

Seite 19: Gleichung 2.16b

$$Ne^* = Ne \frac{4 \cdot f_R^3}{\pi \cdot f_S} \quad (2.16b)$$

Seite 21:

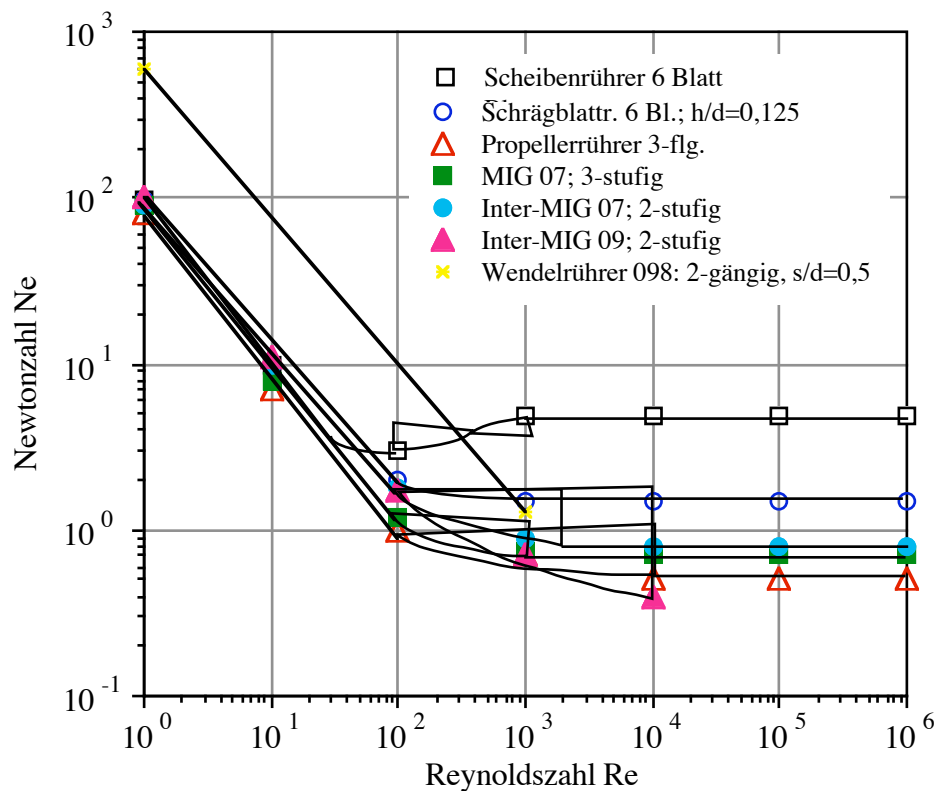


Abb. 2-4 Abhängigkeit der Newtonzahl im nichtbegasten Reaktor von der Reynoldszahl für verschiedene Rührwerke [6].

Seite 22: Gleichung (2.25)

$$Ne = 3,6 \cdot \left(\frac{d_R}{D}\right)^{-0,95} \cdot \left(\frac{b}{D}\right)^{0,75} \cdot z^{0,8} \quad (2.25)$$

Seite 25: Abb. 2-5; im Text

Hinweis 5.1.3 ersetzen durch Ø 5.1.1

Seite 30: Gleichung (2.43)

$$(\text{Klammerausdruck Gl. 2.42}) = 1,64 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^{0,6} \cdot \left(\frac{D}{d_R}\right)^{0,1} \quad (2.43)$$

