

## 2 Fachliche Beschreibung

### 2.1 Aufgabe des Programms

**D i m B o = D i m ensionierung - B o iler**

Das Programm DimBo dient zur Simulation von Dampferzeugern mit oder ohne Verbrennungsprozessen und komplexen Wärmetauschersystemen im stationären Betrieb zur Bestimmung folgender Größen:

- Stoffströme (Massenströme und Analysen).
- Temperaturen und spezifische Enthalpien.
- Heizflächen.
- Wärmeübertragung.
- Verfahrensparameter.
- Stoff- und Energiebilanzen.

Mit dem Programm DimBo können komplexe Systeme von Wärmetauschern, Verbrennungsprozessen und Entschwefelungsprozessen mit folgenden Stoffströmen behandelt werden:

- Brennstoffe (fest, flüssig oder gasförmig)<sup>\*L2</sup>.
- Gase (mit/ ohne Staubbeladung).
- Wasser/Wasserdampf.
- Staub/Schlacke.
- Zuschlagstoffe<sup>\*L2</sup>.
- Kondensat aus Rauchgas.
- Medien mit benutzerdefinierten Stoffeigenschaften<sup>\*L4</sup>.

### 2.2 Aufbau der Schaltung für das Programm DimBo

#### 2.2.1 Einleitung

Die Darstellung des Dampferzeugers oder Wärmetauschersystems erfolgt im Programm DimBo mit einer durch den Programmbenutzer vorzugebenden Schaltung.

Jede zu berücksichtigende Heizfläche, jede Wärmeumsetzung und Wärmefreisetzung wird als eigenes Schaltungselement in dieser Schaltung beschrieben.

## 2.2.2 Nummerierung der Schaltungselemente – MSTA-Nummern

Die Komponenten des Dampferzeugers, in denen jeweils verschiedene Stoffe im Wärmeaustausch stehen, bilden "Schaltungsabschnitte". Jeder der beteiligten Stoffströme ist ein Schaltungselement des betreffenden (Schaltungs-) Abschnitts.

Beispiele für Schaltungsabschnitte:

1. Rauchgaskanal mit Heizfläche

Der Schaltungsabschnitt besteht aus einem Schaltungselement für das Rauchgas und einem weiteren Element für das Heizflächenmedium.

2. Rauchgaskanal mit mehreren Heizflächen

Sind mehrere Heizflächen, z.B. für verschiedene Medien oder Medienzustände, im selben Gaskanal (parallel) angeordnet, wird außer dem Schaltungselement für das Rauchgas je ein Schaltungselement für jede dieser Heizflächen benötigt.

3. Sonstiger Wärmetauscher

Es werden so viele Schaltungselemente benötigt, wie verschiedene Stoffe im Wärmeaustausch stehen.

4. Verbrennung

Die verschiedenen an der Verbrennung beteiligten Stoffe (Brennstoff, Luft, Zerstäuberdampf, ...) sind Schaltungselemente eines Verbrennungsabschnitts. Das bei der Verbrennung entstehende Rauchgas wird in einem weiteren Schaltungselement berücksichtigt.

Jedes Schaltungselement besitzt eine Nummer, mit der es in der Schaltung identifiziert wird. Diese 3-stellige MSTA-Nummer ist wie folgt aufgebaut:

- 1.-2. Stelle:      Abschnittsnummer.
- 3. Stelle:      Stoffstromnummer innerhalb des Abschnitts.

Beispiel: MSTA = 143 --> Abschnitt 14 Stoffstrom 3.

In der Schaltung können bis zu 75 Abschnitte mit den Abschnittsnummern 1-75 verwendet werden.

Jeder Abschnitt kann bis zu 8 Stoffströme mit den Stoffstromnummern 1-8 enthalten.

Die Nummerierung der Stoffströme eines Abschnitts muss bei 1 beginnen und darf keine Lücken aufweisen.

## 2.2.3 Stoffarten

Das Programm unterscheidet verschiedene Stoffarten, die hinsichtlich ihrer Zustandsbeschreibung und ihrer Verwendungsmöglichkeit unterschiedlich behandelt werden.

Folgende Stoffarten sind zurzeit realisiert:

- 1 Rauchgas, Sauerstoffträger, Staub und Schlacke
- 2 Wasser und Wasserdampf
- 3 Brennstoff<sup>\*L2</sup>
- 4 Zuschlagstoff zur Direktentschwefelung<sup>\*L2</sup>
- 5 Prozessgas<sup>\*L4</sup>
- 6 Kondensat aus Rauchgas
- 11-19 Medien mit benutzerdefinierten Stoffeigenschaften<sup>\*L4</sup>

Für jedes Schaltungselement muss die Stoffart des jeweiligen Stoffstroms angegeben werden.

## 2.2.4 Schaltungselementtypen

Mit der Typnummer wird die prinzipielle Funktion eines Schaltungselementes festgelegt. Folgende Typnummern können abhängig der bezogenen Lizenzoptionen verwendet werden:

**2.2.4.1 Gruppe I – Schaltungselementtypen mit konstruktiven Daten**

Tab. 2-1: Typnummern 100-199, Gaskanäle

Nr.	Typ
101	Rechteckiger Gaskanal
102 <sup>*L2</sup>	Feuerraum – Rauchgas
111	Gaskanal mit Änderung der Kanaltiefe
112	Gaskanal mit Änderung der Kanalbreite
113 <sup>*L2</sup>	Feuerraum mit Änderung der Kanaltiefe
114 <sup>*L2</sup>	Feuerraum mit Änderung der Kanalbreite
115 <sup>*L2</sup>	Feuerraum hinter MVA-Rostfeuerung
121	Gaskanal mit 90-Grad-Umlenkung über die Breite
122	Gaskanal mit 90-Grad-Umlenkung über die Tiefe
123 <sup>*L3</sup>	Haube für Wirbelschicht-Feuerung
141 <sup>*L4</sup>	Gaskanal mit kreis- oder ringförmigem Querschnitt
146 <sup>*L4</sup>	Kreisförmiger Gaskanal mit Katalysatorkorb
151 <sup>*L4</sup>	Gaskanal mit Änderung des kreis- oder ringförmigem Querschnitts

