

Verifikation des MESK-Programmes

(Version 3.07 von April 2009)

Autor: Dr. Gottfried Class
Datum: 1. April 2009

Verifikation des MESK-Programmes	1
Zusammenfassung	3
Versuche von Mizushina et al. [1]	4
Versuch M 1.....	5
Versuch M 2.....	6
Versuch M 3.....	8
Versuch M 4.....	9
Versuch M 5.....	11
Versuch M 6.....	13
Versuch M 7.....	14
Versuch M 8.....	16
Versuch M 11.....	17
Versuch M 12.....	19
Versuch M 13.....	20
Versuch M 14.....	22
Versuch M 15.....	24
Versuch M 16.....	25
Versuch M 17.....	27
Versuch M 18.....	28
Versuch M 19.....	30
Versuch M 41.....	32
Versuch M 42.....	33
Versuch M 43.....	35
Versuch M 44.....	37
Versuch M 45.....	38
Versuch M 46.....	40
Zusammenfassung der Nachrechnung der Mizushina-Experimente [1].....	42
Versuche von Panagoulis [2]	43
Versuch P 001.....	45
Versuch P 002.....	47
Versuch P 003.....	49
Versuch P 008.....	51
Versuch P 101.....	52
Versuch P 102.....	54
Versuch P 103.....	56
Versuch P 104.....	58
Zusammenfassung der Nachrechnung der Panagoulis-Experimente [2].....	60
Schrifttum	61

Zusammenfassung

Es werden verfügbare Experiment-Daten mit dem Kondensationsprogramm MESK Version 3.07 nachgerechnet und die Ergebnisse dokumentiert.

An experimentellen Daten stehen zur Verfügung:

- 1.) Mizushina et al. [1]
Einrohr-Versuche
- 2.) Panagoulas [2]
Rohrbündel im halbtechnischen Maßstab

Seit dem Jahr 2000 hat das Programm MESK mehrfache Ergänzungen und Korrekturen erfahren. Die aktuell vorgelegte Nachrechnung der angegebenen experimentellen Daten wurde mit den Original-Dateien des Jahres 2000 nochmals vollständig neu durchgeführt und gibt den aktuellen Stand von MESK (April 2009) wieder. Als einzige Änderung an den Original-MESK-Dateien vom Jahre 2000 wurde bei den Experimenten von Panagoulas [2] die Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials auf den in [2] angegebenen originalen Wert zurückgesetzt.

Beim Vergleich mit dem Bericht [3] des Autors vom Jahr 2000 ist festzustellen, daß sich an der Übereinstimmung zwischen den Experimentdaten und den MESK-Ergebnissen nicht allzuviel verändert hat. Die Übereinstimmung zwischen Experiment und Nachrechnung hat sich nochmals verbessert und ist mindestens als gut zu bewerten.

Versuche von Mizushina et al. [1]

Es handelt sich um folgende Versuche:

Nr. 1 bis 8 (Luft-Methanol-Wasser),

Nr. 11 bis 19 (Luft-Methanol-Benzol)

Nr. 41 bis 46 (Luft-Azeton-Methanol-Wasser).

Es gibt noch die Versuche Nr. 21 (Luft-Benzol-Wasser) und Nr. 31 (Luft-Toluol-Wasser); wegen der Anwesenheit von Luft zusammen mit dem Auftreten der **Mischungslücke** in beiden Systemen können diese Experimente allerdings mit MESK nicht nachgerechnet werden.

Die molare Dampfbzusammensetzung ergibt sich aus den angegebenen Teildrücken der Komponenten, deren Summe stets 760 [mmHg] (=1,0133 bar) ist. Der Massenstrom des Dampfes ist in [kg/h] gegeben und für die verschiedenen Versuche unterschiedlich, wie auch die in [°C] gegebene Eintrittstemperatur. Ebenso verhält es sich beim Massenstrom und der Eintrittstemperatur des Kühlmittels. Als Versuchsergebnis ist lediglich „Vapour to be condensed [mole per cent]“, also der kondensierte molare Anteil des eintretenden Dampfgemisches angegeben. Diese Angabe wird als Ergebnis der MESK-Berechnungen stets direkt mit ausgegeben

Die Kondensation des Dampfes erfolgt innen in einem Kupferrohr (ohne Angabe der Wärmeleitfähigkeit, angenommen wurden hier 360 [W/(m·K)]) mit dem Außendurchmesser von 28,6 [mm] und einem Innendurchmesser von 21,9 [mm]. Die effektive Rohrlänge betrug 1,860 [m]. Dieses Kupferrohr befand sich in einem Rohr aus PVC mit einem inneren Durchmesser von 51,5 [mm]. Durch den Ringspalt zwischen beiden Rohren strömte das Kühlwasser im Gegenstrom.

Die Frage, ob es sich um einen Fallfilm-Kondensator handelt (Dampf und Kondensat fließen beide abwärts), kann aus [1] nur indirekt beantwortet werden. Es wurde nämlich in [1] für die dort durchgeführten vereinfachten Berechnungen angenommen, daß das austretende Gasgemisch sich im Gleichgewicht mit einem Kondensat befindet, das dieselbe Zusammensetzung hat wie der eintretende Dampf (Totalkondensation, ohne Berücksichtigung des Inertgases). Daraus ist zu schließen, daß es sich einwandfrei um einen Fallfilm-Kondensator handelt.

Mit dem Programm **MESK** kann ein Einrohr-Kondensator nicht direkt modelliert werden. Es wurde stattdessen eine 19-Rohr-Anordnung (mit den originalen Rohrabmessungen) gewählt, bei der der hydraulische Durchmesser der Anordnung auf denselben Wert wie im Experiment (= 22,9 mm) eingestellt wurde. Es wurde eine versetzte (60°) Rohranordnung mit einer Rohrteilung von 36,548 mm gewählt. Der Manteldurchmesser wurde dabei auf 270 mm eingestellt. Mit diesen Daten ist eine sehr gute Annäherung der hydraulischen Daten an die experimentellen Bedingungen sichergestellt.

Im folgenden werden die ausgewerteten Versuche einzeln dargestellt und zu jedem Versuch das vollständige MESK-Haupt-Protokoll wiedergegeben., danach folgt eine zusammenfassende Darstellung und Diskussion der Rechenergebnisse.

Versuch M 1

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	74,15 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	68,5 [Mol%]
Differenz	+8,25 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
 Job Ident:
 Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
 Versuch 1
 File: MIZU_1.JBB

Bauart 400
 vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
 Rohrlänge 1,860 [m]
 Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
 Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
 Leistung des Kondensators 82,789 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,10091 [kg/s] (363,28 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,04513 [kg/s] (162,47 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 74,15 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 101227,6 [Pa]
 Dampf Druckverlust 102,4 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 13,708 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 5,819 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 79,700 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 54,971 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
26,09	57,73	24,77	55,37	Stickstoff
63,37	38,64	68,80	42,39	Methanol
10,54	3,64	6,43	2,24	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...

...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
 Kondensatmassenstrom Austritt 0,05578 [kg/s] (200,80 [kg/h])
 Kondensattemperatur Austritt 32,364 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	83,77	-----	90,17	Methanol
-----	16,23	-----	9,83	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung	Wasser
Kühlmittelzustand	flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt	10,76667 [kg/s] (38760,01 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	89,7 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	0,240 [m/s]
Kühlmittel Re	16888,323 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	1888,126 [W/m ² K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	19,900 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	21,739 [°C]

Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Temp [°C]	2	3
46,62	1,0058	1,4768
44,89	1,0049	1,4821
41,70	1,0035	1,4888
38,61	1,0021	1,4952
36,04	1,0008	1,5012
33,96	0,9997	1,5062
32,35	0,9987	1,5108

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Druck [Pa]	2	3
101051	1,0448	1,3462
101023	1,0397	1,3638
101001	1,0354	1,3812
100985	1,0315	1,3985
100972	1,0281	1,4158
100962	1,0251	1,4326
100955	1,0227	1,4464

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 2

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	79,33 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	72,9 [Mol%]
Differenz	+8,82 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
Job Ident:
Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
Versuch 2
File: MIZU_2.JBB

Bauart 400
vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
Rohrlänge 1,860 [m]
Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]

Leistung des Kondensators 86,756 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,09146 [kg/s] (329,27 [kg/h])
Dampfmassenstrom Austritt 0,03302 [kg/s] (118,87 [kg/h])
kondensierter Dampfanteil molar 79,33 [Mol%]
Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
Dampfdruck Austritt 101256,9 [Pa]
Dampf Druckverlust 73,1 [Pa]
Dampfgeschwindigkeit Eintritt 12,401 [m/s]
Dampfgeschwindigkeit Austritt 4,269 [m/s]
Dampftemperatur Eintritt 79,500 [°C]
Dampftemperatur Austritt 56,488 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
19,83	54,48	18,83	52,17	Stickstoff
67,70	41,28	73,55	45,22	Methanol
12,47	4,24	7,62	2,61	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...

...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
Kondensatmassenstrom Austritt 0,05844 [kg/s] (210,39 [kg/h])
Kondensattemperatur Austritt 32,188 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	82,82	-----	89,55	Methanol
-----	17,18	-----	10,45	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung Wasser
Kühlmittelzustand flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt 10,76667 [kg/s] (38760,01 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt 100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen) 89,8 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit 0,239 [m/s]
Kühlmittel Re 16427,703 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl 1869,725 [W/m²K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt 18,700 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt 20,626 [°C]

Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten

Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.	
	2	3
49,21	1,0069	1,4701
47,15	1,0059	1,4757
43,34	1,0045	1,4828
39,99	1,0031	1,4892
37,32	1,0018	1,4953
34,41	1,0004	1,5010
32,14	0,9991	1,5059

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Komponente Nr.

Druck [Pa]	2	3
101052	1,0519	1,3242
101029	1,0457	1,3427
101014	1,0403	1,3615
101003	1,0355	1,3808
100994	1,0313	1,4002
100988	1,0278	1,4184
100984	1,0252	1,4325

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 3

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	73,30 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	71,6 [Mol%]
Differenz	+2,37 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
 Job Ident:
 Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
 Versuch 3
 File: MIZU_3.JBB

Bauart 400
 vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
 Rohrlänge 1,860 [m]
 Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
 Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
 Leistung des Kondensators 41,947 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,06117 [kg/s] (220,21 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,03497 [kg/s] (125,89 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 73,30 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 101279,0 [Pa]
 Dampf Druckverlust 51,0 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 8,596 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 4,450 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 83,200 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 45,262 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
42,17	73,20	40,84	71,43	Stickstoff
47,72	24,04	52,86	26,84	Methanol
10,11	2,76	6,30	1,73	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
 ...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
 Kondensatmassenstrom Austritt 0,02619 [kg/s] (94,30 [kg/h])

Kondensattemperatur Austritt 22,570 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	79,90	-----	87,61	Methanol
-----	20,10	-----	12,39	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung	Wasser
Kühlmittelzustand	flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt	10,71389 [kg/s] (38570,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	89,0 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	0,238 [m/s]
Kühlmittel Re	15607,718 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	1740,547 [W/m²K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	17,000 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	17,936 [°C]

Kondensator zu 63,9 [%] stoffübergangskontrolliert
Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.	
	2	3
33,15	1,0107	1,4302
31,40	1,0087	1,4363
28,93	1,0063	1,4434
26,78	1,0040	1,4507
25,05	1,0019	1,4578
23,58	1,0001	1,4646
22,53	0,9988	1,4698

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt
Komponente Nr.

Druck [Pa]	Komponente Nr.	
	2	3
101054	1,0820	1,2824
101042	1,0726	1,3017
101032	1,0638	1,3213
101023	1,0558	1,3409
101016	1,0486	1,3597
101010	1,0423	1,3777
101006	1,0375	1,3924

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 4

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	82,50 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	77,8 [Mol%]
Differenz	+6,04 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
Job Ident:
Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
Versuch 4

File: MIZU_4.JBB

Bauart 400
vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
Rohrlänge 1,860 [m]
Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
Leistung des Kondensators 100,945 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,09505 [kg/s] (342,19 [kg/h])
Dampfmassenstrom Austritt 0,02752 [kg/s] (99,07 [kg/h])
kondensierter Dampfanteil molar 82,50 [Mol%]
Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
Dampfdruck Austritt 101260,5 [Pa]
Dampf Druckverlust 69,5 [Pa]
Dampfgeschwindigkeit Eintritt 13,031 [m/s]
Dampfgeschwindigkeit Austritt 3,600 [m/s]
Dampf Temperatur Eintritt 82,000 [°C]
Dampf Temperatur Austritt 61,215 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
13,88	47,94	13,26	45,81	Stickstoff
70,71	46,41	77,27	50,72	Methanol
15,41	5,65	9,47	3,47	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...