---

**Seite 44:** Abbildung 2-23

In der Gleichung auf der Gasseite Index "G" statt "L" einfügen

---

**Seite 44:** Gleichung (2.73) und (2.74)

...Reaktor mit vollkommener Rückvermischung mit dem gemessenen Sauerstoffpartialdruck  $p_{O_2}$  (in % zum 100 %-Eichwert = **DO**) und dem Druck  $p_o$  im Gasraum des Reaktors (vgl. Abschnitt 8.1.4)

$$c_L = \frac{p_o + \rho_L \cdot g \cdot H/2}{H_{O_2}} \left( \frac{DO}{100} Y_{O_2}^\alpha \right) \quad (2.73)$$

und für die Verhältnisse mit Pfropfenströmung der Gasphase mit dem örtlich gemessenen Sauerstoffpartialdruck  $p_{O_{2,x}}$  und dem örtlichen Gesamtdruck  $p_x$

$$c_{L,x} = \frac{p_x}{H_{O_2}} \left( \frac{DO_x}{100} Y_{O_2}^\alpha \right) \quad (2.74)$$


---

**Seite 45:** Gleichung 2.75

$$H_{O_2} = \frac{0,21 \cdot 10^3}{0,0943 + 0,0318 \cdot \kappa - 3,451 \cdot 10^{-3} \cdot \kappa} \quad (2.75)$$


---

**Seite 45:** Tabelle 2-4 vorletzte und letzte Gleichung

$$d_{BS} = 1,4 \cdot \left( \frac{\sigma}{\rho_L} \right)^{0,6} \cdot \varepsilon_D^{-0,4} \cdot f_1(\varphi_G) \cdot f_2\left(\frac{A_f}{I_D}\right)$$

$$d_{BS} = 142 \cdot \frac{\sigma^{0,6} \cdot \varphi_G^{0,65}}{\rho_L^{0,2}} \left( \frac{P_R}{V_{R,L}} \right)^{-0,4} \left( \frac{\eta_G}{\eta_L} \right)^{1/4}$$


---

**Seite 48:** Text, 4. Absatz

..... und vorteilhaft als dimensionsloser Gleichungstyp **mit dem Modellvorschlag a + b ≈ 1** dargestellt .....

---

**Seite 50:** Tabelle 2-6, vierte Gleichung von oben

$$k_L \cdot a = 0,002 \cdot \left( \frac{P}{V_{R,L}} \right)^{0,7} \cdot u_G^{0,3}$$


---

**Seite 50:** 6. Gleichung von oben in Tabelle 2-6 (ein = - Zeichen zuviel!)

$$\frac{k_L \cdot a}{u_G} \left( \frac{v^2}{g} \right)^{1/3} = 9,3 \cdot 10^{-5} \cdot \left[ \frac{P_R}{V_{R,L} \cdot \rho_L \cdot g \cdot u_G} \right]^{0,7}$$

Seite 51: Gleichung (2.91)

$$c_L = \frac{R \cdot T}{H_{O_2,L} \cdot \theta_I} c_{O_2} \quad (2.91)$$

Seite 53: zweite Zeile unter Abb. 2-27

... bei stationären Bedingungen ... die spezifische .....

..... Sauerstoffaufnahme (OUR = OTR)

Seite 53: Gleichung (2.97) und (2.98)

$$OTR = \frac{1}{V_{R,L} \cdot V_{M,n}} \frac{T_n}{p_n} \cdot \left[ \frac{p^\alpha}{T^\alpha} \dot{V}_G^\alpha \cdot Y_{O_2}^\alpha - \frac{p^\omega}{T^\omega} \dot{V}_G^\omega \cdot Y_{O_2}^\omega \right] \quad (2.97)$$

$$OTR = \frac{p^\alpha \cdot T_n}{p_n \cdot T^\alpha} \frac{1}{V_{R,L} \cdot V_{M,n}} \cdot \dot{V}_G^\alpha \cdot \left[ Y_{O_2}^\alpha - \frac{1 - Y_{O_2}^\alpha - Y_{CO_2}^\alpha}{1 - Y_{O_2}^\omega - Y_{CO_2}^\omega} Y_{O_2}^\omega \right] \quad (2.98)$$