Tab. 2-2: Typnummern 200-299, Wandheizflächen

Nr.	Typ
201	Membran-Rohrwand Rohr-Steg-Rohr (Umfassungswand)
241 <sup>*L4</sup>	Seitenwand im ringförmigen Gaskanal
251 <sup>*L4</sup>	Ringspalt um den ringförmigen Gaskanal

Tab. 2-3: Typnummern 300-399, Querangeströmte Bündelheizflächen

Nr.	Typ
301	Glattrohr – fluchtende Anordnung
302	Glattrohr – versetzte Anordnung
311	Rippenrohr – Kreisrippe – fluchtende Anordnung
312	Rippenrohr – Kreisrippe – versetzte Anordnung
321	Rippenrohr – Schraubenrippe – fluchtende Anordnung
322	Rippenrohr – Schraubenrippe – versetzte Anordnung
326	Rippenrohr – Segmentrippe – fluchtende Anordnung
327	Rippenrohr – Segmentrippe – versetzte Anordnung
331	Rippenrohr – Rechteckrippe – fluchtende Anordnung
341 <sup>*L4</sup>	Heizflächenspirale im kreis- oder ringförmigen Gaskanal
371	Gekühlte Tragbalken im kreis- oder ringförmigen Gaskanal
390	Innenrohre des Triflux-Wärmetauschers

Tab. 2-4: Typnummern 400-480, Tragrohre und Schottheizflächen

Nr.	Typ
401	Tragrohre – längsangeströmt
402	Schott Rohr-Steg-Rohr – längsangeströmt
403	Schott Rohr-Steg-Rohr – querangeströmt
404	Glattrohrschnitt – längsangeströmt
441 <sup>*L4</sup>	Beidseitig beheizter Zylinder im ringförmigen Gaskanal

Tab. 2-5: Typnummern 481-499, sonstige Schaltungselementtypen mit konstruktiven Daten

Nr.	Typ
481	Unbeheizte Verbindungsrohre

**2.2.4.2 Gruppe II – Schaltungselementtypen ohne konstruktive Daten**

Tab. 2-6: Typnummern 500-599, sonstige Schaltungselemente für Wärmeübertragung

Nr.	Typ
501	Luvo – Rauchgas
502	Luvo – Luft
504	Wärmezufuhr/-abgabe durch dT-, dh- oder dQ-Angabe
505	Wärmetauscher mit vorgegebenem k□A-Wert
506	Entstauber – staubabgebender Stoffstrom
507	Entstauber – staubaufnehmender Stoffstrom
510	Trommel/Trenngefäß – Umwälzung
511	Trommel/Trenngefäß – Heißdampf
512	Trommel/Trenngefäß – Abschlämmung
513	Trommel/Trenngefäß – Trommelvorwärmer
514	Trommel/Trenngefäß – Trommelkühler
521	Wärmeübertragung – Austrittszustand als Energiebilanz
522	Wärmeübertragung – Austrittszustand vorgegeben

**2.2.4.3 Gruppe III – Verfahrenstechnische Schaltungselementtypen**

Tab. 2-7: Typnummern 600-619, Schaltungselemente für Verbrennung

Nr.	Typ
601 <sup>*L2</sup>	Rauchgas nach Verbrennung
602 <sup>*L2</sup>	Schlacke nach Verbrennung
605 <sup>*L4</sup>	Prozessgas nach Katalysator
611 <sup>*L2</sup>	Gas/Staub in die Verbrennung
612 <sup>*L2</sup>	Zerstäuberdampf in die Verbrennung
613 <sup>*L2</sup>	Brennstoff in die Verbrennung
614 <sup>*L2</sup>	Zuschlagstoff (Direktentschwefelung) in die Verbrennung
615 <sup>*L4</sup>	Prozessgas in den Katalysator

Tab. 2-8: Typnummern 620-699, sonstige Schaltungselemente der Verfahrenstechnik

Nr.	Typ
641	Mahl trocknung – Brennstoff
642	Mahl trocknung – Trocknungsgas
643	Mahl trocknung – Fremdmedium als Wärmezufuhr
651	Quenche – Rauchgas (, das mit Wasser vermischt wird)
652	Quenche – Wasser (, das dem Rauchgas zugemischt wird)
656	Wasserabscheidung – Gas (, von dem Wasser abgeschieden wird)
657	Wasserabscheidung – Kondensat (, das abgeschieden wird)
658	Wasserabscheidung – Quenchwasser
659	Wasserabscheidung – Medium, das die freigesetzte Wärme aufnimmt

## 2.2.5 Kombinationen verschiedener Schaltungselementtypen

Im selben Abschnitt sind nicht alle Typnummern mit beliebigen anderen kombinierbar.

Auch dürfen einige Typnummern nur für den ersten Stoffstrom eines Abschnitts benutzt werden.

Im Einzelnen gelten folgende Regeln:

### 2.2.5.1 Regeln für die Typnummern 100-499

Die Typnummern 100-499 dürfen nicht im selben Abschnitt wie die Typnummern 500-599 oder 600-699 verwendet werden.

Pro Abschnitt darf nur ein Schaltungselement mit einer Typnummer 100-199 vorkommen. Es darf nur für den ersten Stoffstrom (Stoffstromnummer 1) verwendet werden.

Die Typnummern 200-499 dürfen nur verwendet werden, wenn der erste Stoffstrom des Abschnitts eine Typnummer 100-199 hat.

Bei den Typnummern 102, 113 und 114 (Feuerräume) muss der Abschnitt mindestens ein Schaltungselement mit einer Typnummer 200-499 enthalten.

Die Typnummern 121, 122 und 123 (Gaskanalumlenkung, Haube) dürfen nur in Verbindung mit den Heizflächentypen 201, 401, 402 und 404 verwendet werden. Typnummer 141 (Ringförmiger Gaskanal) darf nur in Verbindung mit den Heizflächentypen 241, 341, 371, 401, 402, 404 und 441 verwendet werden, **Typnummer 146 (Gaskanal mit Katalysatorkorb)** nur in Verbindung mit dem Heizflächentypen 241 und Typnummer 151 (Ringförmiger

Gaskanal mit Querschnittsänderung) nur in Verbindung mit den Heizflächentypen 241, 371 und 401.