...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
Kondensatmassenstrom Austritt 0,06754 [kg/s] (243,13 [kg/h])
Kondensattemperatur Austritt 34,162 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	80,61	-----	88,09	Methanol
-----	19,39	-----	11,91	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung Wasser
Kühlmittelzustand flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt 10,71389 [kg/s] (38570,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt 100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen) 88,9 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit 0,238 [m/s]
Kühlmittel Re 16171,407 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl 1875,620 [W/m²K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt 18,100 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt 20,352 [°C]

Kondensator zu 22,2 [%] wärmeübergangskontrolliert

Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten

Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Temp [°C]	2	3

54,01	1,0107	1,4504
51,85	1,0095	1,4576
47,70	1,0078	1,4666
43,95	1,0062	1,4745
40,62	1,0045	1,4817
37,04	1,0028	1,4883
34,15	1,0013	1,4936

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Druck [Pa]	2	3
101052	1,0703	1,2853
101028	1,0613	1,3049
101013	1,0533	1,3251
101002	1,0464	1,3461
100996	1,0403	1,3675
100991	1,0354	1,3874
100987	1,0321	1,4026

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 5

Rechnung:	kondensierter molarer Dampfanteil	80,35 [Mol%]
Messung:	kondensierter molarer Dampfanteil	77,9 [Mol%]
Differenz		+3,15 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
 Job Ident:
 Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
 Versuch 5
 File: MIZU_5.JBB

Bauart 400
 vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
 Rohrlänge 1,860 [m]
 Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
 Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
 Leistung des Kondensators 93,487 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,08883 [kg/s] (319,77 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,03841 [kg/s] (138,28 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 80,35 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 101243,5 [Pa]
 Dampf Druckverlust 86,5 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 13,760 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 5,173 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 87,000 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 55,289 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	Komponente
26,38	64,58	27,96	64,65	Stickstoff

41,22	25,02	49,96	28,65	Methanol
32,40	10,40	22,08	6,70	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
 ...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt	0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
Kondensatmassenstrom Austritt	0,05042 [kg/s] (181,50 [kg/h])
Kondensattemperatur Austritt	26,847 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	Komponente
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	52,41	-----	66,20	Methanol
-----	47,59	-----	33,80	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung	Wasser
Kühlmittelzustand	flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt	10,71389 [kg/s] (38570,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	89,1 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	0,238 [m/s]
Kühlmittel Re	15122,226 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	1804,385 [W/m²K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	15,400 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	17,485 [°C]

Kondensator zu 13,9 [%] stoffübergangskontrolliert
 Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
 Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Temp [°C]	2	3
48,33	1,1257	1,2069
44,64	1,1128	1,2193
39,63	1,0982	1,2338
35,35	1,0854	1,2475
32,05	1,0745	1,2602
29,06	1,0647	1,2728
26,85	1,0568	1,2837

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Druck [Pa]	2	3
101052	1,5057	1,0524
101026	1,4688	1,0609
101008	1,4318	1,0705
100995	1,3939	1,0817
100984	1,3549	1,0947
100976	1,3168	1,1090
100970	1,2863	1,1220

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 6

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	85,75 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	86,7 [Mol%]
Differenz	-1,10 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
 Job Ident:
 Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
 Versuch 6
 File: MIZU_6.JBB

Bauart 400
 vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
 Rohrlänge 1,860 [m]
 Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
 Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
 Leistung des Kondensators 99,501 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,07737 [kg/s] (278,54 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,02292 [kg/s] (82,51 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 85,75 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 101278,5 [Pa]
 Dampf Druckverlust 51,5 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 11,991 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 3,129 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 83,800 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 59,122 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
15,68	56,61	16,83	56,81	Stickstoff
46,45	30,22	57,03	34,69	Methanol
37,87	13,16	26,14	8,49	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
 ...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
 Kondensatmassenstrom Austritt 0,05445 [kg/s] (196,02 [kg/h])
 Kondensattemperatur Austritt 27,232 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	52,67	-----	66,43	Methanol
-----	47,33	-----	33,57	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung Wasser
 Kühlmittelzustand flüssig

Kühlmittelmassenstrom Eintritt	10,66111 [kg/s] (38380,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	88,2 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	0,236 [m/s]
Kühlmittel Re	15074,469 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	1808,289 [W/m ² K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	15,400 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	17,630 [°C]

Kondensator zu 16,7 [%] stoffübergangskontrolliert
Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Temp [°C]	2	3
54,80	1,1217	1,2118
50,38	1,1086	1,2255
44,28	1,0945	1,2408
38,93	1,0820	1,2550
34,33	1,0710	1,2678
30,14	1,0614	1,2797
27,19	1,0540	1,2894

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Druck [Pa]	2	3
101053	1,5068	1,0490
101035	1,4680	1,0577
101024	1,4286	1,0680
101016	1,3894	1,0799
101012	1,3526	1,0927
101008	1,3188	1,1060
101005	1,2921	1,1176

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 7

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	76,95 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	77,9 [Mol%]
Differenz	-1,22 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
Job Ident:
Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
Versuch 7
File: MIZU_7.JBB

Bauart 400
vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
Rohrlänge 1,860 [m]
Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
Leistung des Kondensators 47,721 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt	0,05811 [kg/s] (209,19 [kg/h])
Dampfmassenstrom Austritt	0,03383 [kg/s] (121,79 [kg/h])
kondensierter Dampfanteil molar	76,95 [Mol%]
Dampfdruck Eintritt	101330,0 [Pa]
Dampfdruck Austritt	101279,4 [Pa]
Dampf Druckverlust	50,6 [Pa]
Dampfgeschwindigkeit Eintritt	9,038 [m/s]
Dampfgeschwindigkeit Austritt	4,449 [m/s]
Dampf Temperatur Eintritt	88,900 [°C]
Dampf Temperatur Austritt	47,187 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	Komponente
41,95	75,81	44,26	76,01	Stickstoff
30,97	16,73	37,37	19,18	Methanol
27,08	7,46	18,37	4,81	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
 ...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt	0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
Kondensatmassenstrom Austritt	0,02427 [kg/s] (87,39 [kg/h])
Kondensattemperatur Austritt	21,980 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	Komponente
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	48,61	-----	62,72	Methanol
-----	51,39	-----	37,28	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung	Wasser
Kühlmittelzustand	flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt	9,76389 [kg/s] (35150,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	74,3 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	0,217 [m/s]
Kühlmittel Re	14073,502 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	1609,694 [W/m²K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	16,500 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	17,668 [°C]

Kondensator zu 80,6 [%] stoffübergangskontrolliert
 Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
 Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Temp [°C]	2	3
36,60	1,1467	1,1820
33,41	1,1320	1,1928
29,81	1,1159	1,2057
27,01	1,1024	1,2178
24,88	1,0908	1,2293
23,15	1,0806	1,2405
21,96	1,0730	1,2497

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Druck [Pa]	2	3

101054	1,5755	1,0455
101041	1,5371	1,0529
101032	1,4964	1,0614
101023	1,4549	1,0709
101017	1,4126	1,0816
101011	1,3703	1,0937
101006	1,3354	1,1050

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 8

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	82,45 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	82,0 [Mol%]
Differenz	+0,55 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
 Job Ident:
 Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
 Versuch 8
 File: MIZU_8.JBB

Bauart 400
 vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
 Rohrlänge 1,860 [m]
 Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
 Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
 Leistung des Kondensators 94,008 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,08012 [kg/s] (288,42 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,03073 [kg/s] (110,63 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 82,45 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 101262,6 [Pa]
 Dampf Druckverlust 67,4 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 12,722 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 4,202 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 87,600 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 58,008 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
21,92	61,54	23,80	62,04	Stickstoff
39,90	25,80	49,55	29,75	Methanol
38,18	12,66	26,66	8,21	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
 ...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
 Kondensatmassenstrom Austritt 0,04938 [kg/s] (177,78 [kg/h])
 Kondensattemperatur Austritt 27,846 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	47,70	-----	61,87	Methanol
-----	52,30	-----	38,13	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung	Wasser
Kühlmittelzustand	flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt	9,34167 [kg/s] (33630,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	68,2 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	0,207 [m/s]
Kühlmittel Re	13399,326 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	1625,626 [W/m ² K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	15,900 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	18,305 [°C]

Kondensator zu 13,9 [%] stoffübergangskontrolliert
Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.	
	2	3
53,39	1,1659	1,1727
48,97	1,1465	1,1876
43,21	1,1264	1,2043
38,40	1,1095	1,2195
34,02	1,0946	1,2340
30,43	1,0821	1,2474
27,85	1,0726	1,2583

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Druck [Pa]	Komponente Nr.	
	2	3
101052	1,5862	1,0391
101031	1,5465	1,0462
101017	1,5059	1,0545
101007	1,4641	1,0643
100999	1,4223	1,0753
100993	1,3825	1,0871
100989	1,3502	1,0979

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 11

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	68,68 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	69,8 [Mol%]
Differenz	-1,60 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
Job Ident:
Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
Versuch 11
File: MIZU_11.JBB

Bauart 400
vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
Rohrlänge 1,860 [m]
Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
Leistung des Kondensators 39,986 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,08339 [kg/s] (300,20 [kg/h])
Dampfmassenstrom Austritt 0,04728 [kg/s] (170,21 [kg/h])
kondensierter Dampfanteil molar 68,68 [Mol%]
Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
Dampfdruck Austritt 101259,4 [Pa]
Dampf Druckverlust 70,6 [Pa]
Dampfgeschwindigkeit Eintritt 9,113 [m/s]
Dampfgeschwindigkeit Austritt 5,070 [m/s]
Dampf Temperatur Eintritt 75,000 [°C]
Dampf Temperatur Austritt 38,767 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
44,23	71,69	34,12	60,18	Stickstoff
42,64	19,16	37,63	18,40	Methanol
13,13	9,15	28,25	21,42	Benzol

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
Kondensatmassenstrom Austritt 0,03610 [kg/s] (129,98 [kg/h])
Kondensattemperatur Austritt 16,871 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	80,46	-----	62,82	Methanol
-----	19,54	-----	37,18	Benzol

Kühlmittel Bezeichnung Wasser
Kühlmittelzustand flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt 10,66111 [kg/s] (38380,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt 100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen) 88,5 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit 0,235 [m/s]
Kühlmittel Re 12854,710 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl 1563,249 [W/m²K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt 9,500 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt 10,394 [°C]

Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.	
	2	3
25,28	1,0470	3,6140
24,35	1,0487	3,5779

22,36	1,0511	3,5212
20,71	1,0540	3,4614
19,26	1,0574	3,4005
17,89	1,0612	3,3388
16,84	1,0650	3,2839

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Druck [Pa]	2	3
101054	1,0204	4,7026
101036	1,0233	4,6132
101022	1,0263	4,5153
101011	1,0296	4,4076
101001	1,0332	4,2915
100993	1,0371	4,1712
100986	1,0407	4,0662

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 12

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	74,43 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	70,5 [Mol%]
Differenz	+5,57 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
 Job Ident:
 Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
 Versuch 12
 File: MIZU_12.JBB

Bauart 400
 vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
 Rohrlänge 1,860 [m]
 Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
 Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
 Leistung des Kondensators 43,724 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,08064 [kg/s] (290,32 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,03655 [kg/s] (131,58 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 74,43 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 101279,6 [Pa]
 Dampf Druckverlust 50,4 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 7,963 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 3,742 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 70,000 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 39,791 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	Komponente
34,20	67,02	24,27	53,55	Stickstoff
46,68	20,56	37,89	18,79	Methanol
19,12	12,42	37,84	27,67	Benzol

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
 ...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
 Kondensatmassenstrom Austritt 0,04409 [kg/s] (158,73 [kg/h])
 Kondensattemperatur Austritt 17,824 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	73,90	-----	53,73	Methanol
-----	26,10	-----	46,27	Benzol