In Gleichung 2.98 ist der Eingangsvolumenstrom auf die Istbedingungen bezogen. Wird dieser Strom mit einem Mass Flow Meter (Massendurchflußmesser) gemessen und dieser vom Gerät als Volumenstrom ausgegeben, so ist dieser i.d.R. auf den Normzustand (!!!) bezogen. In diesem Fall lautet die Gleichung:

$$OTR = \frac{1}{V_{R,L} \cdot V_{M,n}} \cdot \dot{V}_{G,n}^\alpha \cdot \left[ Y_{O_2}^\alpha - \frac{1 - Y_{O_2}^\alpha - Y_{CO_2}^\alpha}{1 - Y_{O_2}^\omega - Y_{CO_2}^\omega} Y_{O_2}^\omega \right] \quad (2.98b)$$

Seite 54: Gleichung (2.101) und (2.102)

$$(c/c_\infty)_1 = 1 - \exp(-k_L \cdot a \cdot t_1) \quad (2.101)$$

$$(c/c_\infty)_2 = 1 - \exp(-k_L \cdot a \cdot t_2) \quad (2.102)$$

Seite 60: Gleichung 2.119

$$Nu_R \equiv \frac{\alpha_R \cdot \delta}{\lambda_R} = \dots\dots$$

$\alpha_R$  - Wärmeübergangskoeffizient  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ ;  $\lambda_R$  - Wärmeleitung  $\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$ ;  $\delta$  - Wandstärke [m]

**Seite 72:** Gleichung (2.139)

$$E \sim [\text{Ne} \cdot \mathbf{n}^3 \cdot d_R^2]^{2/3} \cdot [d_R^2]^{15/9}. \quad (2.139)$$

**Seite 84:** Gleichung (2.154)

$$D = \left( \frac{P}{V_{R,L} \cdot \rho \cdot \nu} \right)^{1/2} \quad (2.154)$$

**Seite 118:** Gleichung (3.12)

$$v_L = \frac{1}{150} \frac{\varphi_S^2 \cdot \varepsilon_L^3 \cdot g \cdot d_P^2 \cdot \Delta \rho}{(1 - \varepsilon_L) \cdot \nu \cdot \rho_L} \quad (3.12)$$

**Seite 120:** der letzte Satz inklusive Gleichung 3.21 .... Aus dem Zustandsdiagramm (vgl. Abb. 3-33) lassen sich dann noch .....zur Ermittlung des Druckverlustes im Festbett, der sich wie folgt .... wird mit dem ersten Satz auf Seite 122 inklusive Gleichung 3.22 getauscht. Gleichung 3.21 wird zu 3.22.

**Seite 122:** der Satz ...Die Druckdifferenz (-verlust)  $\Delta p$  läßt sich im Lockerungspunkt und damit für eine Wirbelschicht, nach folgenden ..... [3.22] wird nach Seite 120 anstelle des dortigen letzten Satzes verschoben. Gleichung 3.22 wird 3.21.

**Bitte weitere Korrekturen in rot beachten!!!**

**Seite 136:** 2. Absatz, Hinweis .....(.... Magnetfisch, vgl. 5-48)

**Seite 149:** Gleichung (4.1)

zur Berechnung von A gehören die Werte:

$$\Delta T_m = 32,7 \text{ °C} \text{ und } k = 600 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

**Seite 162:** Abb. 5-9 .....ein Normstutzen (DN 25, **rechtes** Bild) ....

---

**Seite 176:** Absatz nach Gleichung (5.3)

..... 22 % ( $d \geq 5,33$  mm) bzw. 30 % ( $d < 5,33$  mm) .....