Der Typnummer 390 (Triflux-Innenrohr) muss ein Schaltungselement mit Typnummer 300-389 (Bündelheizfläche als zugehöriges Triflux-Außenrohr) vorausgehen. D.h. MSTA-Innenrohr = MSTA-Außenrohr +1.

### **2.2.5.2 Regeln für die Typnummern 500-599**

Die Typnummern 500-599 dürfen nicht im selben Abschnitt wie die Typnummern 100-499 oder 600-699 verwendet werden.

Folgende Typnummernkombinationen in einem Abschnitt sind erlaubt:

- a) 501 einmal und 502 ein- oder zweimal pro Abschnitt. Wird eine dieser beiden Typnummern verwendet, muss auch die andere vorhanden sein.
- b) 504 bis zu 8 mal pro Abschnitt.
- c) 505 mindestens 2 mal und maximal 8 mal pro Abschnitt.
- d) 506 und 507 jeweils einmal pro Abschnitt. Wird eine dieser beiden Typnummern verwendet, muss auch die andere vorhanden sein.
- e) 510, 511, 512, 513 und 514 insgesamt bis zu 8 mal pro Abschnitt. Wird eine dieser Typnummern verwendet, müssen zumindest die Typnummern 510 und 511 in dem Abschnitt vorhanden sein.
- f) 521 einmal und Typnummer 522 bis zu 7 mal pro Abschnitt. Typnummer 522 darf nur verwendet werden, wenn Typnummer 521 auch vorhanden ist.

Kombinationen mit anderen als den jeweils angegebenen Typnummern im selben Abschnitt sind verboten.

### **2.2.5.3 Regeln für die Typnummern 600-699**

Die Typnummern 600-699 dürfen nicht im selben Abschnitt wie die Typnummern 100-499 oder 500-599 verwendet werden.

#### **a) Verbrennungsabschnitte**

Für den ersten Stoffstrom des Abschnitts (Stoffstromnummer 1) muss die Typnummer 601 verwendet werden. Pro Abschnitt darf nur ein Schaltungselement mit den Typnummern 601, 602, 612 und 614 vorkommen. Die Typnummern 611 und 613 dürfen mehrfach in einem Abschnitt verwendet werden.

#### **b) Mahltrocknung**

Ein Mahltrocknungsabschnitt besteht aus den beiden Schaltungselementen 641 und 642 und optionalen Schaltungselementen 643. Die Reihenfolge ist beliebig.

Mit Schaltungselement vom Typ 643 kann die Wärmezufuhr durch einen externen Stoffstrom (z.B. Trocknungsdampf) realisiert werden.

c) Quenche

Eine Quenche besteht aus den beiden Schaltungselementen 651 und 652, wobei 651 für den ersten (Rauchgas) und 652 für den zweiten Stoffstrom (Wasser) des Abschnitts verwendet werden muss.

d) Wasserabscheidung

Ein Abschnitt zur Wasserabscheidung muss als erstes Schaltungselement die Typnummer 656 für das zu trocknende Gas enthalten. Außerdem muss die Typnummer 657 für das Kondensat vorhanden sein. Darüber hinaus kann je ein Schaltungselement mit den Typnummern 658 (Quenchwasser) und 659 (wärmearaufnehmendes Medium) verwendet werden.

## 2.2.6 Kombinationen von Stoffarten mit Schaltungselementtypen

Tab. 2-9: Kombinationsmöglichkeiten von Stoffarten mit Schaltungselementen

Typ- nummer	Bezeichnung	Stoffart						
		1	2	3 *L2	4 *L2	5	6 *L4	11... *L4
101-199	Gaskanal	X				X		X
200-499	Heizfläche	X	X			X	X	X
501-502	Luvo	X				X		
504	dt-, dh-, dQ-Angabe	X	X	X	X	X	X	X
505	Wärmetauscher mit k*A-Wert	X	X	X	X	X	X	X
506-507	Entstauber	X				X		
510-514	Trommel			X				
513-514	Trommelvorwärmer/-kühler	X	X			X	X	X
521-522	Wärmeübertragung (Bilanz)	X	X	X	X	X	X	X
601	Rauchgas aus Verbrennung	X						
602	Schlacke aus Verbrennung	X						
611	Gas, Staub in Verbrennung	X						
612	Zerstäuberdampf			X				
613	Brennstoff in Verbrennung				X			
614	Direktentschwefelung					X		
641	Mahl trocknung Brennstoff				X			
642	Mahl trocknung Gas	X						
643	Mahl trocknung Fremdmedium	X	X	X	X	X	X	X
651	Quenche Rauchgas	X						
652	Quenche Wasser		X				X	
656	Wasserabscheider Gas	X						
657	Wasserabscheider Kondensat							X
658	Wasserabscheider Quenchwasser		X					X
659	Wasserabscheider Wärmeaufnahme	X	X	X	X	X	X	

## 2.2.7 Strömungsrichtung

Bei Wärmetauscherabschnitten hat die Strömungsrichtung der Stoffströme Einfluss auf die Berechnung. Wärmetauscherabschnitte sind alle Abschnitte, deren Schaltungselemente mit konstruktiven Daten beschrieben werden (Typnummern 100-499), und Abschnitte mit k\*A-Werten für die Schaltungselemente (Typnummern 501, 502 und 505).

Es kann zwischen folgenden Strömungsmodellen gewählt werden:

- 1 : Gleichstrom
- 2 : Gegenstrom
- 3 : Kreuz- oder Kreuzgleichstrom
- 4 : Kreuz- oder Kreuzgegenstrom.

