglieder

- die Kennlinien und der Leckstrom durch das geschlossene Stellglied
- der Stellbereich ²⁾
- die Art der Stellungsanzeige
- Möglichkeiten der Betätigung der Stellglieder
- falls erforderlich, die Stellgenauigkeit und Stellgeschwindigkeit

2.3.2. Dokumentation

Umfang, Empfänger und Übergabezeitpunkt folgender Dokumentationsunterlagen sind, sofern dies nicht anders vorgeschrieben ist, zu vereinbaren:

- Technische Beschreibung der einzelnen Regeleinrichtungen, wie Geräte zur Meßwertgewinnung und -verarbeitung, Regler, Regelventile, Regelklappen und Druckbehälter
- die benötigte Hilfsenergie, unterteilt in Kurzzeit- und Dauerleistungsbedarf

²⁾ siehe Seite 10

- vereinfachte Blockschaltbilder und Baugliedpläne
- Montage- und Reparaturtechnologie

Aus der Beschreibung muß der konstruktive Aufbau, die Wirkungsweise einzelner Anlagenteile und der kompletten Regelkreise sowie die innere Schaltung der Geräte erkennbar sein. Hierzu gehören auch Geräteschnitte und Stücklisten, soweit diese zum genauen Erkennen der Wirkungsweise und zur Verschleißteilbestellung erforderlich sind.

- Ausführungsschaltpläne
- Aufstellungspläne
- Genehmigungsurkunden
- Wartungsvorschriften

Die Wartungsvorschriften müssen die verschiedenen in bestimmten Zeitabständen durchzuführenden Wartungsarbeiten enthalten. Verschleißteile sind gesondert zu kennzeichnen.

- Bedien- und Inbetriebsetzungsvorschriften
- Ersatzgeräteangebot

Ein Ersatzgeräteangebot mit Lieferterminen und Kosten ist zu übergeben, das dem Betreiber gestattet, dem zu erwartenden natürlichen Geräteverschleiß über die ersten zwei Jahre zu begegnen.

- Bei der Übergabe der Anlagen ist dem Betreiber ein Satz handrevidierter Zeichnungen zu übergeben.

Spätestens vier Wochen nach Übergabe der Regelanlage an den Betreiber sind folgende Dokumente zu übergeben:

- Material- und Prüfbescheinigungen
- Einstellwerte und Einstellvorschriften der Regeleinrichtungen und Protokolle über den Abnahmeversuch oder die Übergabemessungen und Ergebnisse des Einfahrbetriebes
- Zeichnungsunterlagen für die gesamte Regelanlage

Falls erforderlich, ist vertraglich zu vereinbaren, daß bis spätestens ein Jahr vor Aufnahme des Probebetriebes Informations- und Schulungsmaterial für Qualifizierung, Instandhaltung und Rekonstruktion zur Verfügung gestellt wird. Als Mindestumfang dafür ist anzusehen:

- Bauschaltpläne für die Regelungen
- Gerätstücklisten und Beschreibung der angewandten Gerätetechnik

- Einstellvorschriften für Regeleinrichtungen
- Ergebnisse aus Vorausberechnungen von Regelkreisen
- Angaben zu den Regeleinrichtungen (Ausfallwahrscheinlichkeit, Montage- und Reparaturtechnologie).

Diese Angaben dürfen mit eingeschränkter Verbindlichkeit gemacht werden.

2.3.3. Regelgüte

Die Regelgüte ist zwischen dem Lieferer der Regelanlage, dem Auftraggeber und dem Lieferer des Dampferzeugers zu vereinbaren. Die vereinbarten Werte für die Regelgüte gelten als Garantiewerte.

Die Voraussetzungen für die Erfüllung der vereinbarten Regelgüte sind zu nennen, und es ist anzugeben, für welche Lastpunkte und in welcher Weise der Nachweis der Regelgüte erfolgen soll.

Ergeben sich im Laufe der Realisierung der Anlagen Änderungen, die auf das Regelergebnis Einfluß haben, oder wird die vereinbarte Regelgüte nicht erbracht, sind Regelstrecke und Regeleinrichtung sowie die auf den Regelkreis einwirkenden Einflußgrößen hinsichtlich ihrer statischen und dynamischen Eigenschaften zu überprüfen, und die Regelgüte ist erneut vertraglich zu vereinbaren.

3. Technische Forderungen, Empfehlungen und Richtwerte

Von den Festlegungen dieses Abschnittes darf beim Vorliegen objektiver, technischer oder ökonomischer Gründe abgewichen werden, sofern das zwischen den Vertragspartnern ausdrücklich vereinbart wird.

3.1. Leistungsregelung

3.1.1. Abgrenzung der Regelstrecke

Die Regelstrecke beginnt mit den Stellgliedern zur Beeinflussung des Brennstoffstromes und endet am Meßort der Regelgröße.

3.1.2. Verhalten der Regelstrecke

3.1.2.1. Beharrungsverhalten

Zur Kennzeichnung des Beharrungsverhaltens wird empfohlen, den benötigten Brennstoffstrom in Abhängigkeit von der Dampfleistung mit dem Heizwert des Brennstoffes als Parameter aufzutragen.

Dampferzeuger und Feuerung werden für eine bestimmte Dampfleistung ausgelegt. Die größte und kleinste regelbare Dampfleistung ergibt sich aus dampferzeugerseitigen und feuerungstechnischen Gegebenheiten.

Wichtig für die Angabe des dynamischen Verhaltens ist die Speicherefähigkeit. Sie gibt die Dampfmasse in kg an, die bei konstanter Feuerleistung zusätzlich zum Beharrungsdampfstrom dem Dampferzeuger entnommen werden kann oder zugeführt werden muß, wenn der Dampfdruck im Verdampfungsbereich um 1 kp/cm^2 gesenkt oder erhöht wird.

Die Speicherefähigkeit kann aus konstruktiven und thermodynamischen Werten errechnet werden.

3.1.2.2. Übertragungsverhalten

Stellübergangsverhalten

Charakterisiert wird das Stellübergangsverhalten durch die Stellübergangsfunktion des Trommeldruckes, des Druckes im Abscheider oder am jeweiligen Meßort der Regelgröße. Eingangssignal ist die Änderung der Verstelleinrichtung für die Beeinflussung des Brennstoffstromes und Ausgangssignal der zeitliche Verlauf der Regelgröße.

Tabelle 1: Richtwerte für das Stellübergangsverhalten

Feuerungsart	Stellgröße	Übergangsfunktion des Trommeldruckes	
		$T_t + T_u$	K_J
		s	<u>at/min</u> 10 % Änderung der Stellgröße
Öl- und Gasfeuerung	Ölstrom oder Gasstrom	4 - 25	0,6 - 5,5
Kohlenstaubfeuerung für Rohbraunkohle mit Ventilatormühlen	Zuteilerdrehzahl	15 - 120	0,9 - 3,5
Wanderrostfeuerung	Unterwindluftstrom	5 - 10	0,5 - 1,5

Störübergangsverhalten

Charakterisiert wird das Störübergangsverhalten durch die Störübergangsfunktionen. Eingangssignal ist die Änderung jeweils einer Störgröße und Ausgangssignal der zeitliche Verlauf der Regelgröße.

Als Störgrößen wirken hauptsächlich Änderungen der Dampfstromentnahme und der Feuerungsleistung, z. B. hervorgerufen durch Heizwertschwankungen, Ausfall oder Zu- und Abschalten von Brennern, Verbrennungsluftstromschwankungen, Verschmutzung und Verschlackung der Heizflächen.

Tabelle 2: Richtwerte für das Störübergangsverhalten

Feuerungsart	Störgröße	Übergangsfunktion des Trommeldruckes	
		$T_t + T_u$	K_J
		s	<u>at/min</u> 10 % Änderung der Störgröße
Öl- und Gasfeuerung	Dampfstrom	5 - 15	1 - 5
Kohlenstaubfeuerung für Rohbraunkohle mit Ventilatormühlen	Dampfstrom	5 - 15	1 - 3
Wanderrostfeuerung	Dampfstrom	5 - 15	1 - 3

3.1.3. Regelungsaufgabe

Aufgabe der Leistungsregelung ist es, durch Zuführung des erforderlichen Brennstoffstromes den Istwert der Regelgröße der Führungsgröße anzupassen. In Abhängigkeit von der Betriebsweise des Dampferzeugers ist als äquivalentes Maß für die Leistung als Regelgröße der Trommeldruck, der Druck am Überhitzer Austritt, in der Sammel-schiene oder an einem beliebigen Punkt der Dampfleitung zu wählen. Der Bereich, in dem die Leistung des Dampferzeugers selbsttätig geregelt werden soll, muß im stationären Arbeitsbereich von Dampferzeuger und Feuerung liegen.

Tabelle 3: Richtwerte für den stationären Arbeitsbereich
bei verschiedenen Feuerungsarten

Feuerungsart	Stationärer Arbeitsbereich in % der maximalen Dauerleistung
Kohlenstaubfeuerungen mit Ventilatormühlen für Rohbraunkohle	60 - 100
Kohlenstaubfeuerungen für Steinkohle	30 - 100
Wanderrostfeuerungen	35 - 100
Ölfeuerungen	30 - 100
Gasfeuerungen	30 - 100

3.1.4. Regelgüte

Sicherheitsabstand

Die maximale Regelabweichung des Dampfdruckes muß bei Regelvorgängen einen ausreichenden Sicherheitsabstand bis zum Ansprechdruck der Sicherheitseinrichtungen oder Reduzierstationen aufweisen, der mindestens 1 % des Sollwertes für den Druck betragen muß.

Stabilitätseigenschaften

Die Stabilität ist ausreichend, wenn nach Aufgabe der Prüfstörung die Ausregelzeit $T_{\text{aus}} \cong 480 \text{ s}$ beträgt.

Die Breite des Toleranzbundes beträgt, wenn nicht anders vereinbart, 50 % der maximalen Regelabweichung.

Betriebswirtschaftliche Kosten

Zusätzliche betriebswirtschaftliche Kosten treten bei Regelabweichungen nur in geringem Maße auf und brauchen nicht beachtet zu werden.

3.1.5. Regelkreisschaltungen

Für die Auswahl der Regelkreisschaltung ist der jeweilige Einsatzfall und die Forderung an die Regelgüte maßgebend.

Für Dampferzeuger mit Öl- und Gasfeuerungen werden die Schaltungen nach Bild 3 oder 4, für feste Brennstoffe die nach Bild 4 zur Anwendung empfohlen.

Die Aufschaltung des Frischdampfstromes verbessert die Regelgüte.

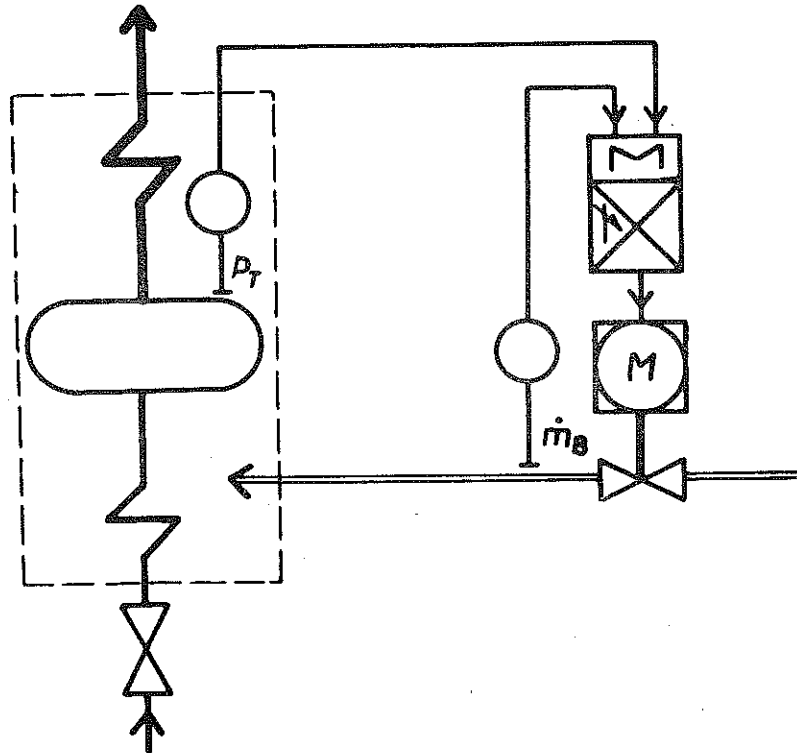


Bild 3: Beispiel einer Leistungsregelung

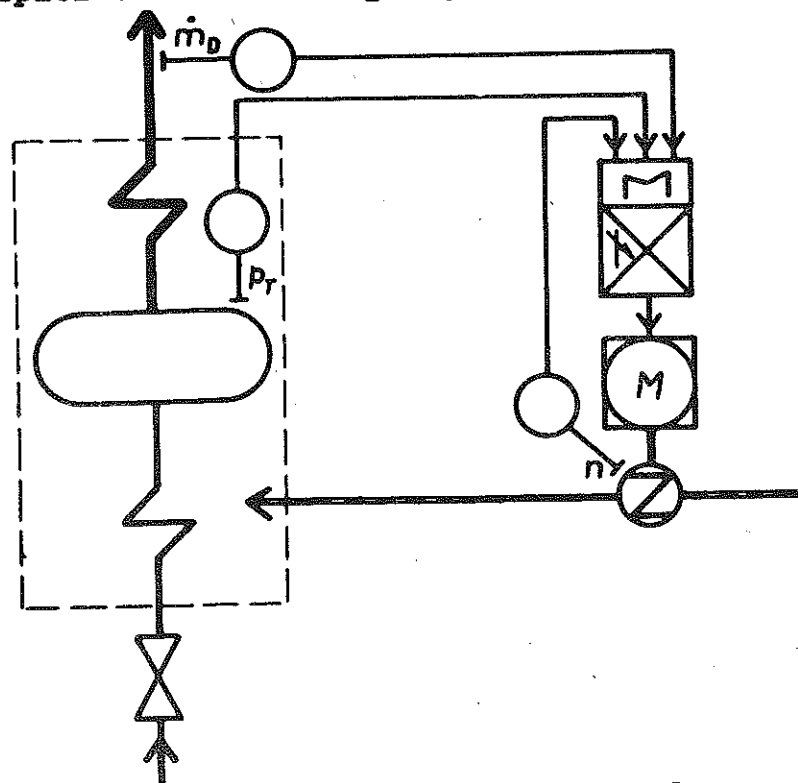


Bild 4: Beispiel einer Leistungsregelung mit dem Frischdampfstrom als Störgröße

Als Ersatz-Meßgröße für den Frischdampfstrom kann bei Blockanlagen die elektrische Leistung des Generators gewählt werden.

Der Einfluß der Netzfrequenz sowie die Begrenzung auf zulässige Laständerungsgeschwindigkeiten können in besonderen Regelkreisschaltungen Berücksichtigung finden.

Für die Leistungsregelung von mehreren parallel betriebenen Dampferzeugern können je nach der Betriebsweise verschiedene Regelkreisschaltungen gewählt werden.

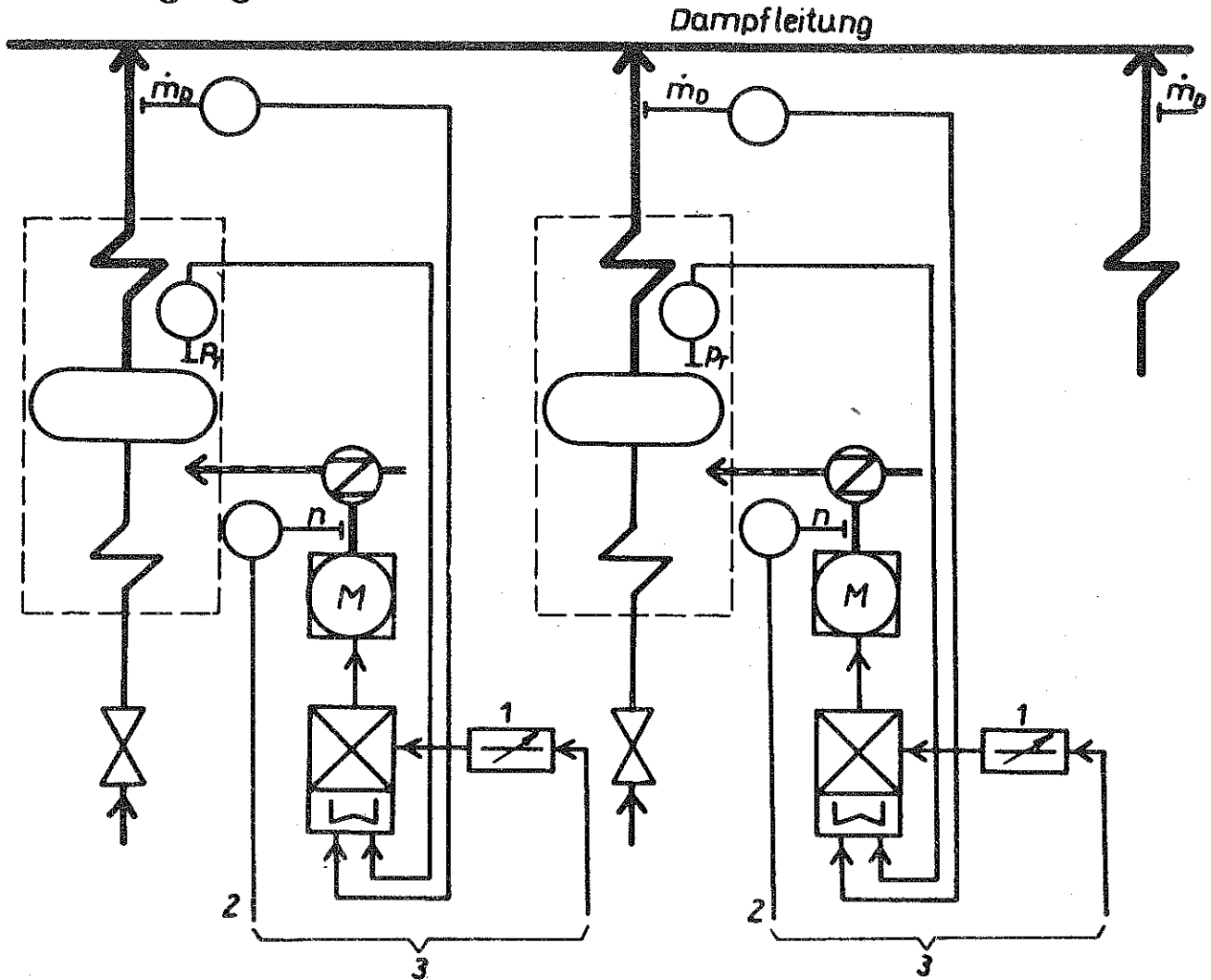


Bild 5: Beispiel einer Leistungsregelung für Sammelschienenbetrieb

1 = Anteilsteller

2 = Drehzahlmessung

3 = Zu- und Abgänge für Gleichlaufschaltung

Bei dieser Schaltung ist ein Parallelbetrieb, bei dem Dampfabgabe und Trommeldruck an jedem Dampferzeuger durch Einzelgeräte erfaßt werden, nur dann möglich, wenn die Brennstoffzuteiler an allen Dampferzeugern auf Gleichlauf geschaltet werden.

Durch Anteilsteller kann man dabei die einzelnen Dampferzeuger verschieden belasten.

3.1.6. Meßeinrichtungen

3.1.6.1. Meßeinrichtungen für Dampf

Zur Messung des Dampfdruckes in der Trommel oder am Überhitzer-
austritt sind für die entsprechende Druckstufe geeignete Druckmeß-
geräte vorzusehen. Bei hohen Drücken ist mit unterdrücktem Null-
punkt zu arbeiten. Der Dampfstrom ist mit Drosselgeräten zur Erzeu-
gung eines Differenzdruckes zu messen. Zur Verbesserung der Regel-
güte wird der Einsatz von druck- und temperaturkorrigierenden
Meßgeräten empfohlen.

Die meßtechnischen Eigenschaften der Geräte müssen dem Verwendungs-
zweck entsprechen (Ansprechempfindlichkeit, Zeitverhalten und
Meßbereich).

3.1.6.2. Meßeinrichtungen für feste Brennstoffe

Eine direkte kontinuierliche Messung des Brennstoffstromes ist für
feste Brennstoffe schwierig. Als Ersatzmeßgröße ist deshalb die
Drehzahl der Zuteiler bei Kohlenstaubfeuerungen oder die Rost-
geschwindigkeit bei Rostfeuerungen zu verwenden. Voraussetzung ist,
daß das Schüttgewicht annähernd konstant und die Schichthöhe unver-
ändert bleiben.

Heizwertstörungen können damit nicht erfaßt werden.

3.1.6.3. Meßeinrichtungen für flüssige und gasförmige Brennstoffe

Bei flüssigen Brennstoffen sind Volumenzähler oder Drosselgeräte
zu verwenden. Bei der Anwendung von Drosselgeräten ist dafür zu
sorgen, daß die Wirkdruckleitungen gegen den Eintritt von zähem
Heizöl geschützt werden.

Bei rücklaufgeregelten Brennern ist die Differenz der Ölströme von
Vor- und Rücklauf zu bilden und als Maß für den zur Verbrennung
kommenden Brennstoffstrom zu nehmen.

Für Gase wird der Einsatz von Drosselgeräten empfohlen. Die Not-
wendigkeit einer Zustands- und Heizwertkorrektur ist zu prüfen.

3.1.7. Stellglieder

Die Stellglieder sind bei feuerungsseitigem Eingriff nach der Art des verwendeten Brennstoffes, der Feuerungsart, dem notwendigen Stellbereich und der Wirtschaftlichkeit des Stellverfahrens auszuwählen. Sie sollen stetig, eindeutig und hysteresearm sein. Vor der Anwendung eines bestimmten Stellverfahrens muß sein Stellverhalten geprüft sein. Die Stellzeit muß den Erfordernissen der Regelstrecke entsprechen.

Die Form der Durchflußkennlinie des Stellgliedes ist so zu wählen, daß der Übertragungsfaktor bei Änderung des Arbeitspunktes möglichst gleich bleibt.

Für flüssige Brennstoffe sind Stellventile, für gasförmige Brennstoffe Stellventile oder Drosselklappen zu verwenden. Die Durchflußcharakteristik der Ventile oder Drosselklappen muß dem an den Brennern geforderten lastabhängigen Druck entsprechen. Die Durchflußcharakteristik der Drosselklappen läßt sich durch entsprechende Antriebsgestänge im regelungstechnisch günstigen Sinne beeinflussen. Bei größeren Kanalquerschnitten werden aus dem gleichen Grunde gegenläufige mehrteilige Klappen empfohlen. Für die Einhaltung des Gasdruckes sind geeignete Einrichtungen vorzusehen.

Für die Brennstoffzuteilung zu den Mühlen sind Kettenzuteiler nach TGL 27-60 121 und Trogbandzuteiler nach TGL 27-70 701 zu verwenden. Zuteiler, die nicht diesen Standards entsprechen, sind in ihren Stellbereichen entsprechend auszulegen.

Bei mechanischen Rostfeuerungen ist das Stellglied für die Brennstoffzuteilung der Rost selbst. Bei Wanderrostfeuerung ist die Rostgeschwindigkeit stetig veränderbar.

Bei Feuerungen mit vorgebunkertem Staub sind als Zuteileinrichtungen Schnecken, Zellenräder u. a. anzuwenden. Im verwendeten Lastbereich sollen Drehzahl und geförderter Staub proportional sein.

3.2. Verbrennungsgüte- und Verbrennungsluftregelung

3.2.1. Abgrenzung der Regelstrecke

Die Verbrennungsgüteregelstrecke beginnt mit den Stellgliedern zur Beeinflussung des Luftstromes und endet am Meßort für die Ermittlung der Regelgröße Verbrennungsgüte.

Die Verbrennungsluftregelstrecke beginnt mit den Stellgliedern zur Beeinflussung des Luftstromes und endet am Meßort für die Regelgröße Luftstrom in der Luftleitung.

3.2.2. Verhalten der Regelstrecke

3.2.2.1. Beharrungsverhalten

Zur Kennzeichnung des Beharrungsverhaltens wird empfohlen, über der Dampfleistung den benötigten Verbrennungsluftstrom mit dem Heizwert des Brennstoffes oder dem Luftverhältnis als Parameter aufzutragen.

3.2.2.2. Übertragungsverhalten

Stellübergangsverhalten

Charakterisiert wird das Stellübergangsverhalten durch die Stellübergangsfunktion. Eingangssignal ist die Änderung der Verstelleinrichtung der Luftzuführung und Ausgangssignal die Änderung des Verbrennungsluftstromes oder ein die Verbrennungsgüte kennzeichnender Meßwert (z. B. O_2 -Gehalt im Rauchgasstrom).

Störübergangsverhalten

Charakterisiert wird das Störübergangsverhalten durch die Störübergangsfunktionen. Eingangssignal ist die Änderung jeweils einer Störgröße und Ausgangssignal der zeitliche Verlauf der Regelgröße.

Als wichtigste Störgrößen wirken auf die Regelstrecke Brennstoffstromänderungen, Heizwertschwankungen, Rußblasen, Veränderungen des Feuerraumunterdruckes sowie das Zu- und Abschalten von Brennern oder Mühlen, von Saugzügen und Frischlüftern.

3.2.3. Regelungsaufgabe

Aufgabe der Verbrennungsgüte- oder Verbrennungsluftregelung ist es, dem Brennstoffstrom den jeweils erforderlichen Verbrennungsluftstrom zuzuführen. Unter Verbrennungsluft wird der steuerbare Teil der an der Verbrennung teilnehmenden Luft verstanden.

Bei der Verbrennungsgüteregelung wird als Regelgröße eine Rauchgas-komponente verwendet. Es wird dafür der O_2 -Gehalt des Rauchgases empfohlen, da die Abhängigkeit zwischen O_2 -Gehalt und Luftverhältnis von sich ändernden Brennstoffeigenschaften weitgehend unbeeinflusst ist.

Bei der Verbrennungsluftregelung ist die Regelgröße der Verbrennungsluftstrom. Die Größe des Verbrennungsluftstromes wird dabei durch eine Steuerung im Verhältnis zum Frischdampfstrom oder zum Brennstoffstrom geführt (Folgeregelung). Als Hilfsregelgröße kann bei Regelung des Verbrennungsluftstromes der O_2 -Gehalt des Rauchgases verwendet werden.

Es sind zusätzlich zur Regelung Einrichtungen vorzusehen, die auch bei Abschaltung einzelner Brenner oder Brennergruppen die Verbrennungsluft entsprechend den Erfordernissen richtig aufteilen.

3.2.4. Regelgüte

Sicherheitsabstand

Die maximale Regelabweichung des Verbrennungsluftstromes oder der Regelgröße für die Verbrennungsgüte muß bei Regelvorgängen einen ausreichenden Sicherheitsabstand von zu großen und zu kleinen Luftverhältnissen aufweisen.

Angaben zum Sicherheitsabstand sind nach Abschluß des Probebetriebes zu machen.

Als Richtwerte für das Luftverhältnis am Brennkammerende gelten bei maximaler Dauerleistung:

Kohlenstaubfeuerungen mit Rohbraunkohle	$n = 1,15 - 1,25$
Öl- und Gasfeuerungen	$n = 1,05 - 1,20$
Rostfeuerungen (stark abhängig von Brennstoff und Rostwärmebelastung)	$n = 1,3 - 1,7$

Durch Luftmangel können auftreten:

- Wirkungsgradminderung
- reduzierende Atmosphäre in der Brennkammer und damit Hochtemperaturkorrosion und Verschlackung
- Gefährdung von Anlagenteilen durch thermische Überbeanspruchung
- Explosionsgefahr
- Ablagerung von Unverbranntem in Nachschaltheizflächen und damit Brandgefahr.

Zu großes Luftverhältnis führt u. a. zu folgenden Nachteilen:

- Tieftemperaturkorrosion
- Verschlechterung des Wirkungsgrades
- Durchblasen des Brennstoffbettes bei Rostfeuerungen.

Stabilitätseigenschaften

Die Stabilität ist ausreichend, wenn nach Aufgabe der Prüfstörung die Ausregelzeit $T_{\text{aus}} \approx 480 \text{ s}$ beträgt.

Wenn nichts anderes vereinbart, beträgt die Breite des Toleranzbandes 100 % der maximalen Regelabweichung, die bei der Verbrennungsgüteregelung mit O_2 -Gehalt des Rauchgases als Regelgröße und bei der Verbrennungsluftregelung höchstens 1 Vol.-% O_2 betragen darf.

Betriebswirtschaftliche Kosten

Zusätzliche betriebswirtschaftliche Kosten treten bei Nichteinhaltung des notwendigen Verbrennungsluftstromes auf.

Bei einer Abweichung des Verbrennungsluftstromes von seinem optimalen Wert um 10 % können Wirkungsgradverluste des Dampferzeugers von ca. 1 % bei zu großem und ca. 5 % bei zu kleinem Verbrennungsluftstrom auftreten.

Diese Angaben sind nur als Orientierungswerte zu betrachten.

3.2.5. Regelkreisschaltungen

3.2.5.1. Verbrennungsluftregelung

Die nachfolgende Schaltung ist ein Beispiel für die Regelung des Verbrennungsluftstromes mit der Führungsgröße Dampfstrom. Sie wird zur Anwendung empfohlen, wenn bei Verwendung nur eines Brennstoffes oder bei kombinierten Brennern für mehrere Brennstoffe das Dampf/Luft-Verhältnis eindeutig ist.

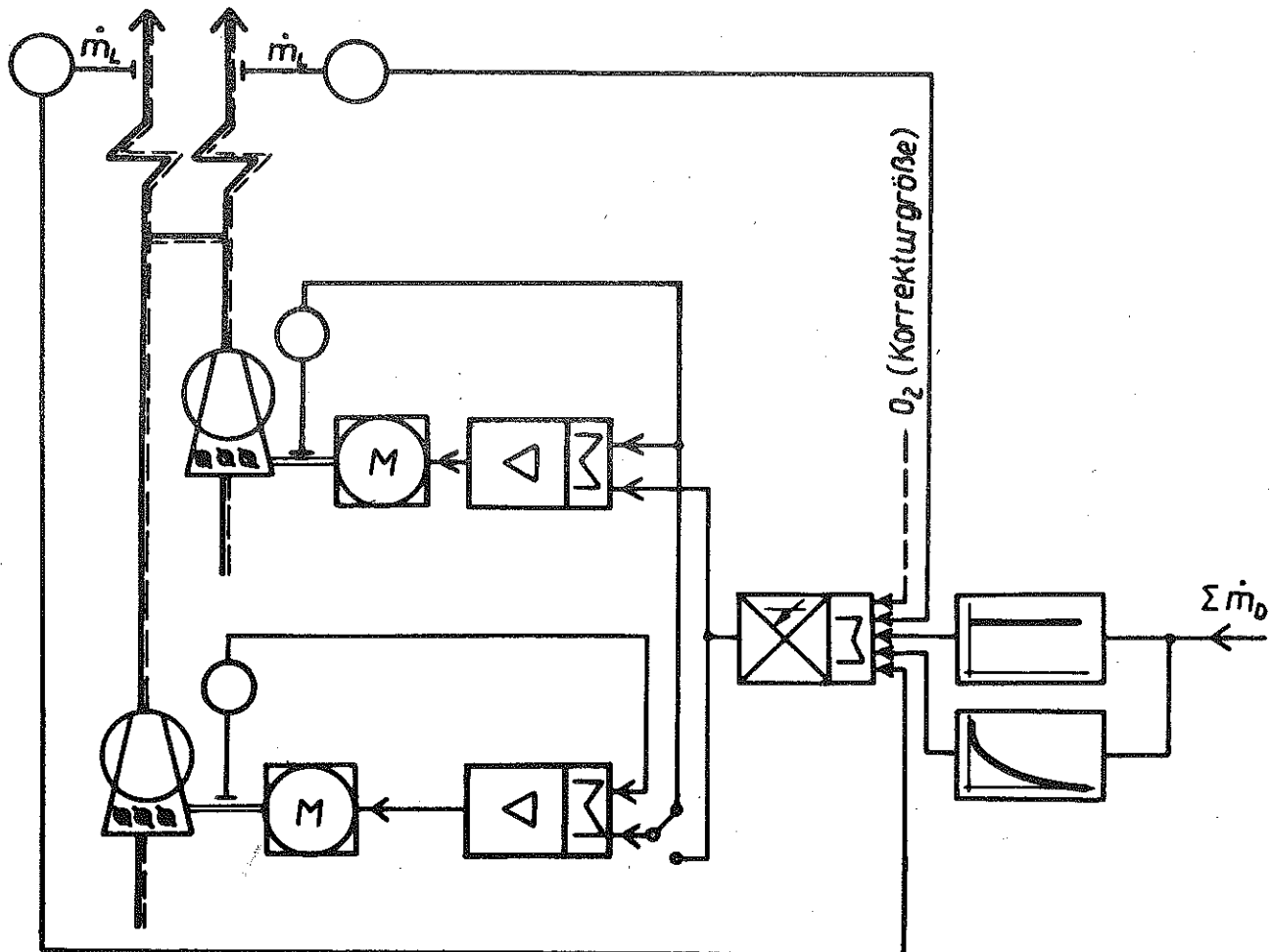


Bild 6: Beispiel für einen Verbrennungsluftfolgeregelkreis

Exakt gilt die Beziehung Dampf/Luft nur im Beharrungszustand, bei konstantem Dampferzeugerwirkungsgrad und konstantem spezifischen Luftbedarf des Brennstoffes. Durch Wahl entsprechender Zeitglieder ist es möglich, zeitlich die Zufuhr der Verbrennungsluft im gewünschten Sinne zu beeinflussen.

Eine Druck- und Temperaturkorrektur der Dampfstrommessung und die Temperaturkorrektur der Luftstrommessung tragen zur Erhöhung der Regelgüte dieser Folgeregelung bei.

Zur weiteren Verbesserung der Regelgüte kann ein Meßwert für den Luftüberschuß (z. B. O_2 -Gehalt des Rauchgases) als zusätzliche Aufschaltung verwendet werden.

3.2.5.2. Verbrennungsgüterregelung

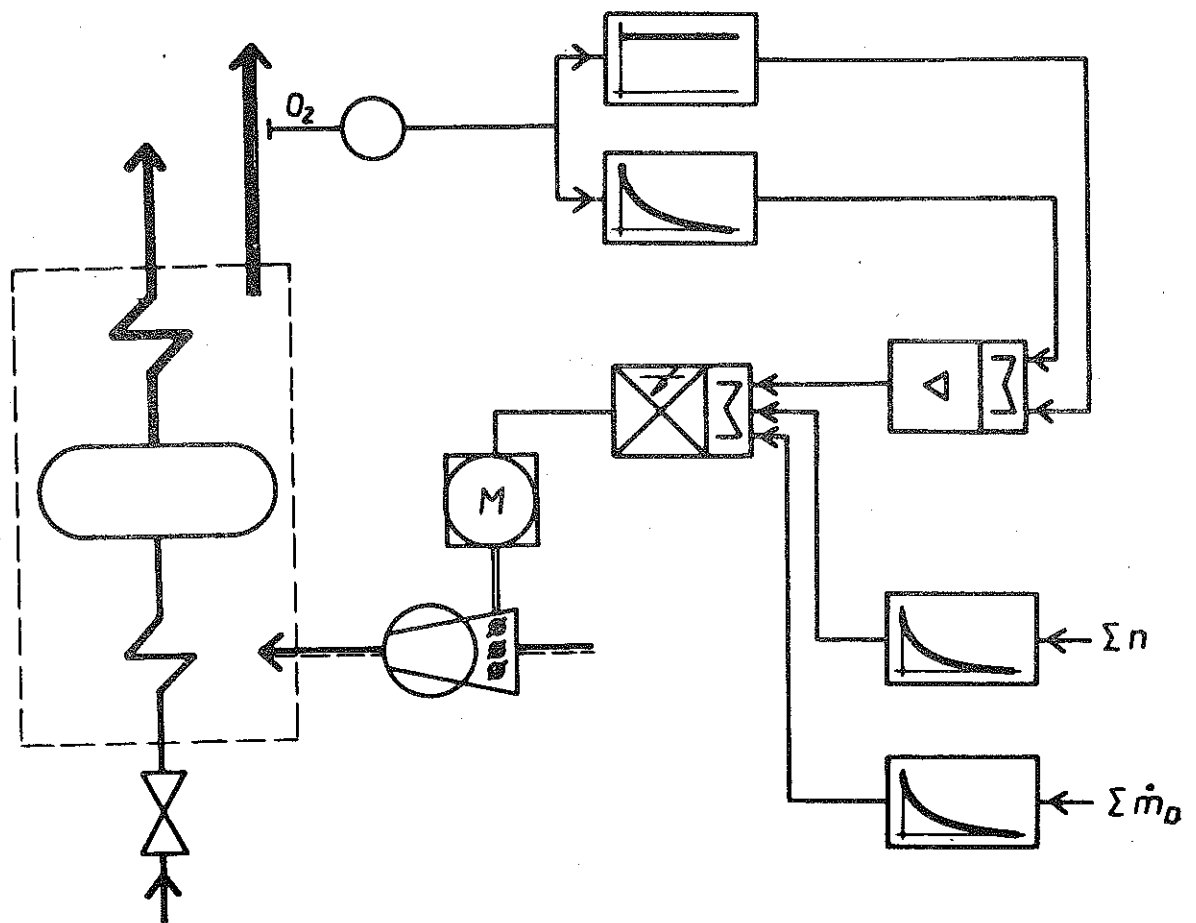


Bild 7: Beispiel einer Verbrennungsgüterregelung mit dem O_2 -Gehalt des Rauchgases als Regelgröße

Die praktische Realisierung dieser Schaltung setzt Gasentnahmesonden und Gasanalysegeräte mit hoher Betriebssicherheit und gutem dynamischen Verhalten, eine für den Dampferzeugerquerschnitt repräsentative Ermittlung des Mittelwertes der Sauerstoffkonzentration und Analysenmeßgeräte mit großer Meßgenauigkeit voraus.

An Stelle des O_2 -Gehaltes kann auch der CO - und CO_2 -Gehalt herangezogen werden.

Außer den empfohlenen Regelkreisschaltungen sind anzuwenden:

- Regelung des Unterwindluftstromes bei Rostfeuerungen

Durch Aktivierung des Brennstoffbettes kann die Feuerungsleistung schnell den Lastverhältnissen angepaßt werden.

Die Verteilung des Verbrennungsluftstromes über der Rostlänge ist von der Brennstoffqualität, der Schichthöhe, der Rostgeschwindigkeit und der Dampferzeugerleistung abhängig und wird durch handbetätigte Klappen gesteuert. Bei rostgefeuerten Dampferzeugern mit Zusatzmühlenfeuerung wird die Trägerluft für den Kohlenstaub nicht in den zu regelnden Verbrennungsluftstrom einbezogen.

- Regelkreisschaltungen für Gasfeuerungen, die einen Luftmangel unter allen Umständen ausschließen
- Regelkreisschaltungen für Dampferzeuger mit mehreren Brennstoffen für den Fall, daß diese verschiedene Luftverhältnisse erfordern
Der Verbrennungsluftstrom muß den Brennern dabei getrennt und im richtigen Verhältnis zugeführt werden. Als Führungsgröße kann hier der Dampfstrom nur dann verwendet werden, wenn das Dampf/Luft-Verhältnis bei diesen Brennstoffen gleich ist. Ist diese Forderung nicht mit ausreichender Genauigkeit erfüllt, sind die einzelnen Brennstoffströme als Führungsgrößen für die dazugehörigen Luftströme zu verwenden oder eine Regelung der Verbrennungsgüte durchzuführen.

3.2.6. Meßeinrichtungen

Meßeinrichtungen für die Verbrennungsluftregelung

Bei der Verbrennungsluftregelung sind die zu steuernden Luftströme zu messen. Die Luftstrommessung darf als Gesamt- oder Teilstrommessung ausgeführt werden. Für die Gesamtstrommessung sind Drosselbauten zu verwenden. Nur in den Fällen, in denen eine Gesamtstrommessung gefordert wird und die notwendigen Meßstrecken nicht vorhanden sind, dürfen die Stellungsgeber der Regelklappen oder der Druckabfall über entsprechende Heizflächen (Luftvorwärmer oder Kaloriferen) herangezogen werden. Meist genügen Teilstrommessungen. Sie sollen mit einem Venturirohr oder einem venturirohrähnlichen Meßrohr ausgeführt werden. Das Meßrohr muß einen großen Verstärkungsfaktor aufweisen.

Für alle Meßverfahren muß der Wirkdruck mindestens 20 kp/m^2 betragen. Die Luftkanäle an Dampferzeugern sind so auszubilden, daß eine ausreichende Genauigkeit der Luftstrommessung erreicht wird.

Meßeinrichtungen für die Verbrennungsgüteregelung

Als Meßgrößen für die Regelung der Verbrennungsgüte sind der CO-Gehalt oder der O_2 -Gehalt in Verbindung mit einer weiteren Komponente des Rauchgases, wie z. B. CO_2 zu verwenden.

Bei Ölfeuerungen wird die zusätzliche Messung der Rauchgastrübung empfohlen. Strahlenbildungen im Rauchgas und Falschlufte beeinflussen die Meßwerte, was bei der Entnahme von Rauchgasproben zu berücksichtigen ist. Der Einsatz von Mehrfachentnahmesonden trägt wesentlich zur Ermittlung eines repräsentativen Mittelwertes der als Regelgröße gewählten Rauchgaskomponente bei.

3.2.7. Stellglieder

Die Wahl des Stellgliedes richtet sich nach dem benötigten Stellbereich und der Wirtschaftlichkeit des Stellverfahrens. Das Stellglied soll nach Möglichkeit eine lineare Betriebskennlinie aufweisen und soll stetig, eindeutig und hysteresearm sein.

Bei Verwendung von Drosselklappen muß für eine einwandfreie Regelung ein ausreichender Differenzdruck an den Drosselklappen zur Verfügung stehen. Als Erfahrungswert sind mindestens 10 kp/m^2 als bleibender Druckverlust der voll geöffneten Klappen notwendig.

Mehrteilige gegenläufige Klappen bei größeren Kanalquerschnitten, Einziehungen des Querschnitts zur Erreichung höherer Geschwindigkeiten sowie geeignete Übertragungseinrichtungen am Stellglied, z. B. Kurvenscheiben oder Kurbelbetrieb, geben Möglichkeiten zur Verbesserung der Klappencharakteristik.

Wirtschaftlicher als die Regelung durch Drosselung ist das Stellen des Luftstromes mit einer Einrichtung zur Verstellung des Dralls am Eintritt des Luftgeläses.

Eine weitere Möglichkeit zur Änderung des Luftstromes ist gegeben durch drehzahlveränderliche Antriebe der Luftgebläse. Bei Einstellen des Luftstromes mit Drallstellern oder Drosselklappen an Luftgebläsen, deren Drehzahl sich stufenweise verändern läßt, ist zu beachten, daß bei einer sprungförmigen Änderung der Drehzahl beim Umschalten größere maximale Regelabweichungen auftreten können.

3.3. Wasserstandregelstrecke

3.3.1. Abgrenzung der Regelstrecke

Die Regelstrecke beginnt mit den Stellgliedern zur Beeinflussung des Speisewasserstromes und endet am Meßort für den Wasserstand in der Trommel oder im Abscheider.

3.3.2. Verhalten der Regelstrecke

3.3.2.1. Beharrungsverhalten

Das Beharrungsverhalten wird von konstruktiven und wärmetechnischen Parametern beeinflusst, die in gewissen Grenzen wählbar sind.

Der Wasserstand ist in Beharrung, wenn zwischen den zu- und abfließenden Massenströmen kein Unterschied besteht. Wird die Massenstrombilanz oder die Wärmebilanz bei konstantem Massenstrom gestört, so ändert sich der Wasserstand. Die Wasserstandregelstrecke hat integrales Verhalten. In der Praxis weicht es jedoch vom idealen J-Verhalten ab, weil der Inhalt der Trommel, Abscheider und Verdampfer aus siedendem Wasser und Sattedampf besteht, und dieses Gemisch druck-, temperatur- und enthalpieabhängig ist. Wird das Speisewasser nicht bis auf Sättigungstemperatur vorgewärmt, so führt eine Erhöhung des Speisewasserstromes zunächst infolge einer Verminderung des Dampfblasengehaltes zu einem Absinken des Wasserstandes, bevor er dann integral ansteigt.

Umgekehrt führt eine Verminderung des Speisewasserstromes zu einem kurzzeitigen Anstieg des Wasserstandes in der Trommel oder im Abscheider, bevor er dann abfällt. Die Strecke weist also Allpaßverhalten auf.

Besonders bei Dampfstromentnahmestörungen macht sich das Allpaßverhalten bemerkbar.

Wenn im Speisewasservorwärmer Vorverdampfung auftritt, kann es bei einer Verstellung des Speisewasserstromes zu totzeitähnlichen Erscheinungen kommen, denn es ändert sich zunächst die Füllung des Speisewasservorwärmers, und erst dann verzögert der Wasserstand in der Trommel oder im Abscheider.

3.3.2.2. Übertragungsverhalten

Stellübergangsverhalten

Charakterisiert wird das Stellübergangsverhalten durch die Stellübergangsfunktion. Eingangssignal ist die Änderung der Verstell-einrichtung für die Beeinflussung des Speisewasserstromes und Ausgangssignal der zeitliche Verlauf des Wasserstandes.

Tabelle 4: Richtwerte für das Stellübergangsverhalten

Stellgröße	Übergangsfunktion des Trommelwasserstandes bei Naturumlaufdampferzeugern	
	$T_t + T_u$	K_J
	s	mm/min 10 % Speisewasserstromänderung
Speisewasserstrom	10 - 40	5 - 30

Niedrige K_J -Werte beziehen sich auf Dampferzeuger kleiner Leistung, große auf Dampferzeuger mit hoher Dampfleistung.

Störübergangsverhalten

Charakterisiert wird das Störübergangsverhalten durch die Störübergangsfunktionen. Eingangssignal ist die Änderung jeweils einer Störgröße und Ausgangssignal der zeitliche Verlauf des Wasserstandes.

Hauptstörgröße ist der dem Dampferzeuger entnommene Dampfstrom.

Weitere Störgrößen sind der die Trommel oder den Abscheider umgehende Einspritzwasserstrom, der Abschlammwasserstrom, der Dampfdruck, der Speisewasserdruck, die Feuerleistung, die Änderung der Speisewassertemperatur, die Änderung der Vorverdampfung im Speisewasservorwärmer.

Ohne besondere Maßnahmen sind Hochdruckvorwärmerausfall und Lastabwurf von der Regelung nicht zu beherrschen.

3.3.3. Regelungsaufgabe

Aufgabe der Wasserstandregelung ist es, den Speisewasserstrom den entnommenen Stoffströmen, in der Hauptsache dem Dampfstrom, anzupassen.

Die Aufgabe, Sattdampf vom Sattwasser zu trennen, bestimmt die Größe der Trommel oder des Abscheiders. Die Trommeln oder Abscheider werden mit steigender Dampferzeugerleistung spezifisch kleiner. Weil sich in diesen Fällen die Änderungsgeschwindigkeit des Wasserstandes bei Stell- und Störgrößenänderungen mit der Dampferzeugergröße erhöht, wird für die Wasserstandregelung ein größerer Aufwand erforderlich.

Bei Naturumlaufdampferzeugern beeinflusst die Lage des Sollwertes die Änderungsgeschwindigkeit des Wasserstandes. Der Sollwert sollte daher so gelegt werden, daß die Änderungsgeschwindigkeit des Wasserstandes möglichst klein ist.

3.3.4. Regelgüte

Sicherheitsabstand

Die maximale Regelabweichung des Wasserstandes muß bei Regelvorgängen einen ausreichenden Sicherheitsabstand von zu großen und zu kleinen Werten haben. Der untere Wert ergibt sich aus der Wasserumlaufberechnung des Herstellers, der obere Wert nach den Erfordernissen für die Dampfqualität des die Trommel verlassenden Sattdampfstromes.

Diese Werte sind für jede Dampferzeugertypen festzulegen.

Stabilitätseigenschaften

Die Stabilität ist ausreichend, wenn nach Aufgabe der Prüfstörung die Ausregelzeit $T_{\text{aus}} \leq 150 \text{ s}$ ist. Die Breite des Toleranzbandes beträgt dabei, wenn nichts anderes vereinbart, 80 % der maximalen Regelabweichung.

Mit Rücksicht auf eine schonende Fahrweise der Anlage sind die Anforderungen an die Regelgüte nicht höher als unbedingt erforderlich zu stellen.

Betriebswirtschaftliche Kosten

Zusätzliche betriebswirtschaftliche Kosten treten bei Regelabweichungen nur in geringem Maße auf und brauchen nicht berücksichtigt zu werden.

3.3.5. Regelkreisschaltungen

Für die Auswahl der Regelkreisschaltungen sind der jeweilige Einsatzfall und die Forderungen an die Regelgüte maßgebend. Die folgenden Schaltungen werden zur Anwendung empfohlen.

3.3.5.1. Regelkreisschaltungen für Naturumlaufdampferzeuger

Regelgröße ist bei allen Schaltungen der Wasserstand in der Trommel. Stellgröße ist der Speisewasserstrom, Hauptstöörgröße ist der Dampfstrom. Weitere Störgrößen sind der Trommeldruck und der Speisewasserdruck.

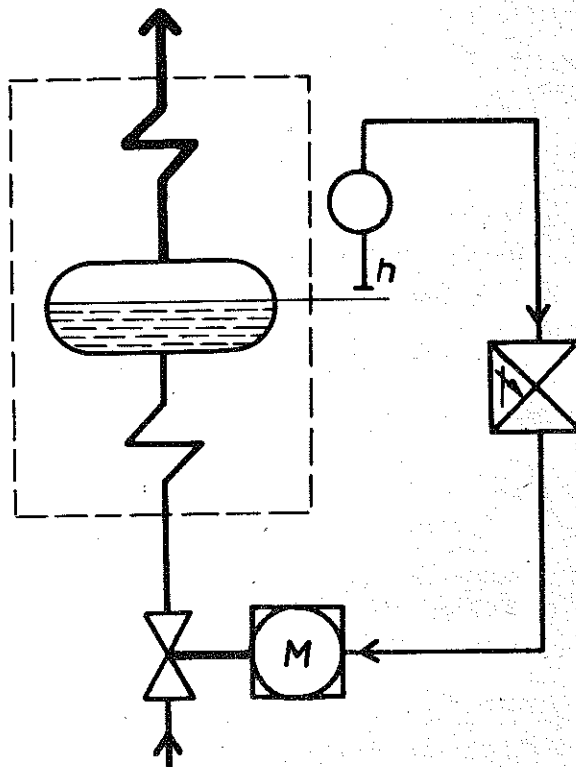


Bild 8: Beispiel einer Wasserstandregelung für Dampferzeuger kleiner Leistung

Durch eine separate Regelung, die den Differenzdruck am Stellventil für den Speisewasserstrom konstant hält, kann der Einfluß der Störgröße Speisewasserdruck auf den Speisewasserstrom beseitigt werden.

Regelgröße in diesem zweiten Regelkreis ist der Differenzdruck am Stellventil; Stellgröße ist der Speisewasserstrom, der mit einem zweiten Stellventil beeinflusst wird.

Bei größeren Dampferzeugereinheiten ist die Regelung des Differenzdruckes durch Verstellung der Drehzahl der Speisewasserpumpe ökonomischer.

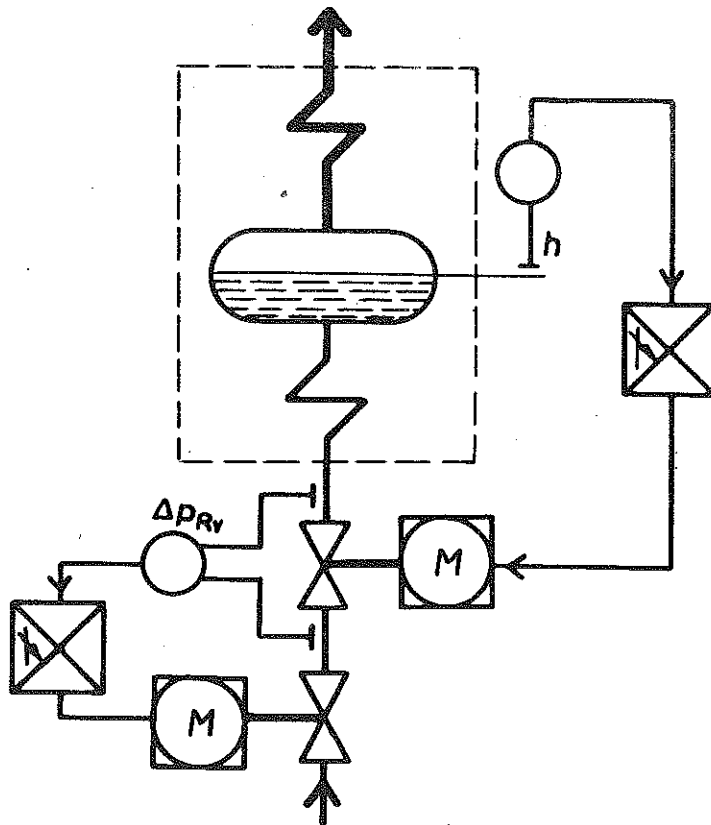


Bild 9: Beispiel einer Wasserstandregelung mit separater Regelung des Differenzdruckes am Stellventil

Die sogenannte Dreikomponentenregelung berücksichtigt unmittelbar den Einfluß der Hauptstörgröße Dampfstrom, die als Druckabfall über den Überhitzer gemessen wird. Der Speisewasserstrom ist Hilfsregelgröße. Damit können Änderungen im Zu- und Abstrom bereits erfaßt werden, bevor sie sich auf den Wasserstand auswirken. Die Aufschaltung der Regelgröße Wasserstand verhindert ein allmähliches Weglaufen des Wasserstandes.

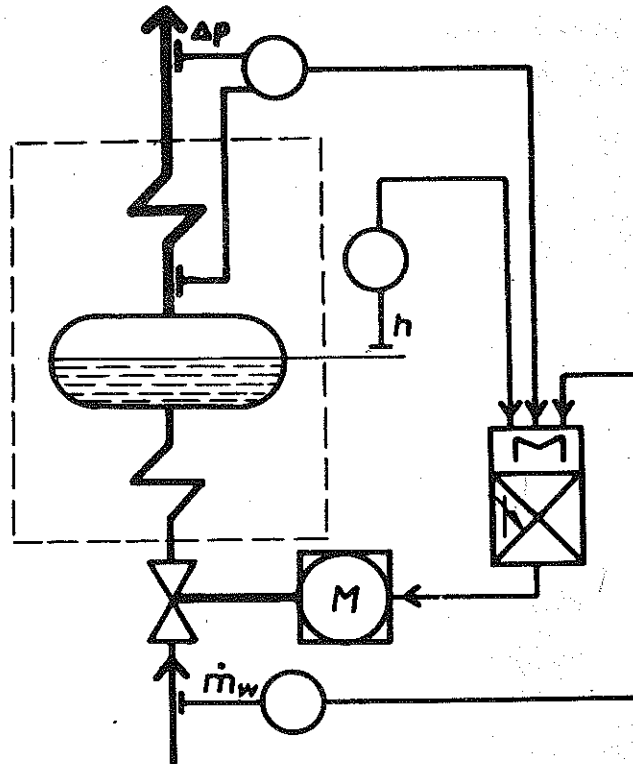


Bild 10: Dreikomponentenregelung

3.3.5.2. Regelkreisschaltungen für Zwangdurchlaufdamperzeuger mit festem Verdampfungsendpunkt

Die Füllung des Vorwärmers und des Verdampfersystems ist für das Verhalten der Regelstrecke von entscheidender Bedeutung. Ein Maß für die Füllung ist der Dampfzustand am Eintritt in den Abscheider. Der Dampfzustand kann bei Damperzeugern, die im unterkritischen Druckbereich arbeiten, durch folgende Größen charakterisiert werden:

- die Temperatur des überhitzten Dampfes am Austritt eines oder mehrerer Verdampferstränge, bei denen zur Erzeugung dieses überhitzten Dampfes der Durchfluß durch Drosselung verringert wurde
- das Verhältnis von Speisewasserstrom zu dem aus dem Abscheider abgeführten Wasserstrom
- den Wasserstand im Abscheider, der ein Maß für den abgeführten Wasserstrom ist, sofern der Ablaufregler p-Verhalten besitzt.

Unabhängig vom Einstellen des Speisewasserstromes entsprechend einer der genannten Regelgrößen ist eine Ablaufregelung vorzusehen, die den Wasserstand im Abscheider regelt

Bei Zwangdurchlaufdamperzeugern mit festem Verdampfungsendpunkt und unterstütztem Kreislauf wird eine Regelkreisschaltung nach Bild 10 zur Anwendung empfohlen.

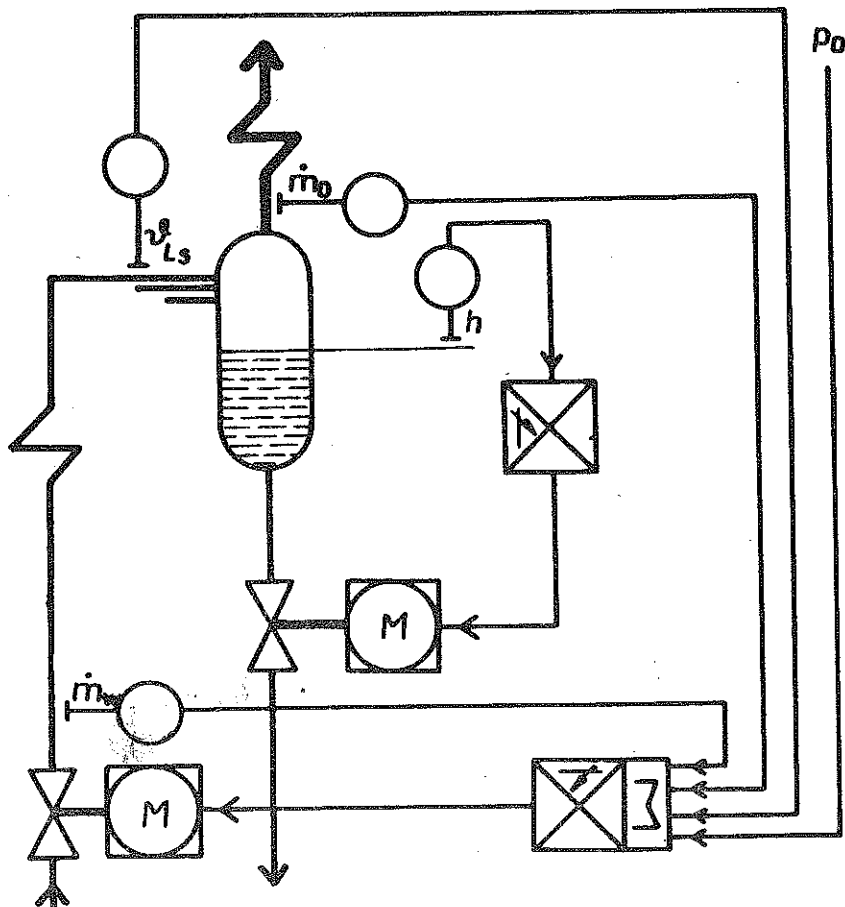


Bild 11: Beispiel einer Wasserstandregelung mit der Regelgröße Leitstrangtemperatur bei Zwangdurchlaufdamperzeugern mit festem Verdampfungsendpunkt

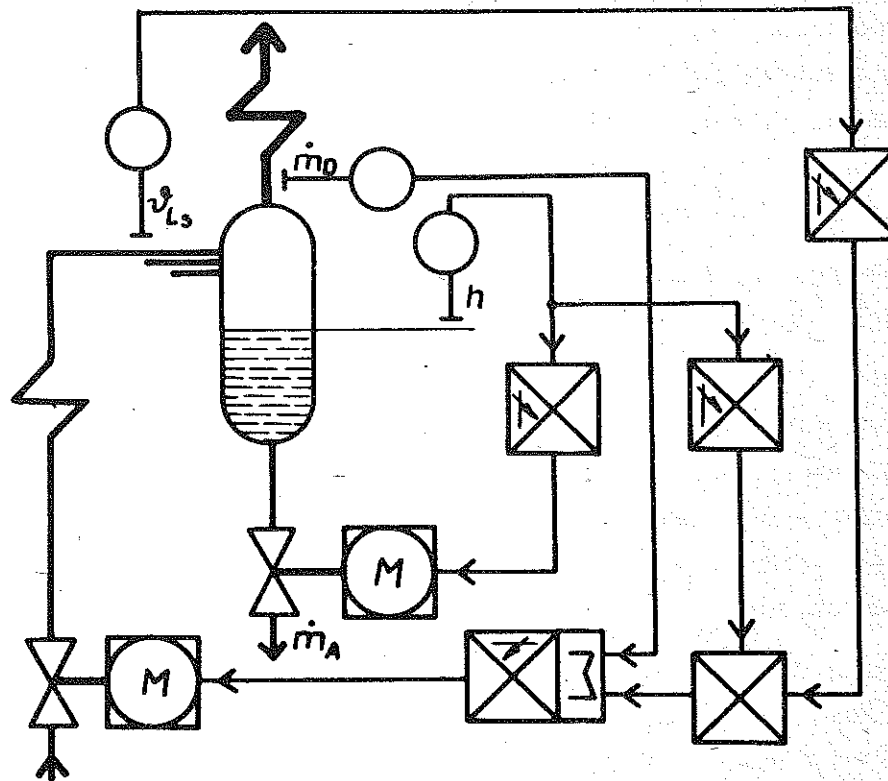


Bild 12: Beispiel einer Wasserstandregelung mit der Regelgröße Wasserstand bei Zwangsdurchlaufdamperzeugern mit festem Verdampfungsendpunkt

3.3.6. Meßeinrichtungen

Bei der Messung des Wasserstandes in der Trommel oder im Abscheider sind einige Besonderheiten zu beachten. Ein exakter Wasserspiegel ist nicht vorhanden, so daß auch nur ein scheinbarer mittlerer Wasserstand gemessen werden kann.

Der Meßwertgeber für die Regelung sollte in der Nähe eines örtlichen Wasserstandes (Wasserstandglas) oder zwischen zwei örtlichen angeordnet werden.

Im allgemeinen wird zur Messung des Wasserstandes das Differenzdruckmeßverfahren und nur noch selten die Messung mit einem Schwimmergeber angewendet.

Beim Differenzdruckmeßverfahren ist die Differenz der hydrostatischen Drücke vom Wasserstand in der Trommel oder im Abscheider und einem konstanten Vergleichswasserstand, der z. B. durch Kondensation von Sattedampf laufend aufrechterhalten wird, ein Maß für den Wasserstand in der Trommel oder im Abscheider.

Es ist zu beachten, daß das Meßgerät für einen bestimmten Betriebszustand ausgelegt ist. Bei Abweichungen von diesem Betriebszustand, insbesondere beim Anfahren bis zum Erreichen der Betriebsparameter, treten Meßfehler infolge von Dichteunterschieden auf. Die gleichen Fehler treten auch am örtlichen Wasserstand auf. Bezüglich des Zeitverhaltens sind die Meßgeräte so auszulegen, daß sie Änderungen des Wasserstandes mit möglichst geringer Verzögerung folgen.

Bei der Verwendung von Schwimmergebern für den Wasserstand treten sowohl bei direkter Messung als auch bei Messung in einem Nebengefäß, unabhängig davon, ob Eintauchtiefe oder Auftriebskraft als Maß für den Wasserstand herangezogen werden, Meßfehler infolge von Dichteänderungen auf.

Für die Messung des Speisewasser- und des Dampfstromes werden die üblichen Durchflußmeßgeräte verwendet, die jedoch eine große Empfindlichkeit und eine kleine Hysterese haben sollen. Gegebenenfalls ist eine Zustandskorrektur der Messung des Dampfstromes vorzunehmen. Bezüglich des Zeitverhaltens der Meßeinrichtungen leiten sich die Forderungen aus dem Übertragungsfaktor der Regelstrecke und der Änderungsgeschwindigkeit des Dampf- und Speisewasserstromes ab.

3.3.7. Stellglieder

Der Speisewasserstrom kann durch Drosselung oder durch Verändern der Drehzahl der Speisepumpe eingestellt werden. Die Einrichtung zum Einstellen des Speisewasserstromes soll möglichst wenig Energieverluste aufweisen, muß aber entsprechend den Erfordernissen der Regelung bemessen sein.

Die Auslegung der Stellglieder erfolgt anhand der Systemkennlinie, die die Abhängigkeit des am Druckstutzen der Speisepumpe benötigten Druckes vom Speisewasserstrom angibt, jedoch den Druckabfall im Stellventil für den Speisewasserstrom nicht enthält.

Das Stellglied muß so bemessen sein, daß der Stellstrom bis auf Null verstellt werden kann, sofern keine zusätzlichen Einrichtungen zum Stellen des Speisewasserstromes beim An- und Abfahren vorhanden sind.

Sind Einrichtungen zum Einstellen des Speisewasserstromes beim An- und Abfahren vorhanden, so soll sich mit dem Stellglied für den Normalbetrieb ein Mindestwert des Stellstromes einstellen lassen, der um etwa 10 % unter der Mindestlast des Dampferzeugers liegt.

3.4. Dampftemperaturregelung

3.4.1. Abgrenzung der Regelstrecke

Die Regelstrecke beginnt mit den Stellgliedern zur Beeinflussung der Dampftemperatur und endet am Meßort für die Dampftemperatur.

3.4.2. Verhalten der Regelstrecke

3.4.2.1. Beharrungsverhalten

Das Beharrungsverhalten der gesamten Dampftemperaturregelstrecke eines Dampferzeugers wird durch die Überhitzerkennlinie charakterisiert. Sie gibt die Temperatur als Funktion des Dampfstromes wieder.

Der Überhitzer als Dampftemperaturregelstrecke ist ein rauchgas- oder dampfbeheizter Wärmeübertrager. Die Überhitzerkonstruktion ist weitgehend durch die Kesselkonstruktion und die wärmetechnische Auslegung im Zusammenhang mit dem verwendeten Rohrwerkstoff bedingt. Durch Verteilung der Wärmeaufnahme auf Strahlungs- und Berührungsheizflächen und durch Schaltung im Gleich-, Gegen- oder Kreuzstrom kann in Grenzen das Verhalten der Regelstrecke beeinflusst werden.

Meist wird der Überhitzer eines Dampferzeugers in Teilstrecken aufgeteilt. Damit kann die Dynamik des Überhitzers verbessert werden.

3.4.2.2. Übertragungsverhalten

Stellübergangsverhalten

Das Stellübergangsverhalten wird durch die Stellübergangsfunktion charakterisiert. Eingangssignal ist die Änderung der Verstelleinrichtung zur Beeinflussung einer der Eingangsgrößen Wärmestrom, Dampfstrom oder Eintrittstemperatur und Ausgangssignal der zeitliche Verlauf der Regelgröße.

Die am häufigsten verwendete Stellgröße ist der Einspritzwasserstrom. Er beeinflusst unmittelbar die Temperatur des in die Überhitzerteilstrecke eintretenden Dampfes.

Bei Regelung der Dampftemperatur durch andere Regelverfahren, wie Biflux, Beeinflussung der Brenner und Rauchgasum- oder Rauchgasrückführung wird der an den Überhitzer übertragene Wärmestrom beeinflusst.

Tabelle 5: Richtwerte für das Stellübergangsverhalten von Überhitzern

Stellgröße	Regelgröße	$T_u + T_t$	T_a
		s	s
Einspritzwasserstrom vor dem jeweiligen Überhitzerabschnitt	Dampftemperatur nach vorletztem Überhitzerabschnitt	20 - 60	70 - 125
	Dampftemperatur nach dem letzten Überhitzerabschnitt (Austrittstemperatur)	25 - 70	80 - 220

Die aufgeführten Werte wurden an Dampferzeugern verschiedener Leistung und Feuerungsart experimentell ermittelt, wobei eine Verstellung der Einspritzventile von ca. 30 % auf ca. 80 % des Ventilhubes vorgenommen wurde. Das Eigenzeitverhalten der Stell- und Meßeinrichtungen ist in diesen Werten enthalten.

Störübergangsverhalten

Das Störübergangsverhalten wird durch die Störübergangsfunktionen charakterisiert. Eingangssignal ist die Änderung jeweils einer Störgröße und Ausgangssignal der zeitliche Verlauf der Regelgröße.

Als Störgrößen treten hauptsächlich der Wärmestrom, der Dampfstrom und die Eintrittstemperatur auf.

Bei der Auslegung der Regelung ist das dynamische Verhalten der Störung bis zur Auswirkung auf die Dampftemperaturregelstrecke zu berücksichtigen.

Tabelle 6: Richtwerte für das Störübergangsverhalten von Überhitzern

Feuerungsart	Störgröße	$T_u + T_t$	T_a
		s	s
Öl- und Gasfeuerungen	Beheizung	30 - 160	150 - 550
	Dampfstrom	15 - 40	80 - 220
Wanderrostfeuerungen	Dampfstrom	20 - 40	140 - 200
	Luftstrom	30 - 50	120 - 160
Kohlenstaubfeuerungen für Rohbraunkohle	Dampfstrom	20 - 50	100 - 250

Das Eigenzeitverhalten der Stell- und Meßeinrichtungen ist in diesen Werten enthalten.

3.4.3. Regelungsaufgabe

Die Aufgabe der Dampftemperaturregelung besteht darin, die Temperatur in einem zu vereinbarenden Lastbereich konstant zu halten. Der Sollwert für die Dampftemperatur kann auch mit der Last veränderlich sein.

Für Einspritzregelungen gilt üblicherweise als Bereich, in dem die selbsttätige Regelung ohne Änderung der Sollwerte arbeitet, 70 - 100 % der maximalen Dauerleistung des Dampferzeugers.

Ist eine Überlast des Dampferzeugers vereinbart, erweitert sich der Bereich auf die zugesagte Überlast.

3.4.4. Regelgüte

Sicherheitsabstand

Die Grenzbeanspruchung der Bauelemente bestimmt die maximale Regelabweichung und die zulässige Temperaturänderungsgeschwindigkeit.

Für Dampftemperaturen größer als 460 °C und bei normalen Betriebsbedingungen darf die maximale Regelabweichung 5 °C und für Dampftemperaturen kleiner als 460 °C darf sie 8 °C betragen. Die Festigkeitsberechnungen für die Überhitzerteilstrecken erfolgen dabei

für den Sollwert der Temperatur, der gleich der Auslegungstemperatur ist.

Es ist zulässig, daß auf der Grundlage einer Kosten- und Sicherheitsrechnung größere maximale Regelabweichungen vereinbart werden.

Diese Festlegungen gelten für Austrittstemperaturen von Endüberhitzern. Für Überhitzerteilstrecken, die nicht Endüberhitzer sind, werden auf der Grundlage von Sicherheitsberechnungen größere Temperaturabweichungen zugelassen.

Bei außergewöhnlichen Betriebsbedingungen dürfen die vom Hersteller des Dampferzeugers angegebenen Materialgrenzen nicht überschritten werden.

Stabilitätseigenschaften

Die Stabilität ist ausreichend, wenn nach Aufgabe der Prüfstörung die Ausregelzeit $T_{\text{aus}} \leq 480$ s ist.

Die Breite des Toleranzbandes ist in Prozent der maximalen Regelabweichung bei normalen Betriebsbedingungen anzugeben und beträgt, wenn nichts anderes vereinbart wird, 80 % der maximalen Regelabweichung.

Betriebswirtschaftliche Kosten

Zusätzliche betriebswirtschaftliche Kosten können sich durch Lebensdauerverkürzungen der Kesselstähle ergeben. Die tatsächlich auftretende Lebensdauer der Kesselstähle weicht im allgemeinen von der der Rechnung zugrunde gelegten Lebensdauer ab. Die Lebensdauerverkürzung (Quotient aus Istwert der Lebensdauer und der der Rechnung zugrunde gelegten Lebensdauer) hängt mit von der Regelgüte ab. Dabei wirkt sich eine bleibende Regelabweichung wesentlich stärker als die Dispersion (mittlere quadratische Abweichung) der Regelgrößenschwankungen. Bei der Festlegung der maximalen Regelabweichung ist dies zu berücksichtigen.

Soweit als maximale Regelabweichung für Dampftemperaturen bis 460°C nicht 8°C und für Dampftemperaturen größer als 460°C nicht 5°C vereinbart sind, sondern größere Toleranzen zugelassen werden, soll die Lebensdauerverkürzung nicht kleiner als 0,9 sein. Wenn die Projektlebensdauer unter Zugrundelegung der "Werkstoff- und Bauvorschriften für Anlagen der Dampf- und Drucktechnik" mit Sicherheit größer als 200 000 Std. ist, sind kleinere Werte für die Lebensdauerverkürzung zulässig.

Zulässige Temperaturänderungsgeschwindigkeit

Die zulässige Temperaturänderungsgeschwindigkeit ist für die kritischen Bauteile durch den Hersteller anzugeben und bei der Sollwertführung zu berücksichtigen.

3.4.5. Regelkreisschaltungen

3.4.5.1. Einspritzregelung

Die Beeinflussung der Regelgröße erfolgt durch Einspritzung von Speisewasser oder Kondensat. Die Änderung des Einspritzwasserstromes als Stellgröße erfolgt durch ein Stellventil oder durch Änderung des Förderstromes einer besonderen Pumpe.

Die Dampftemperatur am Ende der zu regelnden Überhitzerteilstrecke ist Regelgröße. Die Regelgröße ist meistens innerhalb des vereinbarten Lastbereiches mit einem konstanten Sollwert zu regeln.

Verstellungen des Sollwertes, bei denen die Last als Führungsgröße verwendet wird, werden während des Anfahrbetriebes und in seltenen Fällen auch im vereinbarten Bereich der selbsttätigen Dampftemperaturregelung angewendet.

Um die geforderte Regelgüte einhalten zu können, sind Regler mit J-Anteil einzusetzen.

Eine Verbesserung wird erreicht, wenn die Dampftemperatur nach Dampfkühler als Hilfsregelgröße differenzierend wirkend auf den Temperaturregler aufgeschaltet wird.

Die folgenden Regelkreisschaltungen werden zur Anwendung empfohlen.

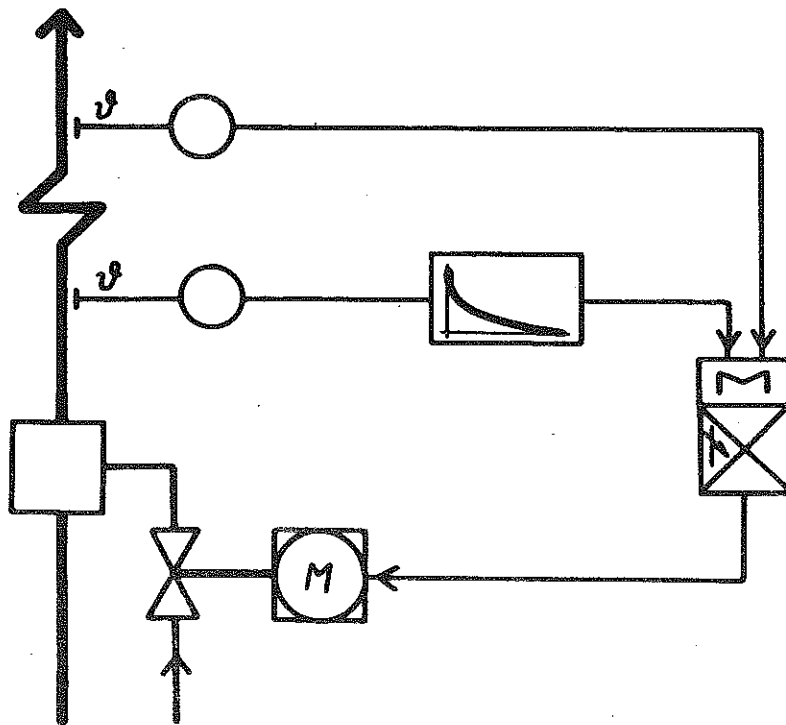


Bild 13: Beispiel für eine Dampftemperaturregelung mit Hilfsregelgröße Dampftemperatur nach Dampfkühler

Durch die Aufschaltung von Störgrößen erreicht man, daß die zu erwartende Auswirkung der Störungen rechtzeitig erfaßt und ihnen durch den Stelleingriff entgegengewirkt wird. Die Störungen treten hauptsächlich durch Änderungen des Dampfstromes und des Wärmeangebotes auf.

Durch Regelkreisuntersuchungen, bezogen auf die zu erwartenden realen Störungen aus den Einsatzbedingungen des Dampferzeugers, kann die Notwendigkeit der Störgrößenaufschaltung geprüft und die Entscheidung über die aufzuschaltende Störgröße getroffen werden.

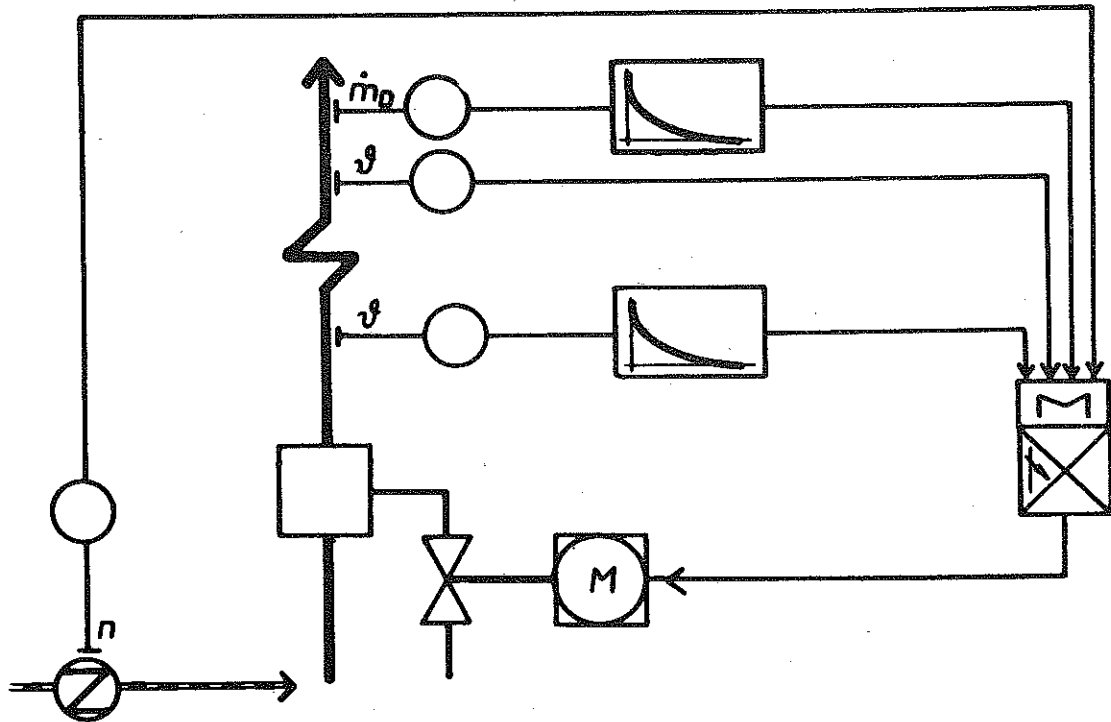


Bild 14: Beispiel für eine Dampftemperaturregelung mit den Störgrößen Brennstoffstrom und Dampfstrom

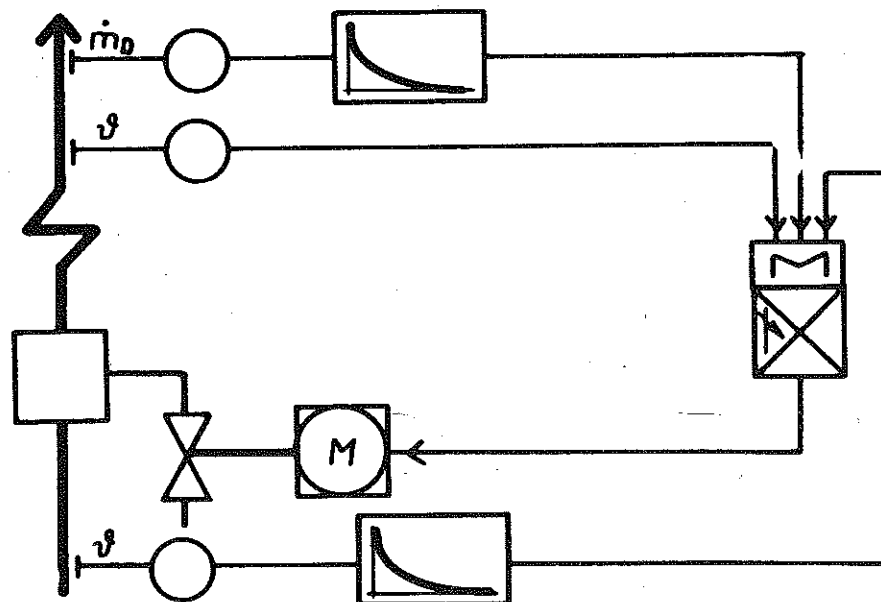


Bild 15: Beispiel für eine Dampftemperaturregelung mit den Störgrößen Dampfstrom und Ausgangstemperatur des davor liegenden Überhitzers

3.4.5.2. Weitere Regelverfahren

Biflux

Die Beeinflussung der Regelgröße erfolgt über einen Wärmeübertrager, dem ein veränderlicher Teilstrom eines kühleren Mediums (Dampf oder Speisewasser) zugeführt wird.

Die Größe des veränderlichen wärmeaufnehmenden Teilstromes ist die Stellgröße.

Rauchgasbiflux

Die Beeinflussung der Regelgröße erfolgt dadurch, daß an dem Überhitzer jeweils nur ein veränderlicher Teilstrom des wärmeabgebenden Rauchgases vorbeigeführt wird.

Beeinflussung der Brenner

Die Beeinflussung der Regelgröße erfolgt durch veränderte Wärmeanfuhr infolge veränderbarer Wirkungsrichtung der Brenner.

Der Stellbereich ist dabei begrenzt, da Rücksichtnahme auf die Feuerführung erforderlich ist.

Rauchgasrückführung

Die Beeinflussung der Regelgröße erfolgt dadurch, daß das wärmeabgebende Rauchgas durch vom Ende des Dampferzeugers rückgeführtes kühleres Rauchgas abgekühlt wird.

Der rückgeführte Rauchgasstrom ist die Stellgröße.

Zu beachten ist die jeweilige Beeinflussung des statischen Temperaturprofils und der notwendige technologische Aufwand am Dampferzeuger.

3.4.6. Meßeinrichtungen

Die Meßeinrichtungen bestehen vorwiegend aus Geräten für die Temperaturmessung. Es sind vorzugsweise Thermoelemente und nur in Ausnahmefällen Widerstandsthermometer oder mechanische Meßverfahren einzusetzen.

Das Übertragungsverhalten der Meßeinrichtungen ist anzugeben.

Für die Meßeinrichtungen sind Nullpunktkonstanz, Reproduzierbarkeit des Meßwertes und die notwendige Meßgenauigkeit zu garantieren.

3.4.7. Stellglieder

Bei einer zu vereinbarenden Betriebsführung sind die Regelventile so auszulegen, daß den festgelegten Regulationsanforderungen nach mindestens 6 Monaten nach Neuzustand des Stellgliedes noch entsprochen wird.

3.5. Feuerraumunterdruckregelung

3.5.1. Abgrenzung der Regelstrecke

Die Regelstrecke beginnt mit den Stellgliedern zur Beeinflussung des Rauchgasstromes und endet am Meßort für den Feuerraumunterdruck.

3.5.2. Verhalten der Regelstrecke

3.5.2.1. Beharrungsverhalten

Es wird empfohlen, den abzuführenden Rauchgasstrom in Abhängigkeit vom Dampfstrom mit dem Luftverhältnis oder dem Heizwert des Brennstoffes als Parameter aufzutragen.

Das Verhalten der Regelstrecke wird beeinflusst vom Verhältnis des Rauchgasstromes zum Volumen des vom Rauchgas durchströmten Teils des Dampferzeugers vom Feuerraum bis zum Schornsteinaustritt.

Im Beharrungszustand stellt sich bei konstantem Unterdruck am Meßort im Feuerraum ein längs des Rauchgasweges fallender Druck ein.

Während der Rauchgasstrom mit dem Dampfstrom in erster Näherung linear zunimmt, ergibt sich jedoch kein exakt quadratisch mit dem Dampfstrom abnehmender Absolutdruck am Ende der Regelstrecke, weil der Auftrieb den Druckverlauf beeinflusst.

3.5.2.2. Übertragungsverhalten

Stellübergangsverhalten

Das Stellübergangsverhalten wird durch die Stellübergangsfunktion charakterisiert; Eingangssignal ist die Veränderung der Verstell-einrichtung zur Beeinflussung des Rauchgasstromes und Ausgangssignal der zeitliche Verlauf der Regelgröße.

Die Art, wie der Unterdruck erzeugt und auf welche Weise seine Größe eingestellt wird, beeinflusst in erster Linie die Stellübergangsfunktion. Das Stellverhalten ist im allgemeinen bei drehzahl-geregelten Gebläsen ungünstiger als bei Regelung mit einer Drosselklappe oder einem Drallsteller am Gebläseeintritt.

Tabelle 7: Richtwerte für das Stellübergangsverhalten

Beeinflussung des Rauchgasstromes durch	$T_u + T_t$	T_a
	s	s
Drosselklappe oder Drehzahl des Saugzuges	1 - 8	5 - 15

Störübergangsverhalten

Das Störübergangsverhalten wird durch Störübergangsfunktionen charakterisiert; Eingangssignal ist die Änderung jeweils einer Störgröße und Ausgangssignal der zeitliche Verlauf der Regelgröße.

Hauptstörgröße ist die lastabhängige Verbrennungsluftzufuhr. Weitere Störgrößen sind die Veränderung der Feuerungsleistung, das Zu- und Abschalten von Gebläsen, der Drehzahlwechsel bei Gebläsen, das Zu- und Abschalten von Mühlen oder Brennern, das Zu- und Abschalten von Dampferzeugern bei mehreren an einem Schornstein angeschlossenen Dampferzeugern, der Falschlufteinbruch durch geöffnete Schautüren und -luken, das Rußblasen, Witterungseinflüsse und sich ändernde Heizflächenverschmutzung.

Die Regelstrecke ist eine Strecke mit Ausgleich. Sie hat ein günstiges Stell- und Störverhalten, so daß es nicht unbedingt erforderlich ist, die Nennwerte der Regelstrecke für die Auslegung der Regeleinrichtung zu ermitteln.

3.5.3. Regelungsaufgabe

Die Aufgabe der Regelung des Unterdruckes im Feuerraum besteht darin, die Absaugung des Rauchgasstromes so dem durch die Verbrennung erzeugten Rauchgasstrom anzupassen, daß unabhängig davon, ob die Absaugung durch natürlichen Zug oder Rauchgasgebläse erfolgt, der vorgegebene Sollwert für den Unterdruck im Feuerraum eingehalten wird.

Um zu verhindern, daß durch Undichtheiten des Feuerraumes und der Feuerungsanlage Rauchgase aus dem Feuerraum unkontrolliert entweichen können, muß durch die Regelung im Feuerraum unabhängig von der Leistung des Dampferzeugers ein Unterdruck eingehalten werden. Der Unterdruck soll ca. 5 kp/m^2 betragen, damit nicht zu viel Falschluf durch Undichtheiten in den Feuerraum und die Rauchgaszüge eintritt.

Kann am gewählten Meßort mit einem fest eingestellten Sollwert kein konstanter Unterdruck erzielt werden, so muß der Sollwert entsprechend der Dampferzeugerleistung verstellt werden. Eine lineare Abhängigkeit des Sollwertes von der Kessellast ist ausreichend.

Entsprechend der Störübergangsfunktion ist das Stellverhalten so zu beeinflussen, daß es bei schnellen Änderungen der Feuerungsleistung nicht zu über das zulässige Maß hinausgehenden Regelabweichungen kommt, die die Laständerungsgeschwindigkeit des Dampferzeugers damit begrenzen würden. Das heißt, es muß entsprechend der Verstellung des Verbrennungsluftstromes für eine ausreichend schnelle Verstellung des Rauchgasstromes gesorgt werden.

Bei Dampferzeugern mit Überdruckfeuerung, bei denen die Rauchgase durch den Druck der Verbrennungsluft ins Freie gefördert werden, entfällt die Regelung des Druckes im Feuerraum.

3.5.4. Regelgüte

Sicherheitsabstand

Der Sollwert für den Feuerraumunterdruck beträgt 5 kp/m^2 und kann während des Probetriebes entsprechend den Möglichkeiten oder Erfordernissen geändert werden.

Der Sicherheitsabstand zum Überdruckgebiet muß 1 kp/m^2 betragen.

Die Regelgröße darf weder durch Pulsation der Verbrennung noch bei schnellen Laständerungen Werte annehmen, die im Überdruckgebiet liegen. Zum anderen soll der Abstand des Sollwertes vom Überdruckgebiet möglichst klein sein.

Stabilitätseigenschaften

Die Stabilität ist ausreichend, wenn nach Aufgabe der Prüfstörung die Ausregelzeit $T_{\text{aus}} \leq 360 \text{ s}$ ist. Die Breite des Toleranzbandes beträgt, wenn nichts anderes vereinbart, 2 kp/m^2 .

Betriebswirtschaftliche Kosten

Zusätzliche betriebswirtschaftliche Kosten sind unbedeutend und brauchen nicht berücksichtigt zu werden.

3.5.5. Regelkreisschaltungen

Regelgröße ist der Unterdruck im Feuerraum, der als Differenzdruck gegen die Atmosphäre gemessen wird. Stellgröße ist der Rauchgasstrom. Hauptstöörgröße ist der Verbrennungsluftstrom.