---

**Seite 176:** Toleranz für Nut:  $\pm 4,0$  % für  $d < 5,33$  mm

**Seite 177:** Toleranz für Nut :  $\pm 3,0$  % für  $d \geq 5,33$  mm

---

**Seite 179:** Gleichung 5.10

statt "c"  $\rightarrow$  "w" für die Geschwindigkeit einfügen

---

**Seite 179:** Gleichung 5.10

$$\dots\dots + \frac{\partial \tau}{\partial s} \cdot ds \cdot U \cdot ds$$


---

**Seite 180:** Gleichung 5.12

$$w = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa - 1} \frac{p_R}{\rho_R} \left[ 1 - \left( \frac{p}{p_R} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right]} \quad (5.12)$$

Gleichung 5.16

$$D_{ad} = \sqrt{\frac{4 \cdot V \cdot M}{\pi \cdot R \cdot T \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa - 1} \frac{p}{\rho \cdot p_R} \left[ 1 - \left( \frac{p}{p_R} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right]}} \frac{\Delta p}{\Delta t}} \quad (5.16)$$


---

**Seite 181:** Gleichung 5.21

$$w = \frac{\Delta p_2 \cdot D^2}{32 \cdot L \cdot \eta} \quad (5.21)$$


---

**Seite 192:** Abb. 5-36  $\rightarrow$  siehe beiliegendes Extrablatt.

---

**Seite 193:** letzte Zeile; statt (8)  $\rightarrow$  (6)

---

Seite 206: Abb. 5-51 → die Abbildung rechts (Foamkill) steht auf dem Kopf!

Seite 212: Abb. 5-59 Text

.... mit Wasser und **hydrophobe** Membranen .....

Seite 258: Abb. 6-8

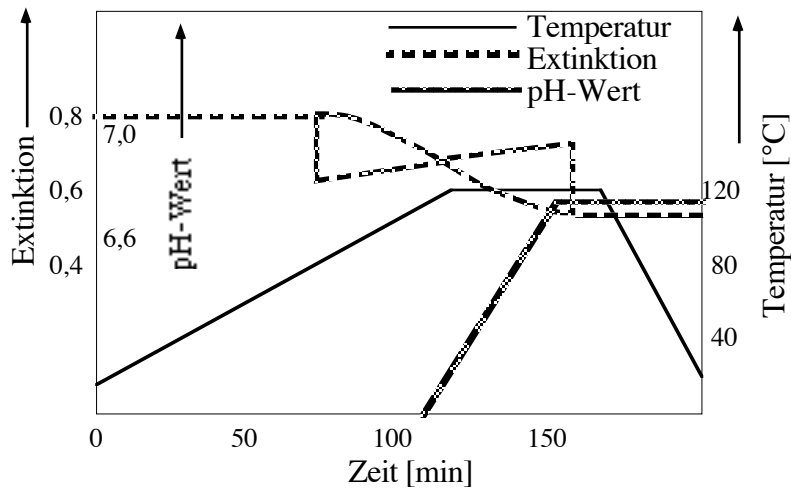


Abb. 6-8 Mediumsveränderungen während des Sterilisationsvorganges [63]. Anhand des pH-Wertes und der Aufzeichnung der Extinktion können Veränderungen im Medium während der Hitzesterilisation festgestellt werden. Die Kenntnis weist zunächst nur darauf hin, daß sich etwas verändert hat. Welche Auswirkungen das auf den Prozeß haben kann, muß dann noch ermittelt werden.

Seite 262: Gleichung 6.46a

$$-\int dc = k_0(T) \cdot t \rightarrow -c \Big|_{c_0}^{c_t} = k_0(T) \cdot t \quad \text{oder} \quad -(c_t - c_0) = k_0(T) \cdot t \quad (6.46a,b,c)$$

Gleichung 6.49b

$$\ln c_t - \ln c_0 = -k_1(T) \cdot t \rightarrow \ln C = \ln \frac{c_t}{c_0} = -k_1(T) \cdot t \quad (6.49a,b)$$

Seite 263: Gleichung 6.52a,b

$$-\int \frac{dc}{c^3} = k_3(T) \rightarrow \frac{1}{2 \cdot c^2} \Big|_{c_0}^{c_t} = k_3(T) \cdot \frac{v_{A2} \cdot v_{A3}}{v_{A1}^2} \cdot t \quad (6.52a,b)$$