Für jeden Stoffstrom eines Wärmetauscherabschnitts ist eine entsprechende Wahl zu treffen. Bezugsstoffstrom für die Angabe ist immer der erste Stoffstrom des Abschnitts. Für diesen wird deshalb immer Gleichstrom vereinbart – er ist zu sich selbst im Gleichstrom. Für die anderen Stoffströme des Abschnitts kann dann jeweils eins der vier Strömungsmodelle ausgewählt werden. Dabei ist die Anwendung von Kreuz-, Kreuzgleich- oder Kreuzgegenstrom nur bei Heizflächen mit querangeströmten Rohren sinnvoll, und auch hierfür kann in vielen Fällen mit dem einfacheren Modell des reinen Gleich- oder Gegenstroms gerechnet werden.

Bei unbeheizten Verbindungsrohren (Typnummer 481) hat die Strömungsrichtung keinen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse.

Für Schaltungselemente außerhalb von Wärmetauscherabschnitten wird keine Strömungsrichtung für die Berechnung benötigt. Die Strömungsrichtung ist gleichgültig.

## 2.2.8 Verbindung der Stoffströme der Schaltungselemente

Oft durchlaufen Stoffströme nicht nur ein Schaltungselement einer Schaltung, sondern mehrere Schaltungselemente hintereinander. Auch Stoffmischungen und -verzweigungen sind möglich. Um den Weg der Stoffe durch die Schaltung darzustellen, wird für jedes Schaltungselement angegeben, mit welchen anderen Schaltungselementen es verbunden ist.

- Pro Schaltungselement können für jeweils bis zu neun Eintritte und Austritte die MSTA-Nummern der Anschlusschaltungselemente angegeben werden.
- Durch Angabe von mehreren Anschluselementen am Eintritt oder am Austritt können Mischungen und Verzweigungen realisiert werden.
- Die Anschlussnummer 0 stellt einen Eintritt von außen (Systemeintritt) bzw. einen Austritt nach außen (Systemaustritt) dar.

Normalerweise muss jedes Schaltungselement mindestens einen Ein- und einen Austritt besitzen. Ausnahmen bilden folgende Schaltungselement-Typnummern:

- Bei 507, 642 und 657 darf die Anzahl der Eintritte = 0 sein.
- Bei 601 und 602 ist die Anzahl der Eintritte = 0.
- Bei 611, 612, 613 und 614 sowie bei 652 und 658 ist die Anzahl der Austritte = 0.

In der Schaltung dürfen nur Schaltungselemente verbunden werden, für deren Stoffströme die gleiche Stoffart angegeben wurde. Sollen Stoffe mit unterschiedlicher Stoffart gemischt oder getrennt werden (z.B. in Quenche, Verbrennung, Wasserabscheidung, ...), so sind dafür spezielle Schaltungselemente mit entsprechenden Typnummern zu verwenden.

## 2.2.9 Daten zur Beschreibung der Funktion der Schaltungselemente

Die Eigenschaften der Schaltungselemente bei der Berechnung der Stoffströme und der Wärmeübertragung werden durch Parameter bestimmt, welche in den Eingabedaten festgelegt werden müssen. Die erforderlichen Daten hängen vom Typ des Schaltungselementes ab. Für die Schaltungselemente 100-499 sind dies die konstruktiven Daten der Schaltungselemente. Diese können durch sogenannte Verfahrensparameter ergänzt werden. Die übrigen Schaltungselemente 500-699 werden ausschließlich durch Verfahrensparameter und Temperaturangaben charakterisiert.

100-499: Die konstruktiven Daten zur Beschreibung der Geometrie des Gaskanals bzw. der Heizfläche müssen vorgegeben werden. Zu jeder Typnummer existiert eine entsprechende Parametrisierung der Gaskanal- bzw. Heizflächengeometrie, entsprechend derer die Daten angegeben werden können (siehe Seite 118, a) Verzeichnis der Merkblätter für Schaltungselemente mit konstruktiven Daten).

Darüber hinaus ist für jeden Abschnitt die Vorgabe einer Abschnittslänge erforderlich, welche von den sonstigen Geometrieparametern getrennt ist und die im Rahmen einer Heizflächenauslegung als Variationsparameter benutzt werden kann (siehe 2.6.2).

102, 113-114: Für Feuerräume<sup>L2</sup> kann eines von mehreren Berechnungsverfahren zur Berechnung der Wärmeübertragung und der Feuerraumendtemperatur ausgewählt werden. Dieses Verfahren sowie zugehörige Parameter müssen - über die geometrische Beschreibung hinaus - als Verfahrensparameter festgelegt werden.

200-480: Befindet sich die Heizfläche in einer Wirbelschicht<sup>L3</sup>, werden weitere Parameter zur Charakterisierung des Wirbelbettes benötigt. Entsprechende Werte können bei den Verfahrensparametern angegeben werden, um eine Heizfläche als Wirbelschichtheizfläche zu kennzeichnen und das Berechnungsverfahren festzulegen.

501-502: Der Wärmeübergang wird durch einen bei den Verfahrensparametern vorzugebenden k\*A-Wert des Luftvorwärmers für den Wärmeübergang zwischen dem

Primärmedium (Typnummer 501, Rauchgas) und dem Sekundärmedium (Typnummer 502, Luft) festgelegt. Je Schaltungselement mit Typnummer 502 ist also ein  $k^*A$ -Wert anzugeben. Zusätzlich können Wärmetauscherkennwerte für eine lastabhängige Umrechnung dieser  $k^*A$ -Werte und Parameter zu den Wärmeverlusten angegeben werden.

504: Die Wärmezufuhr/-abfuhr wird durch eine Temperatur- oder Enthalpiedifferenz charakterisiert. Die Enthalpiedifferenz wird entweder spezifisch (kJ/kg) oder absolut (kW) vorgegeben.

Die Wärme kann entweder von außen zugeführt bzw. nach außen abgeführt oder innerhalb der Schaltung übertragen werden.

Im ersten Fall muss angegeben werden, wie die zu- bzw. abgeführte Wärme in der Energiebilanz berücksichtigt werden soll (zugeführte Energie, Nutzwärme oder Verlust).