Die folgende Regelkreisschaltung wird zur Anwendung empfohlen:

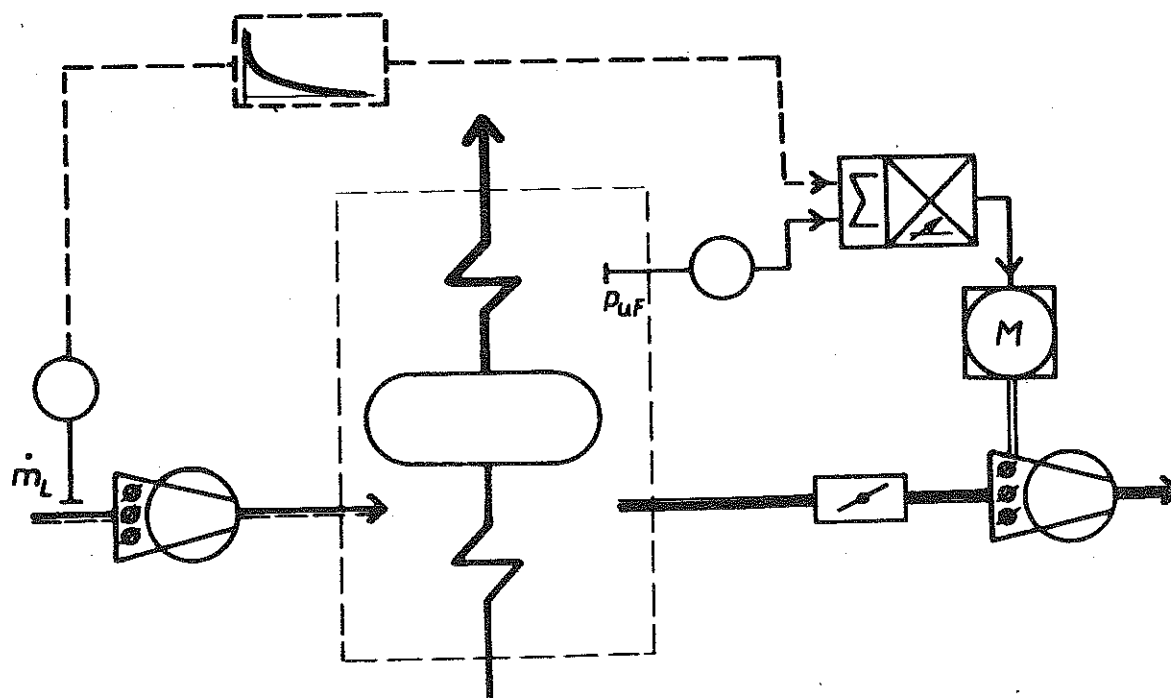


Bild 16: Beispiel für eine Feuerraumunterdruckregelung

Die Aufschaltung des Verbrennungsluftstromes als Störgröße ist gestrichelt angedeutet. Die Schaltung gilt auch für den Fall, daß der Rauchgasstrom mit einer Drosselklappe verstellt wird.

Ist der Stellbereich des Drallstellers nicht ausreichend, um auch im unteren Lastbereich, in dem der Dampferzeuger noch betrieben werden soll, den Unterdruck im Feuerraum konstant zu halten, so kann man eine bestimmte konstante Vordrosselung des Rauchgasstromes mit einer zusätzlichen Drosselklappe oder die Umschaltung des Saugzuggebläses auf eine kleinere Drehzahl vornehmen.

Der Drallsteller wird in beiden Fällen als Stellglied beibehalten.

3.5.6. Meßeinrichtungen

Die günstigste Lage des Meßortes läßt sich beim Entwurf des Dampferzeugers nicht vorausbestimmen. Es empfiehlt sich daher, Möglichkeiten zur Meßwertentnahme in verschiedenen Höhen vorzusehen. Dabei ist darauf zu achten, daß die Stelle, an der der Meßort liegt, möglichst wenig dem Einfluß des Feuers und der Gefahr von Verschmutzungen ausgesetzt ist.

Durch die Pulsation der Verbrennung werden kurzzeitige Druckschwankungen verursacht, die nicht ausgeregelt werden können. Ein Eingreifen des Reglers auf diese Druckänderungen ist zwecklos und führt zu einer unnötigen mechanischen Beanspruchung von Stellantrieb und Stellglied. Da Meßwerte, bei denen sich das Volumen des Meßraumes beim Meßvorgang nur wenig ändert, auf solche kurzzeitigen Druckänderungen ansprechen, muß die Messung gedämpft werden. Nimmt man die Dämpfung im Eingang des Meßwerkes vor, so kann sich der Dämpfungsgrad durch Verschmutzung ändern. Die Dämpfung darf nur so groß sein, daß die Übertragung der Änderung des Mittelwertes des Feuerraumunterdruckes nicht wesentlich verzögert wird. Eine zu große Dämpfung beeinflusst die Regelung ungünstig.

3.5.7. Stellglieder

Bei der Auswahl der Stellglieder sind neben der Art der Zugerzeugung und der Wirtschaftlichkeit insbesondere deren regeltechnische Eigenschaften zu beachten. Die Stellglieder sollen stetig, eindeutig und hysteresearm sein.

Durchflußcharakteristik und Stellbereich müssen den Erfordernissen der Regelung entsprechen. Das Stellverhalten muß auf die Verstellung des Verbrennungsluftstromes abgestimmt sein.

Eine Drosselklappe muß als Stellglied gewählt werden, wenn die Rauchgasabsaugung durch natürlichen Zug erfolgt oder wenn die Saugzuggebläse nicht mit einem Drallsteller ausgerüstet sind und nur mit einer festen oder stufenweise veränderlichen Drehzahl betrieben werden.

Die Durchflußcharakteristik von Drosselklappen läßt sich verbessern, indem man bei Kanälen mit großen Querschnitten statt einer mehrere gegenläufige Klappen verwendet, den Querschnitt zur Erzielung genügend großer Geschwindigkeiten einzieht oder eine geeignete Verbindung zwischen Stellantrieb und Stellglied vorsieht.

Bei Verwendung von Drosselklappen muß für eine einwandfreie Regelung ein ausreichender Differenzdruck an den Drosselklappen zur Verfügung stehen. Als Erfahrungswert sind mindestens 10 kp/m^2 als bleibender Druckverlust der voll geöffneten Klappen notwendig. Wirtschaftlicher als Regelung durch Drosselung ist das Stellen des Rauchgasstromes mit einer Einrichtung zur Verstellung des Dralls am Eintritt des Saugzuggebläses.

Eine weitere Möglichkeit zur Änderung des Rauchgasstromes ist gegeben durch drehzahlveränderliche Antriebe der Saugzuggebläse.

Bei Einstellen des Rauchgasstromes mit Drallstellern oder Drosselklappen an Saugzuggebläsen, deren Drehzahl sich stufenweise verändern läßt, ist zu beachten, daß bei einer sprungförmigen Änderung der Drehzahl beim Umschalten größere maximale Regelabweichungen auftreten können.

3.6. Mühlenaustrittstemperaturregelung an Kohlenstaubmühlen für Rohbraunkohle

Die Mühlenaustrittstemperatur kann durch Mischung verschiedener Gase (Heißluft, Kaltluft, Mahltrocknungsbrüden, kalte Rauchgase usw.) beeinflusst werden.

Für die Einhaltung dieser Temperatur kann ein einfacher Regelkreis aufgebaut werden.

Zur Vermahlung, Trocknung und Förderung des Brennstoffes werden überwiegend Ventilatormühlen, seltener Schlägermühlen eingesetzt. Beide saugen heiße Rauchgase aus der Brennkammer ab und verwenden sie zur Trocknung und als Traggas für den Kohlenstaub. Der Traggasstrom wird nicht zur Leistungsregelung herangezogen.

Die Temperaturen im Traggasstrom sollen nach unten bei 70 °C begrenzt sein, die obere Grenze liegt bei 180 °C. Die beste Mahlbarkeit ergibt sich für Temperaturen zwischen 110 - 180 °C bei Rohbraunkohle, was einen günstigen Einfluß auf die dynamischen Eigenschaften der Leistungsregelung hat.

Der festzulegende Sollwert läßt vorübergehende Schwankungen von ca. ± 20 °C und bleibende Abweichungen von ± 10 °C zu.

Wenn nichts anderes vereinbart, beträgt der Sollwert für die Mühlenaustrittstemperatur 160 °C.

Die genannten unteren und oberen Temperaturen dürfen jedoch aus Sicherheitsgründen nicht unter- oder überfahren werden.

Derartige Betriebsfälle sind durch Signal zu melden. Erreicht die Mühlenaustrittstemperatur, gemessen nach Sichter, einen Wert von 200 °C, ist die Kohlenstaubmühle außer Betrieb zu nehmen.

Meßeinrichtungen zur Messung der Traggasstromtemperatur

In den kohlenstaubführenden Leitungen ist mit einem starken Verschleiß zu rechnen. Deshalb sind die zu verwendenden Meßfühler mit besonderen Schutzvorrichtungen zu versehen. Es wird empfohlen, wegen des günstigen Zeitverhaltens als Meßfühler Thermoelemente einzusetzen, wobei die Messung im Traggasstrom nach Sichter vorzunehmen ist.

Anordnungen im Sichter selbst sind ungünstig, da die Messung im Sichter keine repräsentativen Meßwerte liefert.

4. Prüfung

Die Regelgüte ist durch einen Abnahmeversuch nachzuweisen; Umfang, Art und Zeitpunkt sind zu vereinbaren.

Als Prüfstörung ist eine einmalige schnellstmögliche Änderung des entnommenen Dampfstromes von 85 % auf 95 % der maximalen Dauerleistung anzuwenden.

Für den Nachweis der Regelgüte und des Stell- und Störverhaltens einer Regelstrecke können weitere Lastpunkte und andere Prüfstörungen vereinbart werden, die sich auf den gesamten vereinbarten Bereich der selbsttätigen Regelungen beziehen.

Das Stell- oder Störverhalten ⁴⁾ einer Regelstrecke ist bei einer Dampferzeugerleistung von 85 % der maximalen Dauerleistung zu ermitteln, indem das Stellglied zur Beeinflussung der Stell- oder Störgröße schnellstmöglich um 10 % des Stellbereiches geändert wird.

Beim Nachweis zur Ermittlung des Stell- oder des Störverhaltens einer Regelstrecke sind die übrigen nicht gekoppelten Einflußgrößen ausreichend konstant zu halten.

Vor Aufgabe einer Prüfstörung muß sich der Dampferzeuger in Beharung befinden. Die Partner können vereinbaren, daß der Nachweis der Regelgüte im Rahmen der Übergabemessungen erfolgt. Für notwendige Versuche hat der Auftraggeber und der Betreiber die technischen und organisatorischen Voraussetzungen zu schaffen.

Die für die Beurteilung der Regelgüte notwendigen Meßgrößen sind mittels Bandschreiber bei einem Vorschub des Registrierstreifens ≥ 600 mm/h aufzunehmen. Betriebsmeß- und Registriergeräte dürfen nur verwendet werden, wenn die Klassengenauigkeit $\leq 0,5$ beträgt; sonst sind durch den Lieferer der Regelanlage für den Nachweis der Regelgüte und durch den Lieferer des Dampferzeugers für den Nachweis des Verhaltens der Regelstrecken die notwendigen Versuchs- und Meßeinrichtungen zu stellen.

Wird die vereinbarte Regelgüte nicht erbracht, ist entsprechend Abschnitt 2.2.3.3. zu verfahren.

4) Es ist zu beachten, daß im Gegensatz zu dem aus konstruktiven und wärmetechnischen Daten berechneten Übergangsverhalten experimentell ermittelte Antwortfunktionen immer das Verhalten der Stell- und Meßeinrichtung beinhalten.

Hinweise:

Ersatz für TGL 78-10306, Ausg. 4.62

Änderungen gegenüber TGL 78-10306:

Inhalt vollständig überarbeitet

BMSR-Technik; Symbole und Kennzeichen	siehe TGL 14 091
Wärmeanlagen; Sinnbilder, Schaltpläne für Wärme- und Wasserkreisläufe	siehe TGL 22 446
Stationäre Dampferzeuger; Druckstufen, Temperaturstufen, Dampfmen gen	siehe TGL 17 286
Meßtechnik; Grundbegriffe	siehe TGL 0 - 1319
Abnahmeversuche an Dampferzeugern	siehe TGL 0 - 1942
Durchflußmeßregeln, Regeln für die Durchflußmessung mit genormten Düsen, Blenden und Venturidüsen	siehe TGL 0 - 1952
Einrichtungen zur Erzeugung salzarmen Dampfes	siehe DE 25-09 x)
Kennwerte für die Auslegung von Gebläsen	siehe DE 25-07 x)
Berechnungsgrundlagen für den natürlichen Wasserumlauf	siehe D-R 2/5-04 x)
Berechnungsgrundlagen für den Druckverlust	siehe D-R 2/5-03 x)
Wärmetechnische Berechnungsgrundlagen	siehe D-R 2/5-01 x)
VDJ-VDE-Richtlinien 3501 - 3507, erschienen im VDJ/VDE-Handbuch Regelungstechnik und VDJ-Handbuch Energietechnik, VDJ-Verlag GmbH., Düsseldorf 1963 - 1968	
Empfehlungen für Dampfturbinen Teil I und II JEC-Veröffentlichung 45 und 46, 2. Ausg. 1962 erschienen im VDE-Verlag GmbH., 1 Berlin 12	
"Richtlinien für den Betrieb von Kraftwerken und Netzen" Verlag Energie, Moskau 1968	

x) Werkstandards des VEB Kombinat Dampferzeugerbau Berlin