Gleichung 6.53a,b

$$\frac{1}{c_t^2} - \frac{1}{c_0^2} = 2 \cdot k_3(T) \cdot \frac{v_{A2} \cdot v_{A3}}{v_{A1}^2} \cdot c_0^2 \cdot t \rightarrow \frac{1}{C^2} = \frac{1}{\left(\frac{c_t}{c_0}\right)^2} = k_3(T) \cdot 2 \cdot \frac{v_{A2} \cdot v_{A3}}{v_{A1}^2} \cdot c_0^2 \cdot t + 1 \quad (6.53a,b)$$

**Seite 265:** Gleichung 6.54d

$$k_3(T) = \frac{k(T) \cdot v_{A1}^2}{2 \cdot c_0^2 \cdot v_{A2} \cdot v_{A3}} \quad (6.54d)$$

**Seite 275:** Gleichung (6.76)

$$0 = - \frac{\partial c_i}{\partial \chi} + \frac{D_{ax}}{u \cdot L} \frac{\partial^2 c_i}{\partial \chi^2} - \frac{L}{u} \cdot k \cdot c_i \quad (6.76)$$

**Seite 283:** Gleichung 7.26 und 7.16 (Einheiten kontrollieren!)

$$\mu = \mu_{max} \cdot \frac{S}{K_s + S + \frac{S^2}{K_i}}$$

**Seite 287:** Gleichung 7.15 bis 7.29 ersetzen durch folgende Gleichungen

$$S \frac{dV}{dt} = \dot{V}^\alpha \cdot S^\alpha - k_S \cdot S \cdot V \quad (7.26)$$

da  $S = \text{const.}$  gilt muß die Verdünnungsrate angepaßt werden!

$$\rightarrow \dot{V}^\alpha = \frac{\mu \cdot X_0 \cdot V_0}{Y_{X/S} \cdot (S^\alpha - S)} e^{\mu \cdot t}$$

**Seite 293:** Gleichung 7.46

$$\frac{X^\alpha}{\tau} - \frac{(1-R)}{\tau} \cdot X = -\mu \cdot X \quad (7.46)$$

**Seite 297:** Gleichung (7.53) bis (7.57)

müssen noch überprüft werden!!!

**Seite 299:** Tabelle 8-2 fehlt!!

**Seite 307:** Abschnitt 8.1.9 "Abgasmessung" - zweiter Absatz

.....und paralleler Neutralisation mit Kalziumkarbonat entsteht pro **zwei** Mol Milchsäure ein Mol Kohlendioxid. Dadurch .....

**Seite 317:** letzter Absatz

..vorliegt, dann ergibt eine **einfache** Wahrscheinlichkeitsbetrachtung, daß im Bioreaktor schon mindestens  $2 \cdot 10^4$  Keime überlebt .....

**Seite 338:** Tabelle 9-2 → überarbeitete Version berücksichtigen!

**Tabelle 9-2** Einsatzbereichsmöglichkeit von 12 ausgewählten Bioreaktoren. Die Symbole beuten: -- niedrig; --- sehr niedrig; ↑↑- sehr hoch; b-batch; k-kontinuierlich.