Kühlmittel Bezeichnung Wasser
 Kühlmittelzustand flüssig
 Kühlmittelmassenstrom Eintritt 10,66111 [kg/s] (38380,00 [kg/h])
 Kühlmitteldruck Eintritt 100000,0 [Pa]
 Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen) 88,6 [Pa]
 Kühlmittelgeschwindigkeit 0,235 [m/s]
 Kühlmittel Re 12659,616 [-]
 Kühlmittel Wärmeübergangszahl 1557,937 [W/m²K]
 Kühlmitteltemperatur Eintritt 8,900 [°C]
 Kühlmitteltemperatur Austritt 9,878 [°C]

Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
 Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.	
	2	3
27,87	1,0971	3,0689
27,20	1,0994	3,0465
25,25	1,1027	3,0100
23,43	1,1071	2,9659
21,56	1,1128	2,9139
19,44	1,1196	2,8556
17,80	1,1260	2,8047

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Druck [Pa]	Komponente Nr.	
	2	3
101054	1,0378	4,0719
101040	1,0431	3,9819
101030	1,0492	3,8807
101022	1,0562	3,7674
101016	1,0642	3,6446
101010	1,0730	3,5200
101006	1,0810	3,4160

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 13

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	79,78 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	83,2 [Mol%]
Differenz	-4,11 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
 Job Ident:
 Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
 Versuch 13
 File: MIZU_13.JBB

Bauart 400
 vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
 Rohrlänge 1,860 [m]
 Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
 Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
 Leistung des Kondensators 46,008 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,06787 [kg/s] (244,34 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,02461 [kg/s] (88,60 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 79,78 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 101298,2 [Pa]
 Dampf Druckverlust 31,8 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 6,951 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 2,573 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 77,300 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 45,605 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
25,07	62,33	18,11	49,94	Stickstoff
58,09	25,88	47,98	23,71	Methanol
16,84	11,79	33,91	26,35	Benzol

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
 ...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
 Kondensatmassenstrom Austritt 0,04326 [kg/s] (155,75 [kg/h])
 Kondensattemperatur Austritt 18,314 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	79,76	-----	61,79	Methanol
-----	20,24	-----	38,21	Benzol

Kühlmittel Bezeichnung Wasser
 Kühlmittelzustand flüssig
 Kühlmittelmassenstrom Eintritt 10,66111 [kg/s] (38380,00 [kg/h])
 Kühlmitteldruck Eintritt 100000,0 [Pa]
 Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen) 88,5 [Pa]
 Kühlmittelgeschwindigkeit 0,235 [m/s]
 Kühlmittel Re 12933,269 [-]
 Kühlmittel Wärmeübergangszahl 1580,629 [W/m²K]
 Kühlmitteltemperatur Eintritt 9,700 [°C]
 Kühlmitteltemperatur Austritt 10,729 [°C]

Kondensator zu 5,6 [%] stoffübergangskontrolliert
Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.	
	2	3
31,89	1,0581	3,5149
31,12	1,0590	3,4978
29,15	1,0608	3,4587
26,19	1,0638	3,3971
23,07	1,0675	3,3253
20,27	1,0715	3,2539
18,29	1,0751	3,1972

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Druck [Pa]	Komponente Nr.	
	2	3
101055	1,0174	4,6962
101045	1,0209	4,6148
101038	1,0248	4,5170
101034	1,0291	4,4077
101030	1,0335	4,2937
101027	1,0379	4,1794
101025	1,0418	4,0815

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 14

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	67,50 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	68,7 [Mol%]
Differenz	-1,75 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
Job Ident:
Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
Versuch 14
File: MIZU_14.JBB

Bauart 400
vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
Rohrlänge 1,860 [m]
Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
Leistung des Kondensators 40,342 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,08809 [kg/s] (317,11 [kg/h])
Dampfmassenstrom Austritt 0,04949 [kg/s] (178,16 [kg/h])
kondensierter Dampfanteil molar 67,50 [Mol%]
Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
Dampfdruck Austritt 101254,3 [Pa]
Dampf Druckverlust 75,7 [Pa]
Dampfgeschwindigkeit Eintritt 9,396 [m/s]

Dampfgeschwindigkeit Austritt 5,212 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 81,800 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 41,872 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
43,84	70,61	32,38	57,63	Stickstoff
39,55	18,28	33,41	17,06	Methanol
16,61	11,12	34,21	25,31	Benzol

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
 ...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
 Kondensatmassenstrom Austritt 0,03860 [kg/s] (138,95 [kg/h])
 Kondensattemperatur Austritt 17,499 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	74,40	-----	54,38	Methanol
-----	25,60	-----	45,62	Benzol

Kühlmittel Bezeichnung Wasser
 Kühlmittelzustand flüssig
 Kühlmittelmassenstrom Eintritt 10,66111 [kg/s] (38380,00 [kg/h])
 Kühlmitteldruck Eintritt 100000,0 [Pa]
 Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen) 88,5 [Pa]
 Kühlmittelgeschwindigkeit 0,235 [m/s]
 Kühlmittel Re 12957,008 [-]
 Kühlmittel Wärmeübergangszahl 1570,717 [W/m²K]
 Kühlmitteltemperatur Eintritt 9,800 [°C]
 Kühlmitteltemperatur Austritt 10,703 [°C]

Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
 Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.	
	2	3
25,59	1,0897	3,1269
24,81	1,0925	3,0961
22,85	1,0965	3,0496
21,27	1,1011	3,0007
19,85	1,1065	2,9492
18,51	1,1126	2,8971
17,47	1,1184	2,8506

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt
 Komponente Nr.

Druck [Pa]	Komponente Nr.	
	2	3
101053	1,0412	4,0906
101035	1,0460	3,9960
101020	1,0512	3,8943
101008	1,0572	3,7846
100997	1,0640	3,6687
100988	1,0716	3,5507
100981	1,0787	3,4495

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 15

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	73,41 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	74,2 [Mol%]
Differenz	-1,06 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
 Job Ident:
 Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
 Versuch 15
 File: MIZU_15.JBB

Bauart 400
 vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
 Rohrlänge 1,860 [m]
 Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
 Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
 Leistung des Kondensators 42,416 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,07938 [kg/s] (285,76 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,03723 [kg/s] (134,03 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 73,41 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 101278,4 [Pa]
 Dampf Druckverlust 51,6 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 8,035 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 3,844 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 76,800 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 41,856 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
35,54	67,46	25,33	54,00	Stickstoff
45,58	20,22	37,15	18,51	Methanol
18,88	12,32	37,52	27,49	Benzol

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
 ...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
 Kondensatmassenstrom Austritt 0,04214 [kg/s] (151,72 [kg/h])
 Kondensattemperatur Austritt 18,057 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	73,81	-----	53,62	Methanol
-----	26,19	-----	46,38	Benzol

Kühlmittel Bezeichnung Wasser

Kühlmittelzustand	flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt	10,66111 [kg/s] (38380,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	88,5 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	0,235 [m/s]
Kühlmittel Re	12859,113 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	1568,496 [W/m²K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	9,500 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	10,449 [°C]

Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten

Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Temp [°C]	2	3
27,66	1,0979	3,0663
26,97	1,1004	3,0421
25,06	1,1038	3,0047
23,33	1,1083	2,9600
21,59	1,1140	2,9081
19,54	1,1208	2,8503
18,04	1,1271	2,8006

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Druck [Pa]	2	3
101054	1,0403	4,0561
101040	1,0457	3,9642
101030	1,0517	3,8617
101022	1,0586	3,7476
101015	1,0666	3,6247
101009	1,0754	3,5006
101005	1,0834	3,3972

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 16

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	67,53 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	69,9 [Mol%]
Differenz	-3,39 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
 Job Ident:
 Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
 Versuch 16
 File: MIZU_16.JBB

Bauart 400
 vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
 Rohrlänge 1,860 [m]
 Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
 Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
 Leistung des Kondensators 38,243 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt	0,09183 [kg/s] (330,60 [kg/h])
Dampfmassenstrom Austritt	0,05005 [kg/s] (180,18 [kg/h])
kondensierter Dampfanteil molar	67,53 [Mol%]
Dampfdruck Eintritt	101330,0 [Pa]
Dampfdruck Austritt	101256,2 [Pa]
Dampf Druckverlust	73,8 [Pa]
Dampfgeschwindigkeit Eintritt	8,959 [m/s]
Dampfgeschwindigkeit Austritt	5,069 [m/s]
Dampftemperatur Eintritt	72,100 [°C]
Dampftemperatur Austritt	38,505 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	Komponente
44,03	70,78	30,61	56,16	Stickstoff
34,20	15,94	27,19	14,46	Methanol
21,77	13,28	42,20	29,38	Benzol

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
 ...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt	0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
Kondensatmassenstrom Austritt	0,04178 [kg/s] (150,40 [kg/h])
Kondensattemperatur Austritt	16,719 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	Komponente
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	64,26	-----	42,45	Methanol
-----	35,74	-----	57,55	Benzol

Kühlmittel Bezeichnung	Wasser
Kühlmittelzustand	flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt	10,60833 [kg/s] (38189,99 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	87,7 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	0,234 [m/s]
Kühlmittel Re	12553,794 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	1537,194 [W/m²K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	8,800 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	9,659 [°C]

Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
 Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.	
	2	3
24,22	1,1943	2,5008
23,74	1,1998	2,4780
21,98	1,2057	2,4510
20,49	1,2129	2,4205
19,09	1,2213	2,3870
17,74	1,2308	2,3519
16,68	1,2399	2,3205

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Druck [Pa]	Komponente Nr.	
	2	3
101053	1,1383	2,8907

101035	1,1534	2,8054
101021	1,1706	2,7147
101009	1,1910	2,6184
100999	1,2150	2,5186
100990	1,2424	2,4189
100983	1,2688	2,3353

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 17

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	73,29 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	75,3 [Mol%]
Differenz	-2,67 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
 Job Ident:
 Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
 Versuch 17
 File: MIZU_17.JBB

Bauart 400
 vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
 Rohrlänge 1,860 [m]
 Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
 Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
 Leistung des Kondensators 43,070 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,08708 [kg/s] (313,50 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,03899 [kg/s] (140,36 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 73,29 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 101275,0 [Pa]
 Dampf Druckverlust 55,0 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 8,151 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 3,878 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 75,500 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 42,243 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
34,63	66,48	22,93	51,20	Stickstoff
40,05	18,30	30,33	16,12	Methanol
25,32	15,22	46,74	32,68	Benzol

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
 ...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
 Kondensatmassenstrom Austritt 0,04809 [kg/s] (173,12 [kg/h])
 Kondensattemperatur Austritt 18,277 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	63,69	-----	41,85	Methanol
-----	36,31	-----	58,15	Benzol

Kühlmittel Bezeichnung	Wasser
Kühlmittelzustand	flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt	10,60833 [kg/s] (38189,99 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	87,7 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	0,234 [m/s]
Kühlmittel Re	12562,467 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	1547,690 [W/m ² K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	8,800 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	9,768 [°C]

Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.	
	2	3
27,50	1,2095	2,4507
27,13	1,2143	2,4324
25,30	1,2192	2,4117
23,58	1,2255	2,3863
21,84	1,2334	2,3563
19,91	1,2424	2,3233
18,25	1,2505	2,2946

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Druck [Pa]	Komponente Nr.	
	2	3
101054	1,1522	2,7859
101039	1,1690	2,7042
101028	1,1889	2,6147
101019	1,2133	2,5166
101012	1,2430	2,4120
101006	1,2783	2,3046
101002	1,3132	2,2141

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 18

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	66,57 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	67,5 [Mol%]
Differenz	-1,38 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999

Job Ident:

Daten nach Mizushima et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
Versuch 18

File: MIZU_18.JBB

Bauart 400

vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre	19
Rohrlänge	1,860 [m]
Kondensationsfläche	2,43142 [m ²]
Rohroberfläche außen	3,17528 [m ²]
Leistung des Kondensators	36,499 [kW]
Dampfmassenstrom Eintritt	0,09347 [kg/s] (336,49 [kg/h])
Dampfmassenstrom Austritt	0,05086 [kg/s] (183,10 [kg/h])
kondensierter Dampfanteil molar	66,57 [Mol%]
Dampfdruck Eintritt	101330,0 [Pa]
Dampfdruck Austritt	101255,5 [Pa]
Dampf Druckverlust	74,5 [Pa]
Dampfgeschwindigkeit Eintritt	8,880 [m/s]
Dampfgeschwindigkeit Austritt	5,083 [m/s]
Dampftemperatur Eintritt	75,600 [°C]
Dampftemperatur Austritt	39,735 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
44,93	70,93	30,10	55,33	Stickstoff
29,94	14,45	22,95	12,89	Methanol
25,13	14,61	46,95	31,78	Benzol

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
 ...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt	0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
Kondensatmassenstrom Austritt	0,04261 [kg/s] (153,40 [kg/h])
Kondensattemperatur Austritt	16,720 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	56,70	-----	34,94	Methanol
-----	43,30	-----	65,06	Benzol

Kühlmittel Bezeichnung	Wasser
Kühlmittelzustand	flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt	10,60833 [kg/s] (38189,99 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	87,7 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	0,234 [m/s]
Kühlmittel Re	12584,788 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	1535,616 [W/m ² K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	8,900 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	9,720 [°C]

Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
 Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.	
	2	3
23,67	1,3124	2,1484
23,39	1,3216	2,1277
21,74	1,3280	2,1121
20,32	1,3362	2,0933

19,02	1,3458	2,0724
17,73	1,3566	2,0502
16,72	1,3674	2,0289

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Druck [Pa]	2	3
101053	2,1792	1,4062
101035	2,6457	1,2952
101021	3,2287	1,2164
101008	3,8387	1,1668
100998	4,4330	1,1358
100989	4,9935	1,1157
100982	5,4440	1,1030

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 19

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	77,92 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	79,3 [Mol%]
Differenz	-1,74 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
Job Ident:
Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
Versuch 19
File: MIZU_19.JBB

Bauart 400
vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
Rohrlänge 1,860 [m]
Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
Leistung des Kondensators 43,116 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,08249 [kg/s] (296,97 [kg/h])
Dampfmassenstrom Austritt 0,02923 [kg/s] (105,23 [kg/h])
kondensierter Dampfanteil molar 77,92 [Mol%]
Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
Dampfdruck Austritt 101291,8 [Pa]
Dampf Druckverlust 38,2 [Pa]
Dampfgeschwindigkeit Eintritt 7,017 [m/s]
Dampfgeschwindigkeit Austritt 2,788 [m/s]
Dampf Temperatur Eintritt 76,800 [°C]
Dampf Temperatur Austritt 45,417 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
26,97	62,59	16,22	45,78	Stickstoff
39,12	18,37	26,91	15,37	Methanol
33,91	19,04	56,87	38,85	Benzol

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...

...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt	0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
Kondensatmassenstrom Austritt	0,05327 [kg/s] (191,75 [kg/h])
Kondensattemperatur Austritt	18,594 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	Komponente
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	54,83	-----	33,24	Methanol
-----	45,17	-----	66,76	Benzol

Kühlmittel Bezeichnung	Wasser
Kühlmittelzustand	flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt	10,60833 [kg/s] (38189,99 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	87,7 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	0,234 [m/s]
Kühlmittel Re	12599,282 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	1550,117 [W/m ² K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	8,900 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	9,869 [°C]

Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.	
	2	3
29,61	1,3680	2,0370
30,01	1,3770	2,0203
28,46	1,3825	2,0110
26,34	1,3863	2,0043
23,54	1,3881	2,0005
20,66	1,3908	1,9940
18,59	1,3948	1,9852

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Druck [Pa]	Komponente Nr.	
	2	3
101054	3,6494	1,1503
101043	3,9568	1,1348
101035	4,3000	1,1209
101029	4,6946	1,1082
101025	5,1410	1,0967
101021	5,6168	1,0867
101019	6,0426	1,0795

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 41

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	74,24 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	71,5 [Mol%]
Differenz	+3,83 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
 Job Ident:
 Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
 Versuch 41
 File: MIZU_41.JBB

Bauart 400
 vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
 Rohrlänge 1,860 [m]
 Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
 Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
 Leistung des Kondensators 41,465 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,07294 [kg/s] (262,58 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,04148 [kg/s] (149,33 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 74,24 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 101270,9 [Pa]
 Dampf Druckverlust 59,1 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 8,685 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 4,625 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 71,800 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 32,341 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
45,78	76,62	38,84	68,28	Stickstoff
17,72	11,15	31,17	20,60	Aceton
23,75	9,20	23,04	9,38	Methanol
12,75	3,02	6,96	1,73	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
 ...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
 Kondensatmassenstrom Austritt 0,03146 [kg/s] (113,24 [kg/h])
 Kondensattemperatur Austritt 9,602 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	27,47	-----	45,10	Aceton
-----	45,34	-----	41,06	Methanol
-----	27,19	-----	13,84	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung	Wasser
Kühlmittelzustand	flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt	10,39722 [kg/s] (37430,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	84,8 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	0,228 [m/s]
Kühlmittel Re	10533,164 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	1392,360 [W/m ² K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	3,100 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	4,048 [°C]

Kondensator zu 77,8 [%] stoffübergangskontrolliert
Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.		
	2	3	4
22,19	1,4582	1,0363	1,4704
20,00	1,4438	1,0377	1,4767
17,14	1,4262	1,0398	1,4841
14,87	1,4087	1,0427	1,4916
12,86	1,3918	1,0462	1,4988
10,92	1,3776	1,0500	1,5037
9,59	1,3630	1,0544	1,5099

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Druck [Pa]	Komponente Nr.		
	2	3	4
101054	2,5300	1,1797	1,1790
101039	2,4007	1,1569	1,1996
101028	2,2699	1,1340	1,2231
101018	2,1387	1,1115	1,2504
101010	2,0115	1,0907	1,2814
101003	1,8957	1,0730	1,3144
100998	1,8102	1,0614	1,3427

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 42

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	80,41 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	80,9 [Mol%]
Differenz	-0,61 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
Job Ident:
Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
Versuch 42
File: MIZU_42.JBB

Bauart	400
vertikaler rohrseitiger Kondensator	
Anzahl Rohre	19
Rohrlänge	1,860 [m]
Kondensationsfläche	2,43142 [m ²]
Rohroberfläche außen	3,17528 [m ²]

Leistung des Kondensators 43,527 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,05953 [kg/s] (214,32 [kg/h])
Dampfmassenstrom Austritt 0,02551 [kg/s] (91,84 [kg/h])
kondensierter Dampfanteil molar 80,41 [Mol%]
Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
Dampfdruck Austritt 101298,7 [Pa]
Dampf Druckverlust 31,3 [Pa]
Dampfgeschwindigkeit Eintritt 6,911 [m/s]
Dampfgeschwindigkeit Austritt 2,831 [m/s]
Dampftemperatur Eintritt 75,100 [°C]
Dampftemperatur Austritt 37,996 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
32,13	70,73	26,41	61,63	Stickstoff
21,37	13,44	36,41	24,28	Aceton
30,62	11,96	28,78	11,92	Methanol
15,88	3,86	8,39	2,16	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
Kondensatmassenstrom Austritt 0,03402 [kg/s] (122,49 [kg/h])
Kondensattemperatur Austritt 10,312 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	27,97	-----	45,51	Aceton
-----	46,15	-----	41,43	Methanol
-----	25,88	-----	13,06	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung Wasser
Kühlmittelzustand flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt 10,45000 [kg/s] (37620,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt 100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen) 85,6 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit 0,229 [m/s]
Kühlmittel Re 10800,636 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl 1418,623 [W/m²K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt 3,800 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt 4,790 [°C]

Kondensator zu 61,1 [%] stoffübergangskontrolliert
Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.		
	2	3	4
26,96	1,4390	1,0399	1,4882
24,73	1,4309	1,0408	1,4910
21,02	1,4124	1,0438	1,4979
17,50	1,3943	1,0473	1,5040
14,45	1,3772	1,0514	1,5094
11,98	1,3624	1,0557	1,5139
10,31	1,3544	1,0585	1,5142

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.		
Druck [Pa]	2	3	4
101055	2,3956	1,1579	1,1928
101046	2,2713	1,1366	1,2163
101040	2,1505	1,1161	1,2424
101035	2,0370	1,0975	1,2706
101031	1,9359	1,0817	1,2995
101028	1,8476	1,0690	1,3281
101026	1,7797	1,0602	1,3527

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 43

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	75,08 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	75,5 [Mol%]
Differenz	-0,56 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
 Job Ident:
 Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
 Versuch 43
 File: MIZU_43.JBB

Bauart 400
 vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
 Rohrlänge 1,860 [m]
 Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
 Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
 Leistung des Kondensators 40,815 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,06444 [kg/s] (231,99 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,03794 [kg/s] (136,58 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 75,08 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 101276,3 [Pa]
 Dampf Druckverlust 53,7 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 8,568 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 4,489 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 83,300 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 36,579 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
46,69	77,85	42,76	72,62	Stickstoff
8,62	6,01	16,37	11,62	Aceton
31,76	13,01	33,27	13,88	Methanol
12,93	3,13	7,61	1,88	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
 ...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt	0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
Kondensatmassenstrom Austritt	0,02650 [kg/s] (95,40 [kg/h])
Kondensattemperatur Austritt	11,378 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	12,53	-----	23,16	Aceton
-----	59,86	-----	61,02	Methanol
-----	27,61	-----	15,82	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung	Wasser
Kühlmittelzustand	flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt	10,47639 [kg/s] (37715,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	85,9 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	0,230 [m/s]
Kühlmittel Re	11377,512 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	1455,543 [W/m²K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	5,600 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	6,527 [°C]

Kondensator zu 86,1 [%] stoffübergangskontrolliert
Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.		
	2	3	4
23,61	1,6488	1,0258	1,3888
21,57	1,6383	1,0232	1,3953
18,73	1,6225	1,0214	1,4005
16,35	1,6062	1,0199	1,4058
14,28	1,5908	1,0189	1,4108
12,57	1,5767	1,0183	1,4154
11,38	1,5661	1,0180	1,4187

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Druck [Pa]	Komponente Nr.		
	2	3	4
101054	2,5168	1,1858	1,1761
101041	2,4125	1,1666	1,1930
101030	2,3074	1,1472	1,2118
101022	2,2041	1,1280	1,2326
101014	2,1071	1,1100	1,2546
101008	2,0196	1,0940	1,2769
101003	1,9524	1,0820	1,2962

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 44

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	79,69 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	80,3 [Mol%]
Differenz	-0,76 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
 Job Ident:
 Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
 Versuch 44
 File: MIZU_44.JBB

Bauart 400
 vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
 Rohrlänge 1,860 [m]
 Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
 Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
 Leistung des Kondensators 41,740 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,05214 [kg/s] (187,72 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,02441 [kg/s] (87,88 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 79,69 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 101300,0 [Pa]
 Dampf Druckverlust 30,0 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 6,922 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 2,931 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 86,600 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 43,219 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
34,51	72,18	31,33	66,91	Stickstoff
9,07	6,33	17,07	12,16	Aceton
41,05	17,49	42,63	18,55	Methanol
15,37	4,00	8,97	2,38	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
 ...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
 Kondensatmassenstrom Austritt 0,02773 [kg/s] (99,83 [kg/h])
 Kondensattemperatur Austritt 13,022 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	11,58	-----	21,40	Aceton
-----	62,63	-----	63,83	Methanol
-----	25,79	-----	14,78	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung	Wasser
Kühlmittelzustand	flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt	10,47639 [kg/s] (37715,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	85,7 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	0,230 [m/s]
Kühlmittel Re	11885,743 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	1492,981 [W/m ² K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	7,200 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	8,149 [°C]

Kondensator zu 72,2 [%] stoffübergangskontrolliert
Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.		
	2	3	4
28,83	1,6391	1,0237	1,4082
25,79	1,6317	1,0221	1,4102
22,10	1,6225	1,0201	1,4125
18,97	1,6260	1,0176	1,4118
16,47	1,6139	1,0162	1,4152
14,40	1,6019	1,0152	1,4186
13,02	1,5927	1,0146	1,4211

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Druck [Pa]	Komponente Nr.		
	2	3	4
101055	2,3694	1,1596	1,1935
101047	2,2847	1,1441	1,2106
101041	2,2038	1,1292	1,2285
101036	2,1245	1,1144	1,2477
101032	2,0516	1,1008	1,2672
101029	1,9854	1,0885	1,2866
101027	1,9341	1,0791	1,3030

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 45

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	78,16 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	80,6 [Mol%]
Differenz	-3,03 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
Job Ident:
Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
Versuch 45
File: MIZU_45.JBB

Bauart	400
vertikaler rohrseitiger Kondensator	
Anzahl Rohre	19
Rohrlänge	1,860 [m]
Kondensationsfläche	2,43142 [m ²]
Rohroberfläche außen	3,17528 [m ²]

Leistung des Kondensators 38,933 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,05484 [kg/s] (197,41 [kg/h])
Dampfmassenstrom Austritt 0,02620 [kg/s] (94,32 [kg/h])
kondensierter Dampfanteil molar 78,16 [Mol%]
Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
Dampfdruck Austritt 101298,8 [Pa]
Dampf Druckverlust 31,2 [Pa]
Dampfgeschwindigkeit Eintritt 6,751 [m/s]
Dampfgeschwindigkeit Austritt 2,950 [m/s]
Dampftemperatur Eintritt 87,600 [°C]
Dampftemperatur Austritt 41,227 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
35,74	71,81	30,01	62,82	Stickstoff
20,76	13,48	36,14	24,45	Aceton
24,62	10,17	23,65	10,18	Methanol
18,88	4,54	10,20	2,56	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
Kondensatmassenstrom Austritt 0,02864 [kg/s] (103,09 [kg/h])
Kondensattemperatur Austritt 11,490 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	27,97	-----	46,84	Aceton
-----	38,94	-----	35,97	Methanol
-----	33,09	-----	17,18	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung Wasser
Kühlmittelzustand flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt 10,50278 [kg/s] (37810,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt 100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen) 86,3 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit 0,231 [m/s]
Kühlmittel Re 11404,140 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl 1454,807 [W/m²K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt 5,600 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt 6,482 [°C]

Kondensator zu 88,9 [%] stoffübergangskontrolliert
Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.		
	2	3	4
26,46	1,4838	1,0328	1,4642
22,71	1,4770	1,0290	1,4691
19,74	1,4511	1,0304	1,4835
17,34	1,4225	1,0348	1,4978
14,99	1,3993	1,0398	1,5080
12,90	1,3827	1,0437	1,5154
11,49	1,3662	1,0477	1,5254

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.		
Druck [Pa]	2	3	4
101055	3,2840	1,3089	1,1102
101047	3,0461	1,2674	1,1296
101040	2,7705	1,2192	1,1565
101035	2,5228	1,1756	1,1869
101031	2,3290	1,1411	1,2176
101028	2,1683	1,1131	1,2490
101026	2,0424	1,0921	1,2778

Achtung: Die Lösung konvergiert nicht stetig,
 es gab periodische Oszillationen;
 Restfehler Kühlmitteltemperatur = 0,00059
 Abbruchkriterium ist 0,00225

Wärmebilanz ohne Restfehler

Versuch M 46

Rechnung: kondensierter molarer Dampfanteil	75,02 [Mol%]
Messung: kondensierter molarer Dampfanteil	74,1 [Mol%]
Differenz	+1,24 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 23.11.1999
 Job Ident:
 Daten nach Mizushina et al., J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964,
 Versuch 46
 File: MIZU_46.JBB

Bauart 400
 vertikaler rohrseitiger Kondensator

Anzahl Rohre 19
 Rohrlänge 1,860 [m]
 Kondensationsfläche 2,43142 [m²]
 Rohroberfläche außen 3,17528 [m²]
 Leistung des Kondensators 38,967 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,06265 [kg/s] (225,53 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,03826 [kg/s] (137,74 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 75,02 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 101330,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 101276,9 [Pa]
 Dampf Druckverlust 53,1 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 8,495 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 4,510 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 89,400 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 37,935 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
48,78	79,22	44,77	73,30	Stickstoff
11,08	7,74	21,08	14,84	Aceton
22,76	8,84	23,89	9,35	Methanol

17,38 4,21 10,26 2,50 Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,100 [K] zugelassen...
 ...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
 Kondensatmassenstrom Austritt 0,02439 [kg/s] (87,79 [kg/h])
 Kondensattemperatur Austritt 11,817 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%] [Massen-%]:

Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	Komponente
-----	0,00	-----	0,00	Stickstoff
-----	16,44	-----	30,87	Aceton
-----	45,07	-----	46,71	Methanol
-----	38,49	-----	22,42	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung Wasser
 Kühlmittelzustand flüssig
 Kühlmittelmassenstrom Eintritt 10,47639 [kg/s] (37715,00 [kg/h])
 Kühlmitteldruck Eintritt 100000,0 [Pa]
 Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen) 85,8 [Pa]
 Kühlmittelgeschwindigkeit 0,230 [m/s]
 Kühlmittel Re 11722,262 [-]
 Kühlmittel Wärmeübergangszahl 1475,766 [W/m²K]
 Kühlmitteltemperatur Eintritt 6,700 [°C]
 Kühlmitteltemperatur Austritt 7,586 [°C]

Kondensator zu 88,9 [%] stoffübergangskontrolliert
 Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
 Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.		
	2	3	4
24,15	1,6883	1,0383	1,3530
21,84	1,6660	1,0352	1,3609
19,01	1,6374	1,0319	1,3712
16,53	1,6083	1,0292	1,3823
14,55	1,5810	1,0273	1,3935
12,97	1,5577	1,0263	1,4036
11,82	1,5352	1,0261	1,4134

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Druck [Pa]	Komponente Nr.		
	2	3	4
101054	3,8943	1,4142	1,0801
101041	3,7263	1,3846	1,0894
101031	3,5389	1,3513	1,1004
101023	3,3242	1,3131	1,1143
101015	3,0910	1,2715	1,1317
101009	2,8519	1,2290	1,1525
101004	2,6539	1,1938	1,1734

Achtung: Die Lösung konvergiert nicht stetig,
 es gab Probleme wegen Oszillationen;
 Abbruchkriterium ist 0,00225

Wärmebilanz ohne Restfehler

Zusammenfassung der Nachrechnung der Mizushina-Experimente [1]

Vers. Nr.	Experiment mol [%]	Rechnung mol [%]	Differenz [%]	Wärmebilanz Fehler [%]
M 1	68,5	74,15	8,25	ohne
M 2	72,9	79,33	8,82	ohne
M 3	71,6	73,30	2,37	ohne
M 4	77,8	82,50	6,04	ohne
M 5	77,9	80,35	3,15	ohne
M 6	86,7	85,75	-1,10	ohne
M 7	77,9	76,95	-1,22	ohne
M 8	82,0	82,45	0,55	ohne
M 11	69,8	68,68	-1,60	ohne
M 12	70,5	74,43	5,57	ohne
M 13	83,2	79,78	-4,11	ohne
M 14	68,7	67,50	-1,75	ohne
M 15	74,2	73,41	-1,06	ohne
M 16	69,9	67,53	-3,39	ohne
M 17	75,3	73,29	-2,67	ohne
M 18	67,5	66,57	-1,38	ohne
M 19	79,3	77,92	-1,74	ohne
M 41	71,5	74,24	3,83	ohne
M 42	80,9	80,41	-0,61	ohne
M 43	75,5	75,08	-0,56	ohne
M 44	80,3	79,69	-0,76	ohne
M 45	80,6	78,16	-3,03	ohne
M 46	74,1	75,02	1,24	ohne

Die "mittlere Differenz" (Mittelwert und Standardabweichung) aus diesen 23 Experiment-Nachrechnungen beträgt

$$\boxed{0,645 \pm 3,67 \text{ [\%]}}$$

Die „Differenz“ [%] ist dabei definiert als
 $100 \cdot (\text{berechneter Wert} - \text{Meßwert}) / \text{Meßwert}$.

Zu diesem Ergebnis ist noch festzuhalten, daß die Standardabweichung angenähert 6 mal so groß ist als die mittlere Abweichung bei den 23 Experimenten, weshalb die mittlere Abweichung von etwa 0,6 [%] ebenfalls als etwas unscharf zu beurteilen ist. Diese Abweichung kann daher statistisch genauso gut auch als Null-Differenz gewertet werden, zumal es bei den Nachrechnungen keine freien Parameter gab, mit denen das Ergebnis hätte geschönt werden können!

Dampf-Austrittsdaten sind in [1] lediglich für Versuch 17 angegeben und diese werden hier den entsprechenden berechneten Daten gegenübergestellt:

	Methanol [mol%]	Benzol [mol%]	Dampf Temperatur Austritt [°C]
Mizushina Messung	17,8	13,9	43,8
MESK Rechnung	18,30	15,22	42,243

In Anbetracht der Abweichung von -2,67 [%] zwischen Messung und Nachrechnung beim "kondensierten molaren Dampfanteil" bei diesem Versuch Nr. 17 kann die Übereinstimmung auch in Hinsicht der Dampfzusammensetzung als gut bezeichnet werden.

Vereinfachte Verfahren, wie in [1] angedeutet, liefern erwartungsgemäß größere Abweichungen, die typischerweise bei -10 bis ca. -20 [%] zu liegen kommen.

Versuche von Panagoulas [2]

Die von Panagoulas [2] benutzte Apparatur kann gut mit MESK nachgebildet werden, obwohl Ein- und Austritte des Dampfes „umgekehrt“ angeordnet sind (Anordnung „reverse“ ist als „Sonderbauform“ wählbar).

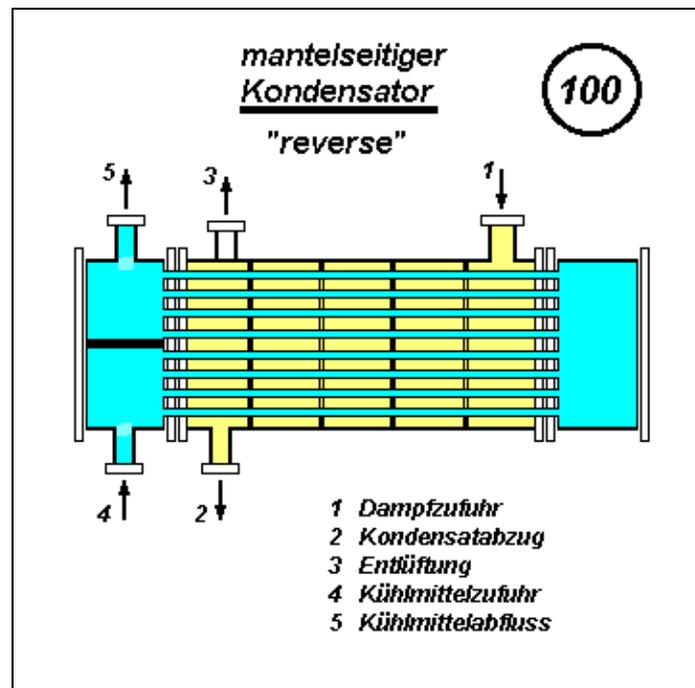


Abb. 1 MESK-Nachbildung der Apparatur von Panagoulas [2]

Es gibt bei Panagoulas drei verschiedene Versuchsreihen, nämlich
 13 Versuche mit Methanol-Wasser (hier mit den Nummern 001 bis 013 bezeichnet),
 13 Versuche mit Methanol-Isopropylalkohol-Wasser (hier mit den Nummern 101 bis 113 bezeichnet),
 6 Versuche mit „technischem Hexanol“ (hier mit den Nummern 201 bis 206 bezeichnet).

Die technischen Daten sind:

Rohr Außendurchmesser		19,05 [mm]
Rohr Innendurchmesser		14,834 [mm]
Wärmeleitfähigkeit Wand		38 [W/mK]
Rohrteilung		25,4 [mm]
Rohranordnung	versetzt	60 [°]
Effektive Rohrlänge		2,4624 [m]
Rohranzahl (aktiv)		196
Mantel Innendurchmesser		0,4382 [m]
Umlenblech Außendurchmesser		0,43502 [m]
Bohrlochdurchmesser für Rohre		19,844 [mm]
Stützendurchmesser Eintritt Dampf		203,2 [mm]
Kondensationsfläche		28,88 [m ²]
Umlenblech „Cut“		35,5 [%]
Anzahl Dichtungstreifen-Paare		0

Kühlmittel ist Wasser, der Kondensator ist zweigängig (Rohrspiegel Typ 1, Zweipaßführung). Die Umlenbleche sind im wesentlichen im gleichen Abstand angeordnet (Eintrittskammer ist 327 mm lang, sonst sind die Kammern alle gleich lang mit 305 mm).

Unklar ist bei diesen Experimenten die Rolle von **Inertgasen** (sie werden in [2] – auf Seite 96 Mitte – einmal wohl als Möglichkeit erwähnt, sind aber nirgends quantifiziert). In [2], auf Seite 102, Abschnitt 4.2.2 – Vapour Path – wird allerdings ausgesagt (Zitat) „Uncondensed vapour is metered and returned to the overhead condensers of the distillation column“, was also nicht unbedingt für eine konsequente Beseitigung nichtkondensierbarer Gasanteile spricht. Zudem gibt es in der Anlage einen „Air Inlet“. Und die Anlage arbeitet nicht unter einem – wie auch immer – eindeutigen Überdruck. Es gibt also viele Möglichkeiten, daß ein gewisser Luftanteil im Kreislauf des Dampfes vorhanden sein konnte.

Etwas unklar erscheint auch die Angabe der Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials mit 38 W/mK ([2], Seite 98). Das Rohrmaterial scheint ein eher „seltenes“ Material zu sein.

Die Nachrechnung der Versuche mit der aktuellen MESK-Version ergibt mit den „Originaldaten“, trotz der genannten Unsicherheiten hinsichtlich der Versuchsanlage, eine überraschend gute Übereinstimmung. Es gibt von da gar keine Hinweise darauf, daß im Experiment zusätzliche, in der Nachrechnung unberücksichtigte, Widerstände vorhanden waren. Solche Widerstände hätten bewirkt sein können durch Fouling, durch abweichende (geringere) Wärmeleitfähigkeit der Rohrwand und/oder durch die Anwesenheit von Inertgasen.

Die Nachrechnungen unter Verwendung der vorgegebenen Wärmeleitfähigkeit der Rohrwand von 38 W/(m·K) ergaben eine sehr gute Übereinstimmung mit dem insgesamt kondensierten Dampfanteil aus der Messung, aber die Dampftemperaturen fallen in der zweiten Hälfte des Dampfweges etwas zu stark gegenüber den referierten Meßwerten ab. Es war daher sinnvoll, auch die Effekte von kleinen Inertgasbeimengungen zu untersuchen, denn eigentlich sollte die möglichst gute Übereinstimmung auch des Verlaufes der Dampftemperatur entlang des Dampfweges ein wichtiges Kriterium darstellen. Die Nachrechnungen mit der plausiblen Annahme eines Inertgas-Anteils um etwa 0,3 Mol% ergaben jedoch keine Verbesserung der Übereinstimmung im Verlauf der Dampftemperaturen zwischen Nachrechnung und dem Experiment. Solche geringen Inertgasanteile konnte Panagoulis (im Hinblick auf die in [2] angegebenen Meßgenauigkeiten – Seite 113, Mitte – der Konzentrationen von $\pm 0,2$ Mol% bei den Versuchen der ersten Gruppe mit Methanol-Wasser und von $\pm 2,0$ Mol% bei der zweiten Gruppe mit Methanol-Isopropanol-Wasser) sicherlich nicht nachweisen.

Der Druck ist für diese Kondensationsexperimente ebenfalls nicht genau vermerkt, es wird ([2], Seite 102, Abschnitt 4.2.2 Vapour Path) lediglich ausgesagt „Vapour at substantially atmospheric pressure is generated by a distillation column.“ (und ähnlich Seite 105 oben). Hier wird daher angenommen, daß der Eintrittsdruck des Dampfes 100000 Pa beträgt.

Die von Panagoulis angegebenen Daten sind demnach mit merklichen Toleranzen behaftet. So liegt (in den meisten Fällen) auch die gemessene Dampftemperatur etwas unterhalb der berechneten Taupunkttemperatur. Dies könnte einen weiteren Hinweis auf die mögliche Anwesenheit von Inertgasen darstellen; trotzdem wurden die vorliegenden Ergebnisse ausschließlich ohne Einbeziehung von Inertgas-Anteilen gewonnen, allein auf der Basis der vorgegebenen Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials von 38 W/mK.

Der generelle Eindruck ist, daß Panagoulis bei seinen Experimenten [2] viel mehr Wert auf die Messung und Dokumentation des **Druckverlustes** im Kondensator, als auf die Kondensation selbst gelegt hat.

Versuch P 001

Rechnung:	kondensierter Dampfanteil	0,22815	[kg/s]
Messung:	kondensierter Dampfanteil	0,2414	[kg/s]
Differenz		-5,49	[%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 04.04.2000
 Job Ident:
 Panagoulas, Thesis Manchester, England, 1984, Versuch 001 (=Case 1, No.1),
 38 W/mK
 File: E:\LV\MESK_2007\BATCH[PANA_38WPMK]\PANAGOU001[38WPMK].JBB

Bauart 100
 horizontaler mantelseitiger Kondensator
 Dampf-Ein/Austritt vertauscht ("reverse")
 Spiegeltyp 1 (2 rohrseitige Durchgänge)
 Anzahl Rohre 196
 Rohrlänge 2,462 [m]
 Anzahl Umlenkbleche 7
 Fensterhöhe (Cut) 35,50 [%]
 Anzahl Zellen 16
 Kondensationsfläche 28,8795 [m²]
 Leistung des Kondensators 315,933 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,29510 [kg/s] (1062,36 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,06695 [kg/s] (241,02 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 79,07 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 100000,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 99591,6 [Pa]
 Dampf Druckverlust 408,4 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 6,412 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 1,347 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit im 1. Umlenkblech-Fenster 9,518 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 73,500 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 66,088 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
77,59	94,92	86,03	97,08	Methanol
22,41	5,08	13,97	2,92	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,000 [K] zugelassen...
 ...Nebelbildung baut Dampfübersättigung ab...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
 Kondensatmassenstrom Austritt 0,22815 [kg/s] (821,33 [kg/h])
 Kondensattemperatur Austritt 67,705 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	73,00	-----	82,79	Methanol
-----	27,00	-----	17,21	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung	Wasser
Kühlmittelzustand	flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt	20,17000 [kg/s] (72612,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	6332,5 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	1,246 [m/s]
Kühlmittel Re	39158,053 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	8479,857 [W/m ² K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	61,800 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	65,542 [°C]

Kondensator zu 85,0 [%] wärmeübergangskontrolliert

Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten

Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Temp [°C]	1	2
70,40	1,0515	1,3041
69,02	1,0274	1,3630
67,86	1,0121	1,4197
66,89	1,0028	1,4690
66,07	0,9976	1,5093
65,48	0,9954	1,5324
64,86	0,9934	1,5608

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Druck [Pa]	1	2
99696	1,1025	1,2250
99553	1,0583	1,2901
99462	1,0303	1,3546
99406	1,0134	1,4131
99370	1,0035	1,4636
99347	0,9983	1,5013
99333	0,9947	1,5380

Hinweis:

Thermodynamische Instabilität am KondensatorAustritt:

- aktueller Taupunkt des Dampfes 65,246 [C]
- realer Taupunkt des Dampfes 66,151 [C]
- Dampftemperatur 0,063 [K] unterhalb Taupunkt (=Übersättigung)
(=nur Diskretisierungs-Phänomen)

Achtung: Die Lösung konvergiert nicht stetig,

es gab periodische Oszillationen;

Restfehler Kühlmitteltemperatur = 0,00946

Abbruchkriterium ist 0,00020

Restfehler Wärmebilanz = -1,32 [%]

Versuch P 002

Rechnung:	kondensierter Dampfanteil	0,30304	[kg/s]
Messung:	kondensierter Dampfanteil	0,3255	[kg/s]
Differenz		-6,90	[%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 04.04.2000
 Job Ident:
 Panagoulas, Thesis Manchester, England, 1984, Versuch 002 (=Case 1, No.2),
 38 W/mK
 File: E:\LV\MESK_2007\BATCH[PANA_38WPMK]\PANAGOU002[38WPMK].JBB

Bauart 100
 horizontaler mantelseitiger Kondensator
 Dampf-Ein/Austritt vertauscht ("reverse")
 Spiegeltyp 1 (2 rohrseitige Durchgänge)
 Anzahl Rohre 196
 Rohrlänge 2,462 [m]
 Anzahl Umlenkbleche 7
 Fensterhöhe (Cut) 35,50 [%]
 Anzahl Zellen 16
 Kondensationsfläche 28,8795 [m²]
 Leistung des Kondensators 429,88 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,37250 [kg/s] (1341,00 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,06946 [kg/s] (250,06 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 82,97 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 100000,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 99359,5 [Pa]
 Dampf Druckverlust 640,5 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 8,223 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 1,402 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit im 1. Umlenkblech-Fenster 12,205 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 75,000 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 66,101 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
75,32	94,64	84,44	96,92	Methanol
24,68	5,36	15,56	3,08	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,000 [K] zugelassen...
 ...Nebelbildung baut Dampfübersättigung ab...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
 Kondensatmassenstrom Austritt 0,30304 [kg/s] (1090,94 [kg/h])
 Kondensattemperatur Austritt 67,830 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	71,35	-----	81,58	Methanol
-----	28,65	-----	18,42	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung	Wasser
Kühlmittelzustand	flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt	19,69000 [kg/s] (70884,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	6078,5 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	1,215 [m/s]
Kühlmittel Re	37491,628 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	8270,541 [W/m ² K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	59,800 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	65,017 [°C]

Kondensator zu 97,5 [%] wärmeübergangskontrolliert

Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten

Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Temp [°C]	1	2
70,99	1,0643	1,2811
69,46	1,0358	1,3412
68,15	1,0173	1,4006
67,02	1,0059	1,4540
66,03	0,9993	1,4996
65,30	0,9963	1,5296
64,48	0,9939	1,5629

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Druck [Pa]	1	2
99677	1,1316	1,1951
99446	1,0787	1,2573
99301	1,0434	1,3228
99212	1,0212	1,3855
99159	1,0078	1,4417
99127	1,0008	1,4854
99109	0,9960	1,5289

Hinweis:

Thermodynamische Instabilität am KondensatorAustritt:

- aktueller Taupunkt des Dampfes 65,060 [C]
- realer Taupunkt des Dampfes 66,199 [C]
- Dampftemperatur 0,098 [K] unterhalb Taupunkt (=Übersättigung)
(=nur Diskretisierungs-Phänomen)

Achtung: Die Lösung konvergiert nicht stetig,
es gab Probleme wegen Oszillationen;
Abbruchkriterium ist 0,00225

Restfehler Wärmebilanz = -0,16 [%]

Versuch P 003

Rechnung:	kondensierter Dampfanteil	0,35064	[kg/s]
Messung:	kondensierter Dampfanteil	0,3688	[kg/s]
Differenz		-4,92	[%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 04.04.2000
 Job Ident:
 Panagoulas, Thesis Manchester, England, 1984, Versuch 003 (=Case 1, No.3),
 38 W/mK
 File: E:\LV\MESK_2007\BATCH[PANA_38WPMK]\PANAGOU003[38WPMK].JBB

Bauart 100
 horizontaler mantelseitiger Kondensator
 Dampf-Ein/Austritt vertauscht ("reverse")
 Spiegeltyp 1 (2 rohrseitige Durchgänge)
 Anzahl Rohre 196
 Rohrlänge 2,462 [m]
 Anzahl Umlenbleche 7
 Fensterhöhe (Cut) 35,50 [%]
 Anzahl Zellen 16
 Kondensationsfläche 28,8795 [m²]
 Leistung des Kondensators 507,75 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,42520 [kg/s] (1530,72 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,07456 [kg/s] (268,42 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 84,16 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 100000,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 99148,2 [Pa]
 Dampf Druckverlust 851,8 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 9,537 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 1,516 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit im 1. Umlenblech-Fenster 14,157 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 75,200 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 66,472 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
72,23	93,70	82,23	96,36	Methanol
27,77	6,30	17,77	3,64	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,000 [K] zugelassen...
 ...Nebelbildung baut Dampfübersättigung ab...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
 Kondensatmassenstrom Austritt 0,35064 [kg/s] (1262,29 [kg/h])
 Kondensattemperatur Austritt 68,269 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	68,19	-----	79,22	Methanol
-----	31,81	-----	20,78	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung	Wasser
Kühlmittelzustand	flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt	16,93000 [kg/s] (60948,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	4639,3 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	1,044 [m/s]
Kühlmittel Re	31824,484 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	7297,510 [W/m ² K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	58,000 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	65,168 [°C]

Kondensator zu 100,0 [%] wärmeübergangskontrolliert

Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten

Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.	
	1	2
71,95	1,0871	1,2461
70,22	1,0502	1,3077
68,72	1,0260	1,3704
67,42	1,0109	1,4285
66,26	1,0020	1,4791
65,41	0,9979	1,5136
64,40	0,9948	1,5512