Im zweiten Fall muss der Anwender des Programms dafür sorgen, dass einer Wärmeabgabe an einer Stelle eine ebenso große Wärmeaufnahme an einer anderen Stelle der Schaltung gegenübersteht. Ist dies nicht der Fall, so entsteht hierdurch in der Gesamtenergiebilanz ein Fehler.

Schaltungselemente mit der Typnummer 504 können zur Mischung und Verzweigung von Stoffströmen benutzt werden. Soll dabei keine Wärmeumsetzung erfolgen, ist als Enthalpiedifferenz der Wert Null vorzugeben.

505: Die Wärmeübertragung zwischen den Stoffströmen des Abschnitts wird durch vorzugebende  $k^*A$ -Werte berechnet. Es können bis zu 8 Stoffströme pro Abschnitt berücksichtigt werden. Für jede Kombination von zwei Stoffströmen des Abschnitts wird ein eigener  $k^*A$ -Wert eingesetzt.

2 Stoffströme	1 $k^*A$ -Wert
3 Stoffströme	3 $k^*A$ -Werte
4 Stoffströme	6 $k^*A$ -Werte
5 Stoffströme	10 $k^*A$ -Werte
6 Stoffströme	15 $k^*A$ -Werte
7 Stoffströme	21 $k^*A$ -Werte
8 Stoffströme	28 $k^*A$ -Werte

Zu jedem  $k^*A$ -Wert können Wärmetauscherkennwerte für die lastabhängige Umrechnung des  $k^*A$ -Wertes und Parameter zu den Wärmeverlusten angegeben werden.

506-507: Für jeden Entstauber ist ein Entstaubungsgrad vorzugeben. Dies ist das Verhältnis der abgeschiedenen Staubmenge zur Staubmenge vor der Entstaubung. Für Zyklon-Entstauber kann auch die Geometrie vorgegeben werden und der Entstaubungsgrad kann anhand der Geometrie und der Stoffdaten und -zustände berechnet werden.

510-514: Für das Schaltungselement 511 können konstruktive Daten angegeben werden. Sie sind aber für eine stationäre Rechnung nicht erforderlich. Enthält der Abschnitt gleichzeitig ein Schaltungselement mit der Typnummer 513 oder 514 und ist dieses durch konstruktive Daten beschrieben, werden die konstruktiven Daten von 511 benutzt, um die Anzahl der Umlenkungen der Rohre von 513 bzw. 514 zu bestimmen.

Für die Schaltungselemente 513 und 514 sind entweder konstruktive Daten anzugeben oder die Wärmeübertragung ist - wie beim Typ 504 - in Form einer Temperatur- oder Enthal piedifferenz vorzugeben. Die erforderliche Energie wird den übrigen Stoffströmen der Trommel entzogen bzw. zugeführt. Daher darf bei Vorgabe einer Temperatur- oder Enthal piedifferenz nur die Kennzahl 0 zur Berücksichtigung in der Energiebilanz verwendet werden.

Für die übrigen Stoffströme in Trommel bzw. Trenngefäß (Typnummern 510, 512) sind keine Angaben erforderlich.

521-522: Für die Schaltungselemente vom Typ 522 ist der Austrittszustand vorzugeben. Die Angabe erfolgt entweder direkt als Temperatur, Enthalpie oder Dampfgehalt oder indirekt als Temperatur- oder Enthal piedifferenz oder Temperaturmittelwert bezogen auf einen anderen Punkt der Schaltung.

601-614: Bei den Verfahrensparametern sind für jeden Verbrennungsabschnitt Verbrennungsparameter anzugeben<sup>L2</sup>. Sie enthalten Angaben zur Behandlung der Brennstoffasche und zur Zusammensetzung und zum Heizwert des unverbrannten Brennstoffs.

Zusätzlich können noch folgende Angaben gemacht werden:

- Parameter zur Umsetzung des Flugstaubes aus einer vorherigen Verbrennung
- Entschwefelungsparameter (bei einer Direktentschwefelung mit Schaltungselement 614)
- Konversionsfaktoren für die Entstehung alternativer gasförmiger Verbrennungsprodukte (gasförmige Emissionen: CO anstatt CO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> anstatt SO<sub>2</sub> sowie NO, NO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O anstatt N<sub>2</sub>).

641-643: Die Mahltrocknung wird durch den Endwassergehalt des Brennstoffs, die Temperaturdifferenz zwischen Brennstoff und Trocknungsmedium hinter der Mühle und Angaben zur Antriebsleistung und zu den Wärmeverlusten beschrieben.

Für die Schaltungselemente vom Typ 643 ist der Austrittszustand vorzugeben. Die Angabe erfolgt entweder direkt als Temperatur, Enthalpie oder Dampfgehalt oder indirekt als Temperatur- oder Enthal piedifferenz oder Temperaturmittelwert bezogen auf einen anderen Punkt der Schaltung.

656-659: Für jeden Wasserabscheider ist der Abscheidegrad vorzugeben. Dies ist das Verhältnis des abgeschiedenen Wassers zum im Gas enthaltenen Wasserdampf vor der Trocknung.

100-499, 501-502, 505, 513-514: Der  $k^*A$ -Wert für den Wärmeübergang zwischen zwei Stoffströmen kann durch eine Heizflächenbewertung korrigiert werden.

- Bei Heizflächen mit konstruktiven Daten (200-499, 513, 514) können mehrere Schaltungselemente zu einer Verschmutzungsgruppe zusammengefasst werden. Diese besteht außer aus den MSTA-Nummern der zugehörigen Schaltungselemente aus einem Verschmutzungsfaktor und/oder Fouling-Werten für die äußere und innere Oberfläche. Mit dem Verschmutzungsfaktor wird der aus den übrigen Daten berechnete  $k^*A$ -Wert multipliziert. Die Fouling-Werte werden als zusätzliche Wärmewiderstände für den Wärmeübergang zwischen den Stoffen berücksichtigt.
- Bei den Schaltungselementen mit vorgegebenen  $k^*A$ -Werten (501, 502, 505) kann zu jedem  $k^*A$ -Wert ein Bewertungsfaktor angegeben werden, welcher mit dem vorgegebenen oder durch lastabhängige Umrechnung berechneten (theoretischem)  $k^*A$ -Wert multipliziert den für den Wärmetauscher effektiven  $k^*A$ -Wert ergibt.
- Für die Schaltungselemente mit den Typnummern 513- 514 darf die Heizflächenbewertung nur dann angegeben werden, wenn die Funktion des betreffenden Schaltungselementes durch konstruktive Daten und nicht durch eine Temperatur- oder Enthalpiedifferenz beschrieben wird.
- Bei einer Rechnung mit Prozessgasen, welche die Komponenten NO, NO<sub>2</sub> und/oder O<sub>2</sub> aufweisen, können Schaltungspfade, sogenannte Oxidationspfade, definiert werden, für welche die Oxidation von NO mit O<sub>2</sub> zu NO<sub>2</sub> berücksichtigt wird.

## 2.3 Berechnung der Stoffströme an allen Stellen der Schaltung

In die Berechnung der Stoffströme gehen folgende Daten ein:

- Analysen der eintretenden Stoffströme.
- Verfahrensparameter (Angaben zu Verbrennungsabschnitten<sup>\*L2</sup>, Entstaubern und Wasserabscheidern).
- Massenströme.
- Stoffeigenschaften für Medien mit benutzerdefinierten Stoffeigenschaften<sup>\*L4</sup>.

Die Berechnung der Stoffströme erfolgt für jede Stoffart nach einem eigenständigen Verfahren.

### 2.3.1 Berechnung der Brennstoffströme<sup>\*L2</sup>

Für jeden eintretenden Brennstoff sind der Mengenstrom und die Analyse an der Stelle des Eintritts in die Schaltung vorzugeben. Für jede Brennstoffverzweigung ist das Verhältnis der entstehenden Teilströme anzugeben. Darüber hinaus sind weitere Angaben zu den Brennstoffströmen weder zulässig noch erforderlich.

Bei der Mischung von Brennstoffen ist der Gesamtmassenstrom gleich der Summe der beteiligten Brennstoffe. Die Analyse ergibt sich, indem die Analysen der beteiligten Brennstoffe im Verhältnis ihrer Massenströme gemischt werden.

Bei der Mahltrocknung sind durch den (bei den Verfahrensparametern) vorgegebenen Endwassergehalt die Analyse und der Massenstrom des getrockneten Brennstoffs bestimmt. Das ausgetriebene Wasser geht an das Trocknungsgas (Luft, Rauchgas) mit der Stoffart 1 über.

Bleibt bei der Verbrennung im Verbrennungsabschnitt ein Teil des Brennstoffs unverbrannt, so wird dieses Unverbrannte in der weiteren Rechnung nicht als Brennstoffstrom, sondern als Komponentenstrom von Flugstaub und Schlacke (Stoffart 1) berücksichtigt.

Damit sind die Brennstoffströme an allen Stellen der Schaltung festgelegt.

Zur Eingabe der Brennstoffanalysen siehe Benutzerhandbuch ComCal, Abschnitt 2.2.1.

### 2.3.2 Bestimmung der Wasser-/Dampfströme

Bei Stoffart 2 werden nur die Massenströme (Analyse ist immer H<sub>2</sub>O) bestimmt.

Die Vorgabe der Daten, die zur Berechnung der Massenströme führt, kann in sehr allgemeiner Form erfolgen. Es müssen jedoch genau so viele Angaben gemacht werden, wie zur Berechnung der Massenströme erforderlich sind.

Die Anzahl der erforderlichen Angaben ergibt sich allein aus der Schaltung. Sie kann wie folgt berechnet werden:

Für jeden Eintritt in das System: +1 Angabe.

Für jede Verzweigung: +1 Angabe.

Für jedes geschlossene Umlaufsystem: +1 Angabe.

(Verdampferkreislauf bei Trommelkessel)

Für jeden Verbrennungsabschnitt mit Zerstäuberdampf<sup>\*L2</sup>: -1 Angabe.

Die Angaben brauchen aber nicht für die Stellen der Eintritte in das System oder der Verzweigungen gemacht werden. Es können stattdessen auch Massenströme oder Massenstromverhältnisse an einer beliebigen anderen Stelle der Schaltung oder Mischungsverhältnisse vorgegeben werden. Wichtig ist nur, dass die richtige Anzahl von

Angaben vorgegeben wurde und dass die Angaben nicht doppelt vorhanden oder widersprüchlich sind.

So können anstatt der Eintrittsmassenströme und Verzweigungsverhältnisse auch die Austrittsmassenströme und Mischungsverhältnisse vorgegeben werden. Oder die Austrittsmassenströme und für jede Mischung der Massenstrom eines beteiligten Teilstroms.

Dass bei Verwendung von Zerstäuberdampf eine Angabe weniger gebraucht wird, erklärt sich daraus, dass der Massenstrom des Zerstäuberdampfes aus dem Brennstoffmassenstrom und dem Zerstäuberdampfbedarf, welcher bei den Brennstoffparametern angegeben wird, abgeleitet wird.

Die Art der Vorgabe ist zunächst für die Berechnung der Massenströme gleichgültig. Sie wirkt sich aber dann aus, wenn Massenstromangaben zum Erreichen einer gestellten Temperaturbedingung variiert werden.

Beispiel:

Will man die Dampftemperatur (Austritt) über eine Einspritzmenge regeln, den Dampfstrom am Austritt dabei aber unverändert lassen, so kann man dies z.B. wie folgt erreichen:

- Vorgabe des Dampfstroms am Austritt.
- Vorgabe der Einspritzmenge (entweder absolut oder bezogen auf den Austrittsstrom).
- Vorgabe der Austrittstemperatur und Deklaration der Einspritzmenge als Variationsparameter.

Soll bei sonst gleicher Fragestellung der Eintrittsmassenstrom anstelle des Austrittsmassenstroms unverändert bleiben, so ist folgende Vorgabe sinnvoll:

- Vorgabe des Massenstroms am Eintritt.
- Vorgabe der Einspritzmenge (entweder absolut oder bezogen auf den Eintritts- oder den Austrittsstrom).
- Vorgabe der Austrittstemperatur und Deklaration der Einspritzmenge als Variationsparameter.

Im ersten Fall wird bei Änderung der Einspritzmenge der Eintrittsmassenstrom, im zweiten Fall der Austrittsmassenstrom korrigiert.

### 2.3.3 Berechnung der Stoffströme für Gas bzw. Asche

Das Verfahren zur Berechnung der Stoffströme mit der Stoffart 1 ist der aufwendigste Teil bei der Berechnung der Stoffströme. Das hat folgende Ursachen:

- Die Stoffströme besitzen eine umfangreiche Analyse. Es werden zurzeit 15 gasförmige und 36 staubförmige Komponenten unterschieden.

- Es sind beliebige Mischungen und Verzweigungen erlaubt.
- Die Stoffströme können in Verbrennungsabschnitten entstehen oder verbraucht werden.
- Für die aus der Berechnung hervorgehenden Stoffströme müssen bestimmte Anforderungen erfüllt sein.

Die sich mit der Berechnung dieser Stoffströme ergebenden Fragestellungen können sehr komplex sein. Um trotzdem zu einem allgemeinen und übersichtlichen Berechnungsverfahren zu gelangen, erfolgt die Berechnung in zwei Stufen.

Stufe 1: Berechnung der Anfangs-Stoffströme.

Stufe 2: Realisierung von Stoffstrombedingungen.

### 2.3.3.1 Berechnung der Anfangsstoffströme für Stoffart 1

Folgende Angaben sind erforderlich:

- Für jeden Systemeintritt für Stoffart 1 ist der Eintrittsmassenstrom (Gas ohne Staub) und die Eintrittsanalyse vorzugeben.  
Der eintretende Massenstrom kann entweder direkt (Absolutwert) oder als Stromverhältnisangabe, jeweils unter Angabe einer Analysennummer, vorgegeben werden.  
Bei einer Stromverhältnisangabe muss der Bezugsmassenstrom die Stoffart 1, 2 oder 3 haben. Bei Stoffart 1 muss dieser Bezugsmassenstrom in einer vorhergehenden Massenstrom- oder Verhältnisangabe definiert worden sein.
- Für jede Verzweigung bei Stoffart 1 ist das Verzweigungsverhältnis vorzugeben.

Mit diesen Angaben wird in Verbindung mit der Schaltung und den Verfahrensparametern eine erste Berechnung der Stoffströme und Analysen möglich. Dabei werden Stoffstromänderungen durch Vermischung, Verzweigung, Verbrennung, Direktempforschung, Entstaubung und Wasserabscheidung berücksichtigt.

Die Stoffumsetzung der Verbrennung<sup>\*L2</sup> wird dabei entsprechend der Beschreibung im Benutzerhandbuch ComCal, Abschnitte 2.4. und 2.5., berechnet. Anders als in ComCal ist in DimBo aber ein Hintereinanderschalten von Verbrennungsabschnitten möglich. Für die Teilnahme der Reaktionsprodukte einer ersten Verbrennung an der nachgeschalteten Verbrennung gilt dabei folgendes:

- Die gasförmigen Verbrennungsprodukte der ersten Verbrennung nehmen vollständig an der nachgeschalteten Verbrennung teil. Sie verhalten sich wie Sauerstoffträger.
- Der bei der ersten Verbrennung unverbrannt gebliebene Brennstoff verbrennt entsprechend dem bei den Verfahrensparametern des Verbrennungsabschnitts vorgegebenen Verbrennungsanteil. Er verhält sich wie Brennstoff.

- Die ascheförmigen Verbrennungsprodukte der ersten Verbrennung nehmen nicht an der nachgeschalteten Verbrennung teil. Sie gelten als innert und werden entsprechend dem bei den Verfahrensparametern des Verbrennungsabschnitts vorgegebenen Entaschungsgrad auf Schlacke und Flugstaub verteilt.
- Gasförmige Emissionen CO, SO<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O werden nur durch die Konversionsfaktoren des letzten Verbrennungsabschnitts bestimmt. Eine Konversion in einem vorherigen Verbrennungsabschnitt wird durch die Teilnahme an einer weiteren Verbrennung wieder aufgehoben.

Die Eigenschaften der eintretenden Stoffströme können über ihre Eintrittsanalysen beliebig festgelegt werden. Oft aber sollen auch solche Stoffströme, die erst innerhalb des Prozesses entstehen, bestimmte Eigenschaften besitzen (z.B. Rauchgas mit vorgegebenem O<sub>2</sub>-Gehalt). Das ist mit dieser Datenvorgabe und dem darauf aufbauenden Berechnungsverfahren allein nur schwer realisierbar. Hierzu dient Stufe 2 des Berechnungsverfahrens.

Zur Eingabe der Stoffstromanalysen siehe Benutzerhandbuch ComCal, Abschnitt 2.2.2.

### 2.3.3.2 Realisierung von Stoffstrombedingungen für Stoffart 1

Eigenschaften von Stoffströmen, die sich erst aus der Berechnung in Stufe 1 ergeben, können mit irgendwelchen Werten als "Stoffstrombedingung" festgeschrieben werden. Für jede dieser Stoffstrombedingungen muss eine der in Stufe 1 eingehenden Eingabegrößen als zugehöriger Variationsparameter gekennzeichnet werden.

Der Eingabewert dieses Variationsparameters wird dann lediglich als Anfangswert eingesetzt und anschließend durch das Programm so verändert, dass die gewünschte Stoffstrombedingung erfüllt wird.

Beispiel:

Bei der Verbrennung eines Brennstoffs mit Luft werden der Brennstoffmassenstrom, die Brennstoffanalyse, und der Luftmassenstrom (oder das Brennstoff-Luft-Verhältnis) festgelegt. Die Realisierung eines bestimmten O<sub>2</sub>-Gehalt des Rauchgases erfolgt durch Variation des Luftmassenstroms.