Kriterium	Dim	Reaktortypen											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mech. Antrieb	$\frac{kW}{m^3}$	-	-	15	1	5	7	7	10	10	7	10	10
belüftet(1 vvm)	$\frac{kW}{m^3}$												
$k_L \cdot a$ (max.)	$h^{-1}$	200	600	2000	400	100	700	800	1000	2000	1500	1500	1200
OTR <	$\frac{g}{l \cdot h}$	1,5	5	15	3	1	6	7	9	15	13	13	10
max. Volumen	$m^3$	900	400	300	400	500	80	5	10	400	80	100	200
Viskosität	Pa·s	--	<0,1	-	<0,4	--	-	-	-	>2	<2	>2	>2
Kosten (relativ)	-	1	2	7	5	3	6	8	4	9	11	12	10
Fahrweise	-	b/k	b/k	b/k	b/k	k	k	k	k	b/k	b/k	b/k	b/k
Schlankheitsgr.	-	5-10	5-10	2-6	3-6	2-6	5-10	-	-	2-3	2-4	1-3	3-5

**Seite 340:** Tabelle 9-3

**Tabelle 9-3** Auswahlkriterienmatrix für 12 ausgewählte Bioreaktoren. Die Zahlen beziehen sich auf die jeweilige Reaktornummer in Abb. 9-2.

Viskosität	in Pa·s Reaktor →	> 2 9/11/12	< 2 10	< 0,4 3/4/6/7/8	< 0,1 1/2/5
Pumpfähigkeit des Mediums	Reaktor →	s. schlecht 9/11/12	schlecht 10 / 1	gut 2/4/7/8	sehr gut 3/5/6
mech. Belastbarkeit des Mikroorganismus	Reaktor →	nicht 1 / 2	etwas 4/6/9/10		gut 3/5/7/8/11/12



maximale Reaktorgröße	in m <sup>3</sup> Reaktor →	> 500 1	< 400 9/4/12	< 300 2/11	< 100 3/5/6/10	< 10 7	< 5 8
Feststoffgehalt	Reaktor →	sehr hoch -----> sehr gering 9 11 12 10 4 2 1 8 3 6 5 .7					
Schaumbildungs- neigung des Mediums	Reaktor →	sehr groß -----> sehr gering 10 3 9 7 11 2 1 8 12 4 5 6					
Homogenisierfähigkeit des Mediums	Reaktor →	sehr schlecht -----> sehr gut 10 9 11 12 8 3 6 5 4 7 2 1					
Wärme- und Stofftransport	Reaktor →	sehr groß -----> sehr klein 3 9 10 11 12 8 7 6 2 4 1 5					
Sterilitätsanforderungen	Reaktor →	sehr groß -----> sehr klein 1 2 3 4 8 9 10 11 7 12 6 5					
biologische Sicherheit	Reaktor →	sehr groß -----> sehr klein 1 2 3 4 8 9 10 11 7 12 6 5					

**Seite 343:** letzter Absatz

... betrachtet. Aus der Kriterienmatrix (Tabelle 9-3) läßt sich für die Fähigkeit der Schaumbeherrschung entnehmen, daß in der Reihenfolge Umwurfreaktor (10), Strahldüsenreaktor (3) und Rührwerksbioreaktor (9) mit mechanischem Schaumabscheider die geeignetsten Typen sind. Auf Grund des hohen Anspruches hinsichtlich Wärmeabfuhr zeigt sich der Umwurfreaktor (10) im dünnflüssigen Medium etwas tauglicher als der Rührwerksbioreaktor (9), so daß letztendlich der Umwurfreaktor .....

**Seite 344:**

Die Gasleerrohrgeschwindigkeit erhält man aus Gleichung 2.106. Näherungsweise läßt sie sich aus dem Reaktionsvolumen (Gleichung 9.2a) abschätzen. Ebenso läßt sich aus Tabelle 9-2 und Verdoppelung des Flüssigvolumens die Anzahl der Reaktoren näherungsweise finden ( $V = 2 \cdot 299 \rightarrow n = 6$ ). Man erhält schließlich

$$u_G = \frac{0,5}{60} \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 299 \cdot 3^2}{6 \cdot \pi}} = 0,069 \text{ [m/s]} .$$

Der größere Schlankheitsgrad von  $f_S = (H/D) = 3$  wurde dabei wegen der dadurch günstigeren Wärmeaustauschfläche gewählt. Mit einem etwas über reinem Wasser liegenