

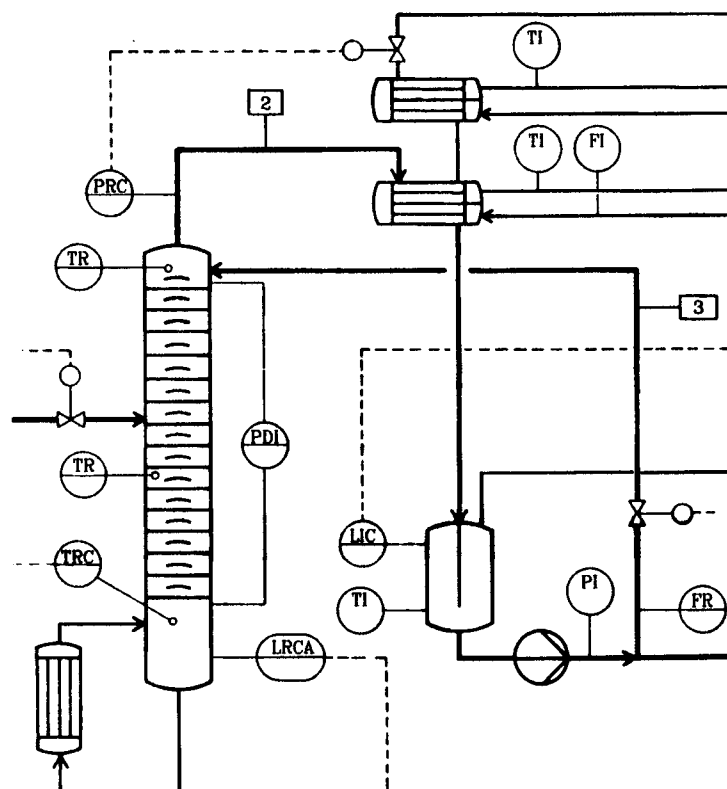


TVT

Programmpaket für die Thermische Verfahrenstechnik

Version 1

Aufbau und Inhalt



Allgemeines zum Programmpaket TVT

Das Programmpaket TVT ermöglicht die bequeme Auslegung und Optimierung grundlegender Operationen der Thermischen Verfahrenstechnik. Es umfasst nebst den im Lehrbuch "Wärme- und Stofftransportprozesse" des Programmautors [W+S] enthaltenen Grundlagen wesentliche Erweiterungen.

Der Anwender wird bei der Benützung der 21 Programme des Pakets mit einer Code-Grösse von total rund 3 MB durch das Einlesen von Vorgabewerten ab Datenfiles und durch eine Bedienerführung mit Menüs, Masken und Erläuterungstexten unterstützt. Alle Programme ermöglichen ein Abspeichern der Eingabedaten auf Datenfiles, welche bei späteren Rechnungen als neue Vorgabewerte wieder eingelesen werden können: Bild 1. Die Ergebnisse können zur Einbindung in Textprogramme auf Files geschrieben oder direkt auf einen Drucker ausgegeben werden. Zur grafischen Darstellung der Ergebnisse mit einem der handelsüblichen Grafikprogramme lassen sich die Ergebnisse auch als Plot-Files im ASCII-Format zwischenspeichern. Das Bild 2 zeigt ein Beispiel einer auf diese Weise erzeugten Grafik:

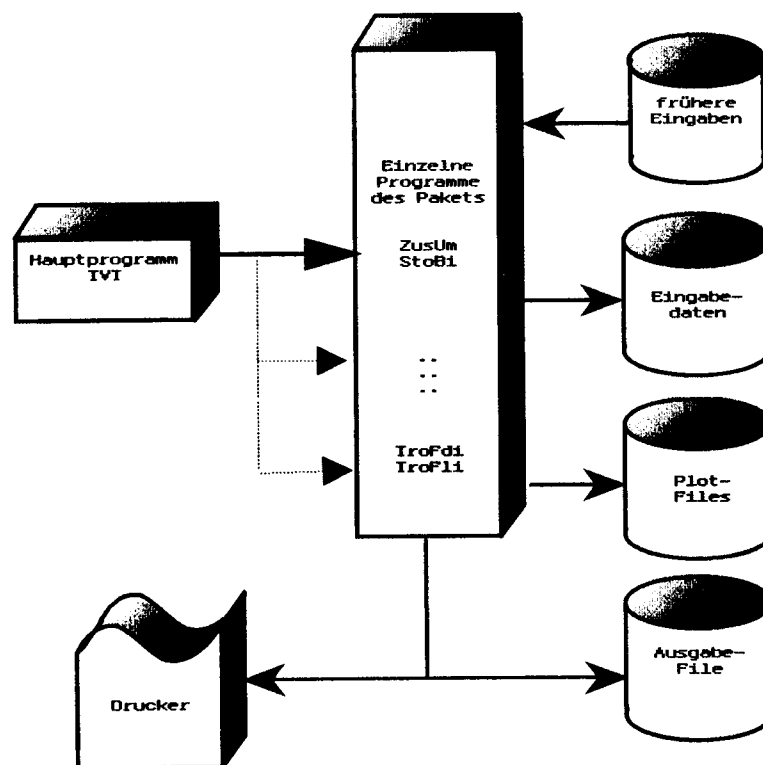


Bild 1: Aufbau und Arbeitsweise des Programmpakets TVT.