Welche Stoffstromeigenschaften als Stoffstrombedingung vorgegeben werden können und welche Variationsparameter zur Verfügung stehen, kann den Merkblättern DimBo\_MB-801 "Stoffstrombedingungen" und DimBo\_MB-803 "Variationsparameter zur Realisierung von Stoffstrombedingungen" entnommen werden.

### 2.3.3.3 Gasförmige Emissionen

Über die Konversionsfaktoren der Verbrennungsabschnitte<sup>L2</sup> können alternative gasförmige Verbrennungsprodukte berücksichtigt werden. Meist kennt man jedoch nicht die

Konversionsfaktoren als Absolutwert, sondern man möchte eine gegebene Konzentration der betreffenden Gaskomponente in den Stoff- und Energiebilanzen berücksichtigen.

Dazu kann der Anteil der Gaskomponente als Emissionswert an einer beliebigen Stelle der Schaltung (z.B. direkt nach der Verbrennung oder für das Abgas am Schaltungsaustritt) vorgegeben werden. Zur Realisierung wird dann der betreffende Konversionsfaktor eines Verbrennungsabschnitts variiert. Da mehrere Verbrennungsabschnitte mit individuellen Konversionsfaktoren vorhanden sein können, muss jeweils die Nummer des Verbrennungsabschnitts angegeben werden, dessen Konversionsfaktoren verändert werden sollen.

### **2.3.4 Berechnung der Zuschlagstoffströme<sup>\*L2</sup>**

Die Entschwefelungsparameter einer Direktentschwefelung und die Analysennummer des zu verwendenden Zuschlagstoffs werden durch die Angaben der zugehörigen Verbrennungsabschnitte bei den Verfahrensparametern festgelegt.

Der für einen Entschwefelungsprozess benötigte Massenstrom des Zuschlagstoffs wird aus den Entschwefelungsparametern (u.a. Entschwefelungsgrad und Stöchiometrieverhältnis) und dem SO<sub>2</sub>-Gehalt des Rauchgases berechnet.

Da Zuschlagstoffe weder verzweigt noch gemischt werden dürfen und auch nicht aus anderen Stoffströmen entstehen können, sind damit die Zuschlagstoffströme an allen Stellen der Schaltung festgelegt.

Zur Eingabe der Zuschlagstoffanalysen siehe Benutzerhandbuch ComCal, Abschnitt 2.2.3.

### **2.3.5 Berechnung der Stoffströme für Prozessgase<sup>\*L4</sup>**

Folgende Angaben sind erforderlich:

- Für jeden Systemeintritt für Stoffart 5 sind der Eintrittsmassenstrom (Gas ohne Staub) und die Nummer der Gasanalyse vorzugeben.  
Der eintretende Massenstrom kann entweder direkt (Absolutwert) oder als Stromverhältnisangabe, jeweils unter Angabe einer Analysennummer, vorgegeben werden.
- Für jede Verzweigung bei Stoffart 5 ist das Verzweigungsverhältnis vorzugeben.

Mit diesen Angaben und der Schaltung werden die Massenströme und Stoffzusammensetzungen aller Prozessgas-Stoffströme in der Schaltung berechnet.

Zur Eingabe der Prozessgasanalysen siehe Benutzerhandbuch ComCal, Abschnitt 2.2.2.

Sind außerdem sogenannte Oxidationspfade definiert, wird in den Schaltungselementen dieser Pfade eine Konversion von NO mit O<sub>2</sub> zu NO<sub>2</sub> berechnet. Demzufolge ändert sich in

jedem der betreffenden Schaltungselementen die Stoffzusammensetzung zwischen Ein- und Austritt und damit auch die Stoffeigenschaften. Die Reaktion ist mit außerdem mit einer Wärmefreisetzung verbunden, welche bei der Berechnung der thermischen Zustände (siehe 2.5.4) berücksichtigt wird. Die Berechnung erfolgt jeweils in Abhängigkeit der Temperatur und der Partialdrücke der beteiligten Komponenten und der aus der Geometrie abgeleiteten Verweilzeit in den durch den Oxidationspfad definierten Schaltungselementen.

### **2.3.6 Berechnung der Stoffströme für Kondensat**

Die Stoffstromberechnung für Stoffart 6 (Kondensat) erfolgt gemeinsam mit der Berechnung für Stoffart 1, da über Wasserabscheider und Quenching Verzweigungen und Mischungen zwischen diesen beiden Stoffarten möglich sind.

Normalerweise sind keine Angaben für Stoffart 6 erforderlich; die Mengen ergeben sich aus den Abscheidegraden der Wasserabscheider und die Analyse ist immer Wasser ( $H_2O$ ). Lediglich für Verzweigungen bei Stoffart 6 ist das jeweilige Verzweigungsverhältnis vorzugeben.

### **2.3.7 Berechnung für Medien m. benutzerdefinierten Stoffeigenschaften<sup>L4</sup>**

In derselben Schaltung können verschiedene Medien mit benutzerdefinierten Stoffeigenschaften auftreten. Sie werden durch die Kennzahl 11 – 19 der Stoffart unterschieden. Für jede vorkommende Stoffart erfolgt die Berechnung der Stoffströme unabhängig von den Berechnungen für andere Stoffarten.

Wie bei Stoffart 2 werden nur die Massenströme aber keine Zusammensetzungen bestimmt. Stoffströme der gleichen Stoffart können deshalb beliebig gemischt und verzweigt werden, und die Angaben zur Berechnung der Massenströme können in sehr allgemeiner Form erfolgen. Es müssen jedoch genauso viele Angaben gemacht werden, wie zur Berechnung der Massenströme erforderlich sind.

Die Anzahl der erforderlichen Angaben ergibt sich allein aus der Schaltung. Sie kann wie folgt berechnet werden:

Für jeden Eintritt in das System: +1 Angabe.

Für jede Verzweigung: +1 Angabe.

Für jedes geschlossene Umlaufsystem (Kreislauf): +1 Angabe.

Ansonsten gelten die gleichen Hinweise wie für die Berechnung für Stoffart 2, Wasser/Dampf (siehe 2.3.2).