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Druck [Pa]	Komponente Nr.	
	1	2
99661	1,1754	1,1594
99353	1,1097	1,2172
99159	1,0638	1,2823
99041	1,0336	1,3476
98970	1,0151	1,4085
98929	1,0053	1,4564
98907	0,9985	1,5055

Hinweis:

Thermodynamische Instabilität am KondensatorAustritt:

- aktueller Taupunkt des Dampfes 65,151 [C]
- realer Taupunkt des Dampfes 66,514 [C]
- Dampftemperatur 0,042 [K] unterhalb Taupunkt (=Übersättigung)
(=nur Diskretisierungs-Phänomen)

Achtung: Die Lösung konvergiert nicht stetig,
es gab Probleme wegen Oszillationen;
Abbruchkriterium ist 0,00225

Restfehler Wärmebilanz = -0,15 [%]

Versuch P 008

Rechnung:	kondensierter Dampfanteil	0,35033	[kg/s]
Messung:	kondensierter Dampfanteil	0,3695	[kg/s]
Differenz		-5,19	[%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 04.04.2000
 Job Ident:
 Panagoulas, Thesis Manchester, England, 1984, Versuch 008 (=Case 1, No.8),
 38 W/mK
 File: E:\LV\MESK_2007\BATCH[PANA_38WPMK]\PANAGOU008[38WPMK].JBB

Bauart 100
 horizontaler mantelseitiger Kondensator
 Dampf-Ein/Austritt vertauscht ("reverse")
 Spiegeltyp 1 (2 rohrseitige Durchgänge)
 Anzahl Rohre 196
 Rohrlänge 2,462 [m]
 Anzahl Umlenbleche 7
 Fensterhöhe (Cut) 35,50 [%]
 Anzahl Zellen 16
 Kondensationsfläche 28,8795 [m²]
 Leistung des Kondensators 581,66 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,41800 [kg/s] (1504,80 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,06767 [kg/s] (243,61 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 86,39 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 100000,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 99227,4 [Pa]
 Dampf Druckverlust 772,6 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 10,541 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 1,414 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit im 1. Umlenblech-Fenster 15,648 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 82,800 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 68,738 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
54,35	88,97	67,92	93,48	Methanol
45,65	11,03	32,08	6,52	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,000 [K] zugelassen...
 ...Abbau Dampfübersättigung nicht aufgetreten...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
 Kondensatmassenstrom Austritt 0,35033 [kg/s] (1261,19 [kg/h])
 Kondensattemperatur Austritt 72,028 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	48,90	-----	62,99	Methanol
-----	51,10	-----	37,01	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung	Wasser
Kühlmittelzustand	flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt	20,02000 [kg/s] (72072,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	6234,2 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	1,238 [m/s]
Kühlmittel Re	39548,159 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	8531,951 [W/m ² K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	61,400 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	68,342 [°C]

Kondensator zu 10,0 [%] wärmeübergangskontrolliert
Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Temp [°C]	1	2
77,06	1,2775	1,1068
74,28	1,1722	1,1638
71,87	1,0983	1,2368
69,84	1,0518	1,3119
68,16	1,0257	1,3794
67,07	1,0157	1,4195
65,91	1,0066	1,4663

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.	
Druck [Pa]	1	2
99655	1,4870	1,0483
99343	1,3471	1,0802
99171	1,2200	1,1352
99077	1,1248	1,2061
99026	1,0654	1,2832
98997	1,0377	1,3450
98982	1,0177	1,4089

Achtung: Die Lösung konvergiert nicht stetig,
es gab periodische Oszillationen;
Restfehler Kühlmitteltemperatur = 0,00136
Abbruchkriterium ist 0,00225

Restfehler Wärmebilanz = -0,09 [%]

Versuch P 101

Rechnung: kondensierter Dampfanteil	0,53309 [kg/s]
Messung: kondensierter Dampfanteil	0,5161 [kg/s]
Differenz	3,29 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 01.04.2000

Job Ident:

Panagoulis, Thesis Manchester, England, 1984, Versuch 101 (=Case 2, No.1),
38 W/mK

File: E:\LV\MESK_2007\BATCH[PANA_38WPMK]\PANAGOU101[38WPMK].JBB

Bauart 100
 horizontaler mantelseitiger Kondensator
 Dampf-Ein/Austritt vertauscht ("reverse")
 Spiegeltyp 1 (2 rohrseitige Durchgänge)

Anzahl Rohre 196
 Rohrlänge 2,462 [m]
 Anzahl Umlenkbleche 7
 Fensterhöhe (Cut) 35,50 [%]
 Anzahl Zellen 16
 Kondensationsfläche 28,8795 [m²]
 Leistung des Kondensators 631,25 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,56790 [kg/s] (2044,44 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,03481 [kg/s] (125,32 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 93,89 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 100000,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 98964,6 [Pa]
 Dampf Druckverlust 1035,4 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 10,679 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 0,660 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit im 1. Umlenkblech-Fenster 15,852 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 73,700 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 66,197 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	Komponente
14,78	6,30	26,66	11,33	Isopropylalkohol
64,72	90,94	62,25	87,18	Methanol
20,50	2,76	11,09	1,49	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,000 [K] zugelassen...
 ...Nebelbildung baut Dampfübersättigung ab...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
 Kondensatmassenstrom Austritt 0,53309 [kg/s] (1919,14 [kg/h])
 Kondensattemperatur Austritt 68,581 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	Komponente
-----	15,33	-----	27,66	Isopropylalkohol
-----	63,01	-----	60,62	Methanol
-----	21,65	-----	11,71	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung Wasser
 Kühlmittelzustand flüssig
 Kühlmittelmassenstrom Eintritt 21,68000 [kg/s] (78048,00 [kg/h])
 Kühlmitteldruck Eintritt 100000,0 [Pa]
 Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen) 7265,5 [Pa]
 Kühlmittelgeschwindigkeit 1,334 [m/s]
 Kühlmittel Re 39786,328 [-]
 Kühlmittel Wärmeübergangszahl 8831,942 [W/m²K]
 Kühlmitteltemperatur Eintritt 56,900 [°C]
 Kühlmitteltemperatur Austritt 63,860 [°C]

Kondensator zu 80,0 [%] wärmeübergangskontrolliert

Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
 Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.		
	1	2	3
72,08	1,0582	0,9951	1,4363
70,73	1,0415	1,0012	1,4393
69,34	1,0346	1,0058	1,4372
67,88	1,0392	1,0079	1,4325
66,34	1,0574	1,0070	1,4288
64,90	1,0859	1,0042	1,4307
62,96	1,1309	1,0002	1,4413

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Druck [Pa]	Komponente Nr.		
	1	2	3
99628	1,0948	0,9848	1,4255
99186	1,0647	0,9907	1,4386
98937	1,0444	0,9976	1,4438
98808	1,0342	1,0038	1,4410
98747	1,0363	1,0075	1,4324
98720	1,0529	1,0074	1,4246
98711	1,0903	1,0033	1,4261

Hinweis:

Thermodynamische Instabilität am Kondensatoraustritt:

- aktueller Taupunkt des Dampfes 66,602 [C]
- realer Taupunkt des Dampfes 66,339 [C]
- Dampftemperatur 0,141 [K] unterhalb Taupunkt (=Übersättigung)
 (=nur Diskretisierungs-Phänomen)

Achtung: Die Lösung konvergiert nicht stetig,
 es gab Probleme wegen Oszillationen;
 Abbruchkriterium ist 0,00431

Restfehler Wärmebilanz = -0,18 [%]

Versuch P 102

Rechnung: kondensierter Dampfanteil	0,48847 [kg/s]
Messung: kondensierter Dampfanteil	0,4775 [kg/s]
Differenz	2,30 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 01.04.2000

Job Ident:

Panagoulas, Thesis Manchester, England, 1984, Versuch 102 (=Case 2, No.2),
 38 W/mK

File: E:\LV\MESK_2007\BATCH[PANA_38WPMK]\PANAGOU102[38WPMK].JBB

Bauart 100

horizontaler mantelseitiger Kondensator

Dampf-Ein/Austritt vertauscht ("reverse")

Spiegeltyp 1 (2 rohrseitige Durchgänge)

Anzahl Rohre 196
 Rohrlänge 2,462 [m]
 Anzahl Umlenkleche 7
 Fensterhöhe (Cut) 35,50 [%]
 Anzahl Zellen 16
 Kondensationsfläche 28,8795 [m²]
 Leistung des Kondensators 603,76 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,52300 [kg/s] (1882,80 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,03453 [kg/s] (124,31 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 93,60 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 100000,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 99115,6 [Pa]
 Dampf Druckverlust 884,4 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 10,178 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 0,659 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit im 1. Umlenklech-Fenster 15,108 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 73,900 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 66,782 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
13,79	6,21	25,72	11,22	Isopropylalkohol
59,89	89,92	59,56	86,68	Methanol
26,32	3,87	14,72	2,10	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,000 [K] zugelassen...
 ...Nebelbildung baut Dampfübersättigung ab...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
 Kondensatmassenstrom Austritt 0,48847 [kg/s] (1758,51 [kg/h])
 Kondensattemperatur Austritt 69,684 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	14,31	-----	26,75	Isopropylalkohol
-----	57,84	-----	57,64	Methanol
-----	27,85	-----	15,61	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung Wasser
 Kühlmittelzustand flüssig
 Kühlmittelmassenstrom Eintritt 21,49000 [kg/s] (77364,00 [kg/h])
 Kühlmitteldruck Eintritt 100000,0 [Pa]
 Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen) 7123,9 [Pa]
 Kühlmittelgeschwindigkeit 1,324 [m/s]
 Kühlmittel Re 40213,140 [-]
 Kühlmittel Wärmeübergangszahl 8830,454 [W/m²K]
 Kühlmitteltemperatur Eintritt 58,300 [°C]
 Kühlmitteltemperatur Austritt 65,015 [°C]

Kondensator zu 72,5 [%] wärmeübergangskontrolliert
 Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
 Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.		
	1	2	3
73,46	1,1134	0,9945	1,4005
71,95	1,0708	0,9988	1,4199

70,37	1,0449	1,0037	1,4308
68,69	1,0357	1,0070	1,4351
66,97	1,0443	1,0074	1,4366
65,45	1,0660	1,0054	1,4391
63,55	1,1071	1,0017	1,4479

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.		
Druck [Pa]	1	2	3
99640	1,2114	0,9954	1,3552
99258	1,1310	0,9920	1,3940
99049	1,0783	0,9952	1,4206
98943	1,0466	1,0010	1,4343
98893	1,0345	1,0059	1,4371
98871	1,0416	1,0072	1,4350
98863	1,0722	1,0043	1,4371

Hinweis:

Thermodynamische Instabilität am Kondensatoraustritt:

- aktueller Taupunkt des Dampfes 66,881 [C]
- realer Taupunkt des Dampfes 66,831 [C]
- Dampftemperatur 0,049 [K] unterhalb Taupunkt (=Übersättigung)
(=nur Diskretisierungs-Phänomen)

Achtung: Die Lösung konvergiert nicht stetig,
es gab Probleme wegen Oszillationen;
Abbruchkriterium ist 0,00431

Restfehler Wärmebilanz = -0,19 [%]

Versuch P 103

Rechnung: kondensierter Dampfanteil	0,46646 [kg/s]
Messung: kondensierter Dampfanteil	0,4740 [kg/s]
Differenz	-1,59 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 04.04.2000
Job Ident:
Panagoulas, Thesis Manchester, England, 1984, Versuch 103 (=Case 2, No.3),
38 W/mK
File: E:\LV\MESK_2007\BATCH[PANA_38WPMK]\PANAGOU103[38WPMK].JBB

Bauart 100
horizontaler mantelseitiger Kondensator
Dampf-Ein/Austritt vertauscht ("reverse")
Spiegeltyp 1 (2 rohrseitige Durchgänge)

Anzahl Rohre 196
Rohrlänge 2,462 [m]
Anzahl Umlenbleche 7
Fensterhöhe (Cut) 35,50 [%]
Anzahl Zellen 16
Kondensationsfläche 28,8795 [m²]

Leistung des Kondensators 581,61 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,53370 [kg/s] (1921,32 [kg/h])
Dampfmassenstrom Austritt 0,06724 [kg/s] (242,06 [kg/h])
kondensierter Dampfanteil molar 87,81 [Mol%]
Dampfdruck Eintritt 100000,0 [Pa]
Dampfdruck Austritt 98934,1 [Pa]
Dampf Druckverlust 1065,9 [Pa]
Dampfgeschwindigkeit Eintritt 10,488 [m/s]
Dampfgeschwindigkeit Austritt 1,292 [m/s]
Dampfgeschwindigkeit im 1. Umlenblech-Fenster 15,568 [m/s]
Dampftemperatur Eintritt 75,500 [°C]
Dampftemperatur Austritt 67,417 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
12,43	6,49	23,29	11,77	Isopropylalkohol
62,94	88,38	62,88	85,44	Methanol
24,63	5,12	13,83	2,79	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,000 [K] zugelassen...
...Nebelbildung baut Dampfübersättigung ab...

Kondensatmassenstrom Eintritt 0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
Kondensatmassenstrom Austritt 0,46646 [kg/s] (1679,24 [kg/h])
Kondensattemperatur Austritt 69,568 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	13,25	-----	24,95	Isopropylalkohol
-----	59,41	-----	59,62	Methanol
-----	27,34	-----	15,43	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung Wasser
Kühlmittelzustand flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt 21,55000 [kg/s] (77580,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt 100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen) 7152,3 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit 1,328 [m/s]
Kühlmittel Re 40657,361 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl 8874,627 [W/m²K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt 59,000 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt 65,450 [°C]

Kondensator zu 90,0 [%] wärmeübergangskontrolliert
Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten
Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.		
	1	2	3
73,00	1,1053	1,0007	1,3981
71,63	1,0679	1,0033	1,4162
70,21	1,0459	1,0062	1,4279
68,80	1,0381	1,0078	1,4348
67,42	1,0440	1,0076	1,4394
66,27	1,0591	1,0061	1,4436
64,96	1,0876	1,0032	1,4513

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

	Komponente Nr.		
Druck [Pa]	1	2	3
99636	1,1884	1,0015	1,3594
99220	1,1213	0,9987	1,3924
98972	1,0759	1,0005	1,4158
98830	1,0488	1,0040	1,4296
98752	1,0375	1,0068	1,4358
98711	1,0405	1,0076	1,4376
98692	1,0577	1,0061	1,4400

Achtung: Die Lösung konvergiert nicht stetig,
es gab Probleme wegen Oszillationen;
Abbruchkriterium ist 0,00225

Restfehler Wärmebilanz = -0,18 [%]

Versuch P 104

Rechnung:	kondensierter Dampfanteil	0,37628 [kg/s]
Messung:	kondensierter Dampfanteil	0,3764 [kg/s]
Differenz		-0,03 [%]

KapJbb Kondensatorberechnung Ergebnisausgabe

Job Datum 02.04.2000
 Job Ident:
 Panagoulis, Thesis Manchester, England, 1984, Versuch 104 (=Case 2, No.4),
 38 W/mK
 File: E:\LV\MESK_2007\BATCH[PANA_38WPMK]\PANAGOU104[38WPMK].JBB

Bauart 100
 horizontaler mantelseitiger Kondensator
 Dampf-Ein/Austritt vertauscht ("reverse")
 Spiegeltyp 1 (2 rohrseitige Durchgänge)

Anzahl Rohre 196
 Rohrlänge 2,462 [m]
 Anzahl Umlenbleche 7
 Fensterhöhe (Cut) 35,50 [%]
 Anzahl Zellen 16
 Kondensationsfläche 28,8795 [m²]
 Leistung des Kondensators 480,72 [kW]

Dampfmassenstrom Eintritt 0,43420 [kg/s] (1563,12 [kg/h])
 Dampfmassenstrom Austritt 0,05792 [kg/s] (208,51 [kg/h])
 kondensierter Dampfanteil molar 87,27 [Mol%]
 Dampfdruck Eintritt 100000,0 [Pa]
 Dampfdruck Austritt 99310,2 [Pa]
 Dampf Druckverlust 689,8 [Pa]
 Dampfgeschwindigkeit Eintritt 8,703 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit Austritt 1,110 [m/s]
 Dampfgeschwindigkeit im 1. Umlenblech-Fenster 12,918 [m/s]
 Dampftemperatur Eintritt 77,600 [°C]
 Dampftemperatur Austritt 68,198 [°C]

Dampf Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
13,07	7,20	24,82	13,05	Isopropylalkohol
58,01	86,47	58,72	83,52	Methanol
28,92	6,33	16,46	3,44	Wasser

...Nebelbildung wurde mit Schwelle 0,000 [K] zugelassen...

...Nebelbildung baut Dampfübersättigung ab...

Kondensatmassenstrom Eintritt	0,00000 [kg/s] (0,00 [kg/h])
Kondensatmassenstrom Austritt	0,37628 [kg/s] (1354,61 [kg/h])
Kondensattemperatur Austritt	70,776 [°C]

Kondensat Zusammensetzung [mol%]		[Massen-%]:		Komponente
Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
-----	13,93	-----	26,63	Isopropylalkohol
-----	53,86	-----	54,90	Methanol
-----	32,22	-----	18,47	Wasser

Kühlmittel Bezeichnung	Wasser
Kühlmittelzustand	flüssig
Kühlmittelmassenstrom Eintritt	21,35000 [kg/s] (76860,00 [kg/h])
Kühlmitteldruck Eintritt	100000,0 [Pa]
Kühlmitteldruckverlust (ohne Stutzen)	7002,5 [Pa]
Kühlmittelgeschwindigkeit	1,319 [m/s]
Kühlmittel Re	41687,264 [-]
Kühlmittel Wärmeübergangszahl	8912,979 [W/m²K]
Kühlmitteltemperatur Eintritt	61,800 [°C]
Kühlmitteltemperatur Austritt	67,180 [°C]

Kondensator zu 67,5 [%] wärmeübergangskontrolliert

Aktivitätskoeffizienten mit starken Effekten

Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Temp [°C]	Komponente Nr.		
	1	2	3
74,26	1,1652	1,0005	1,3730
72,75	1,1030	1,0012	1,4020
71,23	1,0644	1,0044	1,4208
69,73	1,0447	1,0075	1,4315
68,26	1,0414	1,0088	1,4367
67,10	1,0488	1,0084	1,4387
65,88	1,0684	1,0064	1,4426

Taupunkt-Aktivitätskoeffizienten nachgeführt

Druck [Pa]	Komponente Nr.		
	1	2	3
99665	1,3132	1,0136	1,3115
99390	1,1870	1,0006	1,3637
99231	1,1107	0,9989	1,4009
99142	1,0664	1,0021	1,4235
99095	1,0445	1,0061	1,4342
99070	1,0401	1,0081	1,4370
99058	1,0505	1,0078	1,4384

Achtung: Die Lösung konvergiert nicht stetig,
es gab Probleme wegen Oszillationen;
Abbruchkriterium ist 0,00225

Restfehler Wärmebilanz = -0,18 [%]

Zusammenfassung der Nachrechnung der Panagoulas-Experimente [2]

Ohne Annahme eines kleinen Inertgas-Anteiles (der Größenordnung 0,3 [mol%]) im Dampf erweist sich der Dampf, mit den Temperaturangaben von Panagoulas [2] in der Regel als (von Versuch zu Versuch etwas unterschiedlich) unterkühlt. Jedoch bleiben diese kleinen Inertgas-Anteile im wesentlichen noch ohne deutlichen Einfluß auf das quantitative Kondensationsgeschehen.

Wegen den angesprochenen **Unsicherheiten der experimentellen Daten** wurde darauf verzichtet, alle Versuche nachzurechnen; die für die Nachrechnung herangezogenen Versuche wurden aber **weitgehend wahllos** herausgegriffen (es wurde keinesfalls eine systematische Auswahl getroffen!).

Vers. Nr.	Experiment [kg/s]	Rechnung [kg/s]	Differenz [%]	Wärmebilanz Fehler [%]
P 001	0,2414	0,22815	-5,49	-1,32
P 002	0,3255	0,30304	-6,90	-0,16
P 003	0,3688	0,35064	-4,92	-0,15
P 008	0,3695	0,35033	-5,19	-0,09
P 101	0,5161	0,53309	3,29	-0,18
P 102	0,4775	0,48847	2,30	-0,19
P 103	0,4740	0,46646	-1,59	-0,18
P 104	0,3764	0,37628	-0,03	-0,18

Die **mittlere Differenz** aus den 8 Experiment-Nachrechnungen beträgt (Mittelwert und Standardabweichung)

$$\boxed{-2,32 \pm 3,87 [\%]}$$

Die „Differenz“ ist definiert als
 $100 * (\text{berechneter Wert} - \text{Meßwert}) / \text{Meßwert}$

Hier liegt, ähnlich wie bei den Mizushina-Versuchen weiter oben, der Mittelwert innerhalb der Standardabweichung und ist geringfügig negativ. Daraus läßt sich schließen, daß MESK die Kondensatorleistung wohl eher ein wenig unterschätzt. Für die technische Auslegung ist tatsächlich eine leicht "konservative Auslegung" besser akzeptabel, als das Gegenteil einer rechnerischen Leistungsüberschätzung mit der Folge einer "zu kurzatmigen" Auslegung.

Während also hinsichtlich der Kondensationsleistung eine befriedigende Übereinstimmung zwischen den experimentellen Daten und der Nachrechnung, trotz aller Unschärfen im Experiment, festzustellen ist, liefert der Vergleich der Dampftemperaturen keine so gute Übereinstimmung.

Der Vergleich gemessener und berechneter Dampftemperaturen in Abb.2 zeigt nämlich, daß nur in der ersten Hälfte des Kondensators die Übereinstimmung der Temperaturverläufe als befriedigend erscheint, während in seiner zweiten Hälfte die Kurven merklich auseinanderlaufen. Zur Erklärung müssen hier wohl einerseits die recht komplizierte Strömungsführung, welche Totwassergebiete und Rückströmungen nicht auszuschließen vermag, und andererseits die Schwierigkeit einer genauen Messung innerhalb eines Kondensators, mit "nasser" Umgebung des Meßfühlers, als mögliche Fehlerquellen in Betracht gezogen werden.

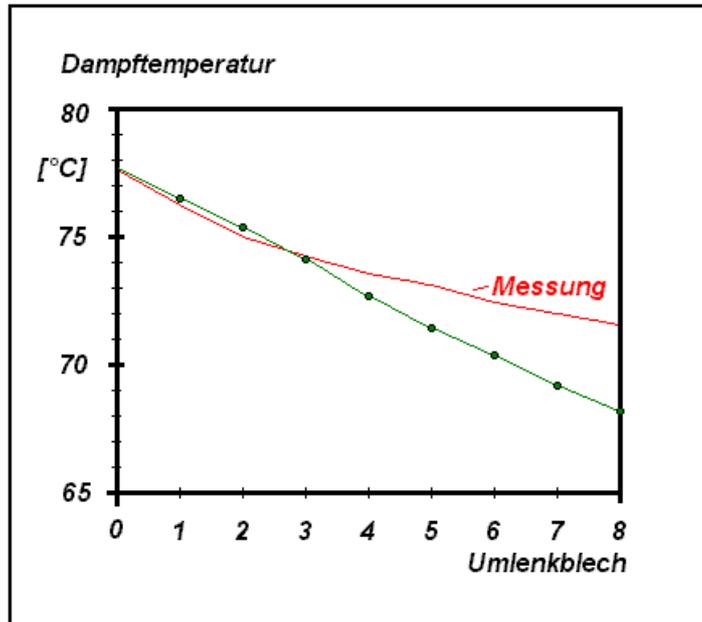


Abb 2 Vergleich Dampftemperaturen nach [2] mit der Rechnung (Versuch P 104)

Alles in allem sind auch die MESK-Nachrechnungen der Versuche von Panagoulis [2] als mindestens gut zu beurteilen.

Schrifttum

- [1] **T. Mizushina**, H. Ueda, S. Ikeno, K. Ishii: "Simplified Calculation for Cooler Condensers for Gas Multicomponent Vapour Mixtures", J. Heat Mass Transfer, Vol. 7, S. 95, 1964
- [2] **D. Panagoulis**: „Condensation Of Multicomponent Vapours In A Condenser Of Semi Industrial Scale“, Thesis, University of Manchester, England, September 1984
- [3] **G. Class**: „ Verifikation des MESK- alias Jbb Programmes “, Lauterbach Verfahrenstechnik, Software für Verfahrenstechnik, "JbbVerifikation.doc", www.lv-soft.de/, 2000