Die einzelnen Programme aus den Gebieten Grundlagen des Wärme- und Stofftransports, Wärmeübertragung ohne Phasenänderung, Verdampfung, Kondensation, Destillation, Rektifikation, Absorption und Trocknung (—> siehe Tabelle) werden über das folgende Menü im Hauptprogramm TVT aufgerufen:

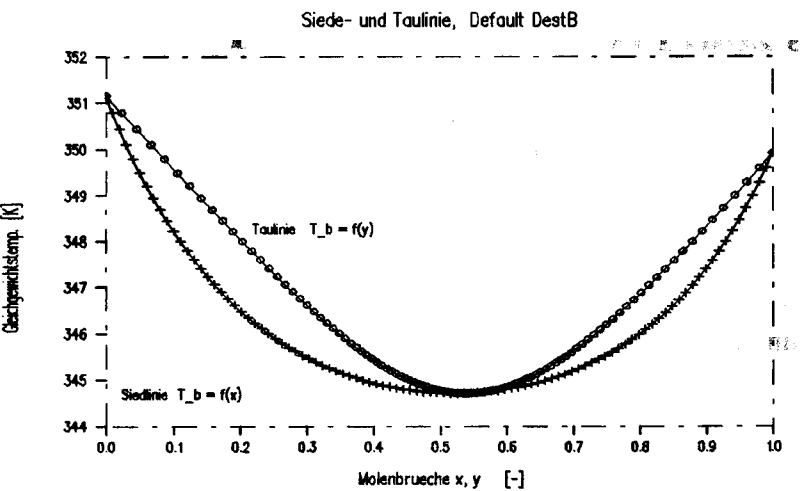


Bild 2:Beispieleiner aufgrund eines Plot-Files des Pakets TVT mit einem Fremdprogramm (Tech-Graph-Pad der Firma Binary Engineering) erzeugten Grafik.

SerieCode		ZOGG: Thermische Verfahrenstechnik	T V T	21.08.1990 / 11.39
A	Umrechnen von Zusammensetzungsmassen	ZusUm	TVT	
B	Stoffstrombilanzen für Trennapparate	StoBi		
C	Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten	WSU		
D	Wärmedurchgangskoeffizienten	WD		
E	Wärmeübertrager: Abschätzen der Oberfläche	WueAb		
F	Wärmeübertrager: Doppelrohr	WueDr	Installierte Programme	
G	Wärmeübertrager: Rohrbündel	WueRb		
H	Wärmeübertrager: Luftkühlung mit Kondensation	WueRbK		
I	Verdampfen reiner Stoffe (Behälter, Rohre)	VerR		
J	Kondensation reiner Dämpfe an Rohren	KonR		
K	Destillation von Zweistoffgemischen	DestB	Nicht installierte Programme	
L	Destillation idealer Mehrstoffgemische	DestM		
M	Eindampfen in Mehrstufenanlagen	EinDa		
N	Rektifikation in Bodenkolonnen	RekB		
O	Rektifikation in Füllkörperkolonnen	RekF		
P	Absorption in Füllkörperkolonnen	AbsF	V Informationen Z TVT-Ende	
Q	Sorptionsisothermen	SorIs		
R	Isotherme Sorption im Festbett	SorRo		
S	Kühlgrenztemperatur	TroKG		
T	Konvektionstrockner diskontinuierlich	TroFDi		
U	Konvektionstrockner kontinuierlich	TroFli		

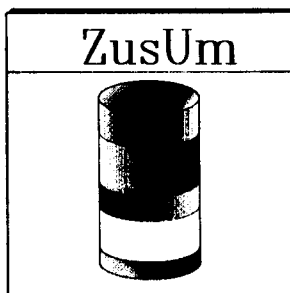
Als Besonderheit kann der Benützer bei den folgenden Programmen die Berechnungsgleichungen selbst eingeben (und zur wiederholten Verwendung selbstverständlich auch auf Files abspeichern):

- WSU Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten,
- RekB Rektifikation in Bodenkolonnen,
- RekF Rektifikation in Füllkörperkolonnen,
- AbsF Absorption in Füllkörperkolonnen.

Dies ermöglicht die Benützung eigener und den laufenden Einbau neuer Berechnungsgrundlagen. Das Paket TVT wird mit dem Buch Wärme- und Stofftransportprozesse [W+S] und einem ausführlichen Handbuch geliefert. Es kann auf jedem IBM-kompatiblen Personal Computer XT/AT/AT386 mit MS-DOS-Betriebssystem (ab Version 2.11) und wenigstens 448 kB freiem Speicherplatz betrieben werden. Zur Installation werden auf der Harddisk zirka 1 MB (nur einzelne Programme) bis 3 MB (ganzes Paket) benötigt. Ein Farbbildschirm und ein numerischer Co-Prozessor sind empfehlenswert - aber nicht Bedingung.

Programmverzeichnis

Umrechnen von Zusammensetzungsmassen

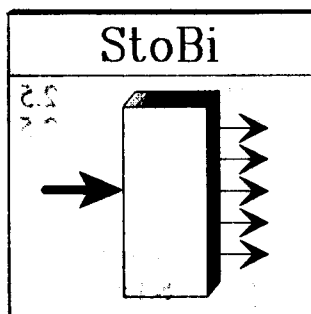


Mit diesem Programm können Sie die Zusammensetzung von Gemischen von einem gegebenen Mass in ein anderes Mass umrechnen. Die Umrechnung ist für Gemische mit bis zu fünf Komponenten für die folgenden Zusammensetzungsmasse möglich:

- Massenbruch (Massenanteil)
- Molenbruch (Molanteil, Stoffmengenanteil)
- Beladung (Massenbeladung)
- Molbeladung (Stoffmengenbeladung)
- Konzentration
- Molkonzentration (Stoffmengenkonzentration)
- Partialdruck (ideales Gasmisch)

Grundlagen: [W+S], Abschnitt 1.1

Stoffstrombilanzen für Trennapparate



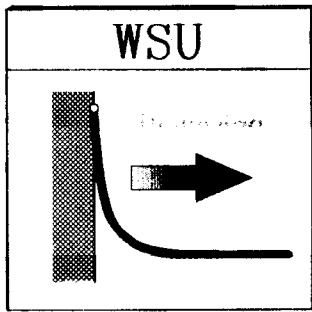
Das Programm StoBi ermittelt die aus einem Trennapparat austretenden Massen- oder Stoffmengenströme (Molströme) aus dem

- eintretenden Massen- oder Stoffmengenstrom und den
- Zusammensetzungen aller Ströme (als Massen- oder Stoffmengenanteile bzw. Massen- oder Stoffmengenbeladungen).

Die Trennung eines eintretenden Gemischstroms kann in zwei bis fünf austretende Ströme erfolgen.

Grundlagen: [W+S], Abschnitte 1.1 und 6.1.1

Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten



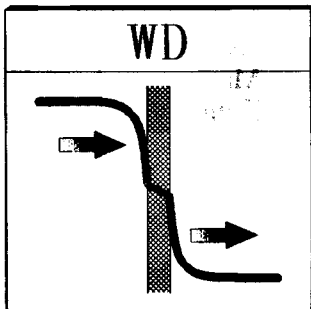
Das Programm WSU ermöglicht Ihnen, Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten bei erzwungener Konvektion aus Berechnungsunterlagen Ihrer Wahl zu bestimmen. Sie können dem Programm

- Gleichungen für die Prandtl-, Reynolds- und Nusseltzahl für den Wärmeübergang oder
- Gleichungen für die Schmidt-, Reynolds- und Sherwoodzahl für den Stoffübergang

in algebraischer Schreibweise (**Formeleingabe**) eingeben. Diese lassen sich mit den Zahlenwerten der Einflussgrößen editieren und auf Dateien abspeichern.

Grundlagen: [W+S], Abschnitt 1.4.1, Beispiele 1.7 und 1.8

Wärmedurchgangskoeffizienten



Mit diesem Programm können Sie die Wärmedurchgangskoeffizienten für Zwischenwände aus ein bis drei Schichten, beidseitig wählbare **freie oder erzwungene Konvektion** und folgende geometrische Anordnungen berechnen:

- ebene vertikale Wand,
- ebene horizontale Wand,
- vertikaler Hohlzylinder,
- horizontaler Hohlzylinder,
- vertikaler Ringspalt und
- horizontaler Ringspalt.

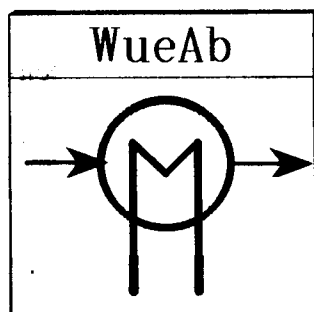
Die Stoffwerte von Wasser und Luft werden durch das Programm berechnet - jene anderer Strömungsmedien sind einzugeben.

Als Berechnungsunterlagen für die Wärmeübergangskoeffizienten werden verwendet:

- | | | | |
|--------------------------|----------------------------|---------|-------------|
| • erzwungene Konvektion: | Hohlzylinder, innen (Rohr) | [WA], | S.Gb1/5 |
| | Platte, eben | [WA], | S.Ga1/2 |
| | Ringspalt | [WA], | S.Gd1/2 |
| | Zylinder, querangeströmt | [WA], | S.Ge1 |
| | Zylinder, längsangeströmt | [WA], | S.Ga1/2 |
| • freie Konvektion: | Hohlzylinder, horizontal | [HEDH], | Abschn. 2.5 |
| | Hohlzylinder, vertikal | [HEDH], | Abschn. 2.5 |
| | Platte, eben, horizontal | [WA], | S.Fa1/4 |
| | Platte, eben, vertikal | [WA], | S.Fa1/2 |
| | Ringspalt, horizontal | [WA], | S.Fc3 |
| | Ringspalt, vertikal | [WA], | S.Fc3/4 |
| | Zylinder, horizontal | [WA], | S.Fa4 |
| | Zylinder, vertikal | [WA], | S.Fa2 |

Grundlagen: [W+S], Kapitel 1/2

Abschätzen der Oberfläche von Wärmeübertragern



Dieses Programm dient der Abschätzung der Übertragungsfläche von Wärmeübertragern

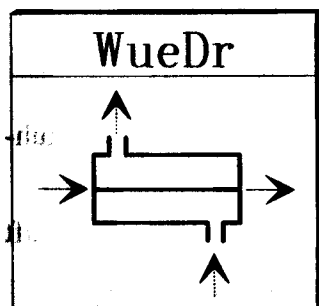
- für die Grenzfälle Gleich- und Gegenstrom und
- für eine allgemeine Stromführung.

Es löst die Wärmestrombilanz nach der unbekannten Bilanzgrösse (eine Temperatur oder ein Massenstrom) auf und bestimmt die NTU-Werte für Gleich- und Gegenstrom. Für die NTU-Werte bei allgemeiner Stromführung liefert das Programm die zum Gebrauch der Diagramme in [WA], S.Ca17 bis Ca 32 benötigten Abszissen- und Ordinatenwerte. Der Wärmedurchgangskoeffizient ist bei diesem

Programm (im Gegensatz zu den Programmen WueDr, WueRb und WueRbK) einzugeben.

Grundlagen: [W+S], Kapitel 2, Beispiele 2.2 und 2.3

Doppelrohrwärmeübertrager



Mit diesem Programm können Sie Doppelrohrwärmeübertrager für Gleich- und Gegenstrom auslegen.

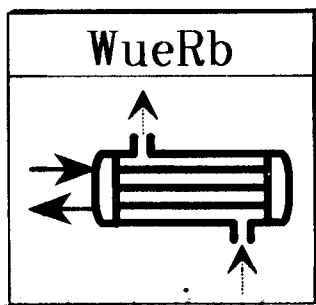
Als Berechnungsunterlagen werden benützt:

- Wärmeübergangskoeffizienten:
 - Rohr, innen [WA], S.Gb1/Gb3
 - Ringspalt [WA], S.Gd1/Gd2
- Druckverlust: [WA], S.Lb1/Lb3

Die Stoffwerte für Wasser im Temperaturbereich 0..120 °C werden durch das Programm berechnet, jene anderer Fluide sind einzugeben.

Grundlagen: [W+S], Kapitel 2

Wärmeübertrager: Rohrbündel



Dieses Programm ermöglicht Ihnen das Dimensionieren zwei- und viergängiger Rohrbündelwärmeübertrager mit fluchtender oder versetzter Rohranordnung (ohne Phasenänderung).

Die geometrischen Daten Ihrer Typenreihen können Sie in ein Text-File schreiben. Das Programm schlägt Ihnen dann für eine gewünschte Geschwindigkeit in den Rohren einen entsprechenden Typ vor. Die Verschmutzung kann durch eine innere und eine äussere Schicht auf den Rohren berücksichtigt werden.

Als Berechnungsunterlagen werden benützt:

Wärmeübergangskoeffizienten

Rohr, innen
Mantelraum

[WA], S.Gb1/Gb3
[WA], Abschnitt Gg

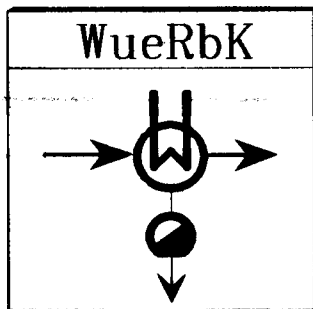
Geometrie
NTU-Wert
Druckverlust mantelseitig
Druckverlust Innenrohre

[WA], Abschnitt Ob
[WA], Abschnitt Ca
[WA], Abschnitt Ll
Paket MVT, Programm DruRo

Die Stoffwerte für Wasser im Temperaturbereich 0..120 °C werden durch das Programm berechnet, jene anderer Fluide sind einzugeben.

Grundlagen: [W+S], Kapitel 2

Luftkühlung mit Kondensation



Das Programm WueRbK dient dem Dimensionieren von Rohrbündelwärmeübertragern zur Kühlung feuchter Luft mit Kondensation von Wasserdampf.

- | | |
|-----------------|-------------------------|
| • Rohre | glatt (keine Rippen) |
| • Rohranordnung | fluchtend oder versetzt |
| • Kühlmedium | Wasser |
| • Stromführung | Kreuz-Gegenstrom |

WueRbK

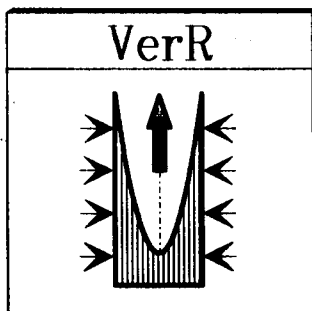
Vollständige Auslegung (einschliesslich Druckverlusten) für

- gewünschte Austrittstemperatur (benötigte Anzahl Rohrreihen und Austrittsfeuchte der abzukühlenden Luft wird berechnet) oder
- gewünschte Anzahl Rohrreihen (Austrittstemperatur und Austrittsfeuchte der abzukühlenden Luft wird berechnet)

durch numerische Lösung des gekoppelten Wärme- und Stofftransportvorgangs. Die Stoffwerte von Wasser und Luft, die Kondensatfilmdicke und die Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten werden im Programm in jedem der bis zu 240 Berechnungselemente neu errechnet.

Grundlagen: HANDBUCH, Abschnitt 2.8; [W+S], Kapitel 1, 2, 4 und 9

Verdampfen reiner Stoffe in Behältern und Rohren



Mit diesem Programm können Sie

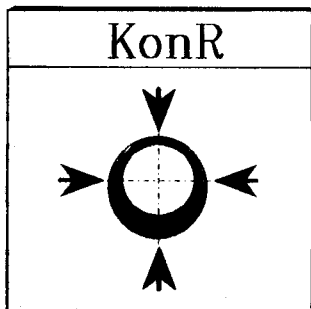
- die maximale Heizflächenbelastung und den Wärmeübergangskoeffizienten beim Behältersieden,
- den örtlichen Wärmeübergangskoeffizienten beim Verdampfen in vertikalen Rohren für gegebene Wandtemperatur,
- den örtlichen Wärmedurchgangskoeffizienten beim Verdampfen in vertikalen Rohren für gegebene Aussentemperatur und

in vertikalen Rohren (vollständige numerische Durchrechnung, äusserer Wärmeübergang konstant)

berechnen. Die Stoffwerte von Wasser im Temperaturbereich 20..120 °C werden durch das Programm errechnet. Für andere Medien sind die Stoffwerte einzugeben.

Grundlagen: [HANDBUCH], Abschn. 2.9, [W+S], Abschn. 3.2 und 3.3, Beispiele 3.1 bis 3.4

Kondensation reiner Dämpfe an Rohren

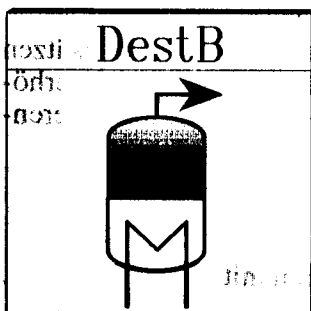


Das Programm KonR ermöglicht Ihnen für die Kondensation reiner Dämpfe an der Aussenseite horizontaler Rohre folgende Berechnungen:

- Lokaler Wärmedurchgangskoeffizient für gegebenen inneren Wärmeübergang und gegebene innere Temperatur.
- Lokaler Wärmedurchgangskoeffizient für gegebene innere Temperatur. (Berechnung des inneren (kühlmediumseitigen) Wärmeübergangskoeffizienten gemäss dem Programm WSU dieses Pakets.)
- Vollständige numerische Bestimmung des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten und des übertragenen Wärmestroms ab dem Eintritt des Kühlmediums. (Die Temperatur des Kühlwassers wird nach jedem Schritt durch eine Wärmestrombilanz neu bestimmt. Diese Rechnung liefert eine gute Basis zur Abschätzung eingängiger Kondensatoren mit horizontalen Rohren.)

Grundlagen: [W+S], Abschnitt 4.2, Beispiel 4.2
Ergänzungen zum Erfassen des Dampfströmungseinflusses: [WA], S. Ja16/Ja19

Destillation von Zweistoffgemischen



Für die Destillation binärer Gemische können Sie mit diesem Programm folgendes berechnen:

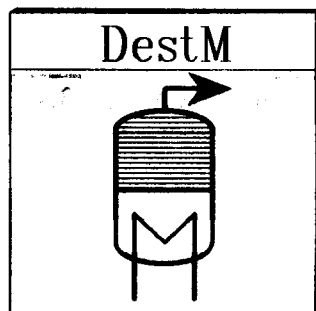
- Siede- und Taulinien bei konstantem Druck,
- Gleichgewichtslinien bei konstantem Druck (x-y-Diagramm),
- relative Flüchtigkeit bei konstantem Druck.

Die Dampfdrücke der beiden Komponenten werden mit der Antoine-Gleichung berechnet. Zur Erfassung des realen Verhaltens des Gemisches werden die Aktivitätskoeffizienten der beiden Komponenten mit einem Polynomansatz in Abhängigkeit des Molanteils der leichter flüchtigen Komponente angenähert:

$$\ln(\gamma_i) = c_{-gam0i} + c_{gam1i} x_1 + c_{gam2i} x_1^2 + c_{gam3i} x_1^3$$

Grundlagen: [W+S], Abschnitt 5.1, Beispiel 5.3

Destillation idealer Mehrstoffgemische



Das Programm DestM berechnet

- die Siedetemperaturen und
- die Zusammensetzung des Dampfgemisches

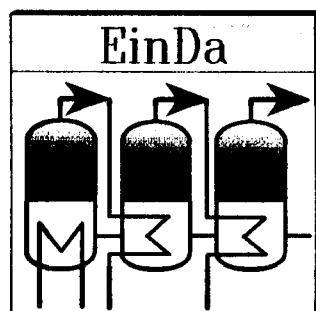
nach 1 bis 100 Destillationen bei konstantem Druck.

Bei der Mehrfachdestillation wird davon ausgegangen, dass jeweils aus einem grossen Volumen des Ausgangsgemisches nur ein verschwindend kleiner Teil destilliert wird (—> keine Änderung der

Zusammensetzung während einer Destillation). Zur Bestimmung der Dampfdrücke müssen Sie die Konstanten der Antoine-Gleichung für jede Komponente eingeben.

Grundlagen: [W+S], Abschnitt 5.1, Beispiele 5.1 und 5.2

Eindampfen in Mehrstufenanlagen



Dieses Programm erlaubt Ihnen die Auslegung von Gleichstrom-Mehrstufeneindampfanlagen mit bis zu zehn Stufen (nach [W+S], Bild 5.14, ohne Zulaufvorwärmung).

Die Wärmedurchgangskoeffizienten für die einzelnen Verdampfer sind einzugeben. Die Berechnung kann für

- gleiche Wärmeübertragungsflächen in allen Stufen (baugleiche Verdampfer) oder
- gleiche Temperaturdifferenzen in allen Stufen

durchgeführt werden.

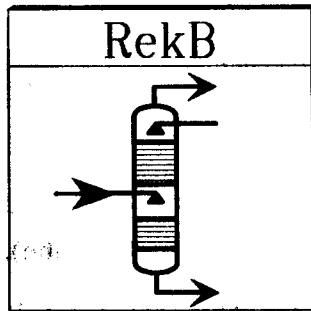
Die benötigten Stoffwerte werden zur Erfassung der Temperaturabhängigkeit mit Polynomansätzen eingegeben. Die Berechnungen können mit oder ohne Berücksichtigung der Siedetemperaturerhöhung (Polynomansatz für Aktivitätskoeffizienten) infolge der Anwesenheit der aufzukonzentrierenden Komponente durchgeführt werden.

Vereinfachende Annahmen: 1. keine Wärmeverluste

2. Brüden reissen keine Flüssigkeit mit

Grundlagen: [W+S], Abschnitt 5.3, HANDBUCH

Rektifikation in Bodenkolonnen



Dieses Programm umfasst eine vollständige Auslegung von Bodenkolonnen zur Rektifikation binärer Gemische.

Verstärkungs- und Abtriebsteil können in mehrere Abschnitte unterteilt werden. Nur innerhalb dieser Abschnitte wird mit konstanten Stoffwerten gerechnet. Die Temperaturabhängigkeit der Stoffwerte wird in der Form von Polynomen erfasst. Die Bestimmung der Dampfdrücke erfolgt mit der Antoine-Gleichung. Zur Erfassung des realen Verhaltens des Gemisches werden die Aktivitätskoeffizienten in Abhängigkeit der leichter flüchtigen Komponente durch den beim Programm DestB wiedergegebenen Polynomansatz angenähert.

Für die Bestimmung des minimalen Kolonnendurchmessers und des integralen Bodenverstärkungsverhältnisses können Sie Gleichungen aus der Literatur oder aus eigenen Untersuchungen eingeben (**Formeleingabe**).

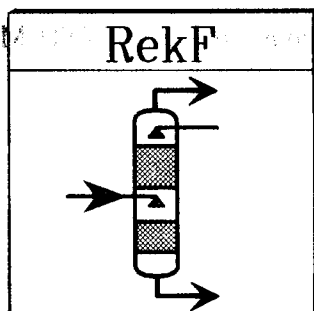
Der minimale Kolonnendurchmesser wird für den Verstärkungs- und den Abtriebsteil getrennt berechnet. Sie können anschliessend einen geeigneten Kolonnendurchmesser eingeben.

Damit der sich in der Kolonne ändernde Druck in der Berechnung berücksichtigt werden kann (die Stoffwerte und Gleichgewichtsdaten werden abschnittsweise berechnet), wird der Druckverlust pro Trennstufe mit einem Polynomansatz in Abhängigkeit des F-Faktors bestimmt.

Die Berechnung der Kolonne wird zunächst für konstanten Druck (= Kopfdruck) durchgeführt. Nach der ersten Durchrechnung werden die sich in der Kolonne ergebenden neuen Drücke bestimmt. Damit wird eine neue Kolonnenhöhe ermittelt. Die Rechnung wird dann solange wiederholt, bis sich keine Druckänderungen in der Kolonne mehr ergeben. Die Ergebnisse werden für den Verstärkungsteil und den Abtriebsteil getrennt ausgegeben.

Grundlagen: [W+S], Kapitel 6, Beispiele 6.1 bis 6.7

Rektifikation in Füllkörperkolonnen



Das Programm RekF erlaubt Ihnen das vollständige Auslegen von Füllkörperkolonnen zur Rektifikation binärer Gemische mit der HTU-NTU-Methode. Es kann mit und ohne **Formeleingabe** betrieben werden und erlaubt Ihnen die Auswahl zwischen unterschiedlichen Berechnungsmethoden für den Kolonnendurchmesser und die Stoffübergangskoeffizienten.

Verstärkungs- und Abtriebsteil können in mehrere Abschnitte unterteilt werden. Nur innerhalb dieser Abschnitte wird mit konstanten Stoffwerten, Strömen, Stoffübergangskoeffizienten und Steigungen der Gleichgewichtslinie gerechnet. Die Temperaturabhängigkeit der Stoffwerte wird in der Form von Polynomen erfasst. Die Bestimmung der Dampfdrücke erfolgt mit der Antoine-Gleichung. Zur Erfassung des realen Verhaltens des Gemisches werden die Aktivitätskoeffizienten in Abhängigkeit der leichter flüchtigen Komponente durch den beim Programm DestB wiedergegebenen Polynomansatz angenähert.

Sie können aus den folgenden Berechnungselementen wählen:

Kolonnendurchmesser:

- Füllkörperschüttungen mit [W+S], Gleichungen (6.39) bis (6.44) ,
- aus einem einzugebendem F-Faktor oder
- Packungen, Vakuumrektifikation: [W+S], Gleichungen (6.45) bis (6.49).

Stoffübergangskoeffizienten:

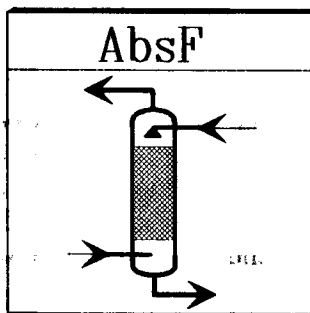
- Füllkörperschüttungen aus [W+S], Gleichungen (6.85) bis (6.91) oder
- Eingabe von Berechnungsgleichungen in algebraischer Schreibweise (**Formeleingabe**).

Der minimale Kolonnendurchmesser wird für den Verstärkungs- und den Abtriebsteil mit dem Berechnungselement Ihrer Wahl getrennt berechnet. Sie können anschliessend einen geeigneten Kolonnendurchmesser eingeben.

Damit der sich in der Kolonne ändernde Druck in der Berechnung berücksichtigt werden kann (die Stoffwerte, Gleichgewichtsdaten und Übergangskoeffizienten werden abschnittsweise berechnet), wird der auf die Füllkörperhöhe bezogene Druckverlust mit einem Polynomansatz in Abhängigkeit des F-Faktors bestimmt.

Die Berechnung der Kolonne wird zunächst für konstanten Druck (= Kopfdruck) durchgeführt. Nach der ersten Durchrechnung werden die sich in der Kolonne ergebenden neuen Drücke bestimmt. Damit wird eine neue Kolonnenhöhe ermittelt. Die Rechnung wird dann solange wiederholt, bis sich keine Druckänderungen in der Kolonne mehr ergeben. Auf Wunsch erhalten Sie während der Durchrechnung am Bildschirm ein ausführliches Protokoll der Zwischenergebnisse für alle Abschnitte. Die Schlussergebnisse werden für den Verstärkungsteil und den Abtriebsteil getrennt wiedergegeben.

Grundlagen: [W+S], Kapitel 6, Beispiele 6.1 bis 6.3 und 6.8 bis 6.12

Absorption in Füllkörperkolonnen

Mit diesem Programm können Sie ideal isolierte Füllkörperkolonnen zur physikalischen Absorption dimensionieren. Es berücksichtigt den bei der Absorption auftretenden Wärmeeffekt.

Die Berechnung der Füllkörperhöhe erfolgt mit der HTU-NTU-Methode.

Dieses Programm ermöglicht Ihnen die Auswahl unterschiedlicher Berechnungsmethoden für den Kolonnendurchmesser und die Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten:

Kolonnendurchmesser:

- Füllkörperschüttungen mit [W+S], Gleichungen (6.39) bis (6.44),
- aus einem einzugebendem F-Faktor.

Stoffübergangskoeffizienten:

- Füllkörperschüttungen mit [W+S], Gleichungen (6.85) bis (6.91) oder
- Eingabe eigener Berechnungsgleichungen in algebraischer Schreibweise (**Formeleingabe**).

Kolonnendurchmesser:

- Füllkörperschüttungen mit [W+S], Gleichungen (6.39) bis (6.44) ,
- aus einem einzugebendem F-Faktor oder
- Packungen, Vakuumrektifikation: [W+S], Gleichungen (6.45) bis (6.49).

Stoffübergangskoeffizienten:

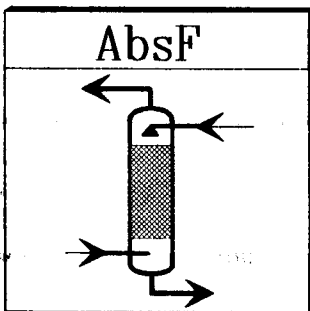
- Füllkörperschüttungen aus [W+S], Gleichungen (6.85) bis (6.91) oder
- Eingabe von Berechnungsgleichungen in algebraischer Schreibweise (**Formeleingabe**).

Der minimale Kolonnendurchmesser wird für den Verstärkungs- und den Abtriebsteil mit dem Berechnungselement Ihrer Wahl getrennt berechnet. Sie können anschliessend einen geeigneten Kolonnendurchmesser eingeben.

Damit der sich in der Kolonne ändernde Druck in der Berechnung berücksichtigt werden kann (die Stoffwerte, Gleichgewichtsdaten und Übergangskoeffizienten werden abschnittsweise berechnet), wird der auf die Füllkörperhöhe bezogene Druckverlust mit einem Polynomansatz in Abhängigkeit des F-Faktors bestimmt.

Die Berechnung der Kolonne wird zunächst für konstanten Druck (= Kopfdruck) durchgeführt. Nach der ersten Durchrechnung werden die sich in der Kolonne ergebenden neuen Drücke bestimmt. Damit wird eine neue Kolonnenhöhe ermittelt. Die Rechnung wird dann solange wiederholt, bis sich keine Druckänderungen in der Kolonne mehr ergeben. Auf Wunsch erhalten Sie während der Durchrechnung am Bildschirm ein ausführliches Protokoll der Zwischenergebnisse für alle Abschnitte. Die Schlussergebnisse werden für den Verstärkungsteil und den Abtriebsteil getrennt wiedergegeben.

Grundlagen: [W+S], Kapitel 6, Beispiele 6.1 bis 6.3 und 6.8 bis 6.12

Absorption in Füllkörperkolonnen

Mit diesem Programm können Sie ideal isolierte Füllkörperkolonnen zur physikalischen Absorption dimensionieren. Es berücksichtigt den bei der Absorption auftretenden Wärmeeffekt.

Die Berechnung der Füllkörperhöhe erfolgt mit der HTU-NTU-Methode.

Dieses Programm ermöglicht Ihnen die Auswahl unterschiedlicher Berechnungsmethoden für den Kolonnendurchmesser und die Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten:

Kolonnendurchmesser:

- Füllkörperschüttungen mit [W+S], Gleichungen (6.39) bis (6.44),
- aus einem einzugebendem F-Faktor.

Stoffübergangskoeffizienten:

- Füllkörperschüttungen mit [W+S], Gleichungen (6.85) bis (6.91) oder
- Eingabe eigener Berechnungsgleichungen in algebraischer Schreibweise (**Formeleingabe**).

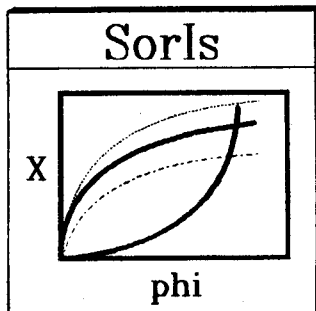
Da sich längs der Absorptionskolonne Temperatur und Zusammensetzung in beiden Phasen ändern, ist eine Unterteilung der Kolonne in mehrere Berechnungsabschnitte erforderlich. Der Henry-Koeffizient wird im interessierenden Temperaturbereich durch einen Polynomansatz erfasst.

Der minimale Kolonnendurchmesser wird für den Sumpf, die Mitte und den Kopf mit dem Berechnungselement Ihrer Wahl getrennt berechnet. Sie können anschliessend einen geeigneten Kolonnendurchmesser eingeben.

Die in [W+S], Kap. 7 ausführlich gezeigte Rechnung ist infolge der Koppelung von Wärme- und Stofftransport aufwendig. Auf Wunsch erhalten Sie während der Durchrechnung am Bildschirm ein ausführliches Protokoll der Zwischenergebnisse für alle Abschnitte.

Grundlagen: [W+S], Abschnitte 7.5 und 7.6, Beispiel 7.6

Sorptionsisothermen



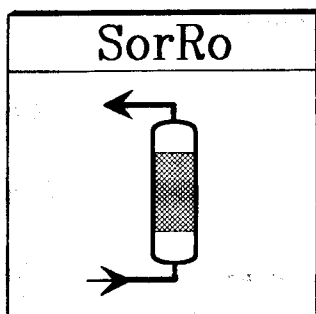
Für das rechnerische Auslegen von Sorptionsverfahren oder von Trocknern benötigt man Näherungsgleichungen für den Verlauf der Sorptionsisothermen. Mit Hilfe dieses Programms können Sie für Wertepaare experimentell bestimmter Sorptionsisothermen die Parameter der folgenden Näherungsgleichungen bestimmen:

- Potenzansatz (Freundlich)
- Ansatz von Brunauer-Emmet-Teller (BET-Gleichung)

Als Ergebnis liefert das Programm nebst den Parametern der Freundlich- und der BET-Gleichung die mittleren relativen Abweichungen von diesen Näherungen. Weiter ermittelt das Programm die molare Bindungswärme und die molare Sorptionswärme

Grundlagen: HANDBUCH; [W+S], Abschnitt 8.2

Isotherme Sorption im Festbett



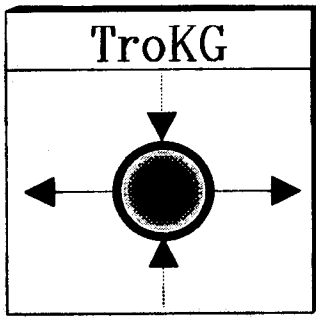
Das Programm SorRo erlaubt Ihnen das Auslegen der isothermen Sorption in absatzweise arbeitenden Festbetsorbern nach ROSEN.

Sorptionsisotherme: Annäherung durch Gerade.
Fluidseitiger Stoffübergang für kugelähnliche Teilchen.

Die Berechnung der zeitlichen Abhängigkeit der Sorptivkonzentration am Austritt aus dem Festbetsorber wird in [W+S], Abschnitt 8.5 ausführlich beschrieben.

Grundlagen: [W+S], Abschnitt 8.5, Beispiel 8.3

Kühlgrenztemperatur

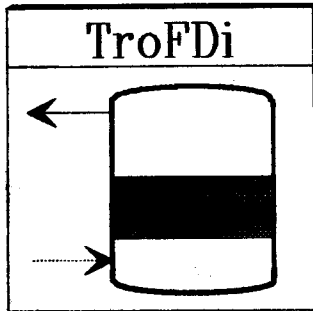


Dieses Programm berechnet Ihnen die Kühlgrenztemperatur für das System Wasser/Luft oder ein beliebiges Stoffsystem in Abhängigkeit von Druck, Temperatur und relativer Feuchtigkeit der Gasphase.

Falls Sie für ein beliebiges Stoffsystem rechnen, sind die Stoffwerte zur Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit über Polynomansätze einzugeben. Für den Dampfdruck und den Diffusionskoeffizienten werden die in [W+S] angegebenen Beziehungen benützt.

Grundlagen: [W+S], Abschnitt 9.1, Beispiel 9.1

Diskontinuierlicher Konvektionstrockner (Flieβbett)



Das Programm TroFDi simuliert einen diskontinuierlich arbeitenden Fest- oder Flieβbettstrockner nach [MVT], Bild 5.2 als gekoppelten Wärme- und Stofftransportprozess. Eine zusätzliche direkte Wärmezufuhr im Trockner ist möglich.

- Trocknungsgas Luft
- Feuchtigkeit Wasser
- Teilchengometrie kugelähnlich

Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten aus [W+S], Gln.(1.60/1.62), Berechnungsweg: Numerisch nach [W+S], Abschnitte 9.4.1 und 9.4.2

Berechnungsannahmen:

1. Vollständige Durchmischung des Feststoffs im Trockner. (-> Bei Festbetten sind die Simulationsergebnisse nur als grobe Näherung aufzufassen. Sie sind umso genauer, je geringer die Festbetthöhe ist.)
2. Die Teilchengröße (gleichwertiger Kugeldurchmesser) bleibt während dem Trocknen hinreichend konstant.

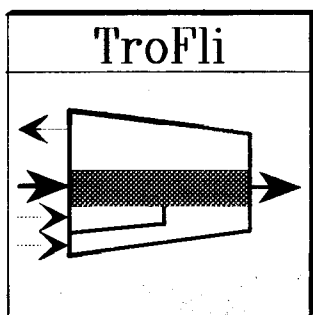
Die Simulation kann den ersten (Gut oberflächenfeucht) wie auch den zweiten Trocknungsabschnitt (Trocknung aus dem Inneren des Guts) umfassen. Die Sorptionsisotherme im zweiten Trocknungsabschnitt ist aus den im Programm SorIs erörterten Näherungsgleichungen auszuwählen. Die Stoffwerte werden temperaturabhängig eingegeben. Nebst der Verdampfungswärme wird auch die Bindungswärme berücksichtigt. Auch eine Partialdruckerniedrigung infolge gelöster Stoffe lässt sich in die Rechnung einbeziehen.

Zur Überprüfung des Diskretisationsfehlers kann der Zeitschritt für die numerische Rechnung verändert werden.

Das Simulationsprogramm ermöglicht die Erfassung einer auf die Anströmfläche bezogenen Zusatzwärmestromzufuhr im Trockner. Durch die Angabe des davon direkt ans Gut übergehenden Anteils kann auch eine Kontaktstrocknung angenähert werden.

Grundlagen: [W+S], Abschnitt 9.4

Kontinuierlicher Konvektionstrockner (Fließbett)



Das Programm TrofLi simuliert einen kontinuierlich arbeitenden Fest- oder Fließbettstrockner nach [W+S], Bild 9.13 als gekoppelten Wärme- und Stofftransportprozess. Es können ein oder zwei Trocknerteile (zweiter Trocknerteil als Kühler) erfasst werden. Im ersten Teil ist eine zusätzliche Wärmezufuhr direkt im Trockner möglich.

- Trocknungsgas Luft
- Feuchtigkeit Wasser
- Teilchengometrie kugelähnlich

Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten aus [W+S], Gln.(1.60/1.62). Berechnungsweg: Numerisch nach [W+S], Abschnitte 9.4.1 und 9.4.2 und Bild 9.19.

Berechnungsannahmen:

1. Vollständige Durchmischung des Feststoffs in einer Berechnungszelle. (-> Bei Festbetten sind die Simulationsergebnisse nur als grobe Näherung aufzufassen. Sie sind umso genauer, je geringer die Festbetthöhe ist.)
2. Die Teilchengröße (gleichwertiger Kugeldurchmesser) bleibt während dem Trocknen hinreichend konstant.

Die Simulation kann den ersten (Gut oberflächenfeucht) wie auch den zweiten Trocknungsabschnitt (Trocknung aus dem Inneren des Guts) umfassen. Die Sorptionsisotherme im zweiten Trocknungsabschnitt ist aus den im Programm SorIs erörterten Näherungsgleichungen auszuwählen. Die Stoffwerte werden temperaturabhängig eingegeben. Nebst der Verdampfungswärme wird auch die Bindungswärme berücksichtigt. Auch eine Partialdruckerniedrigung infolge gelöster Stoffe lässt sich in die Rechnung einbeziehen.

Das Simulationsprogramm ermöglicht die Erfassung einer auf die Anströmfläche bezogenen Zusatzwärmestromzufuhr im Trockner. Durch die Angabe des davon direkt ans Gut übergehenden Anteils kann auch eine Kontakttrocknung angenähert werden. Das Verhältnis von Länge zu Höhe eines Berechnungselements (Element mit völliger Vermischung) kann innerhalb sinnvoller Grenzen variiert werden.

Grundlagen: [W+S], Abschnitt 9.4, Beispiele 9.2 und 9.3

Quellen

- [HANDBUCH] Zogg,M: Handbuch zum Programmpaket TVT (Thermische Verfahrenstechnik), Zogg, Kirchstutz 3, CH-3414 Oberburg 1990
- [HEDH] Heat Exchanger Design Handbook, Rev.1986, Hemisphere Publishing Corporation, VDI-Verlag, Düsseldorf 1986.
- [MVT] Zogg,M: Einführung in die Mechanische Verfahrenstechnik, 2.Aufl., B.G. Teubner, Stuttgart 1987.
- [WA] VDI-Wärmeatlas, 5.Auflage, VDI-Verlag Düsseldorf, 1988.
- [W+S] Zogg,M: Wärme- und Stofftransportprozesse (Einführung in die Thermische Verfahrenstechnik), Otto Salle Verlag, Frankfurt / Berlin / München und Verlag Sauerländer Aarau / Frankfurt / Salzburg, 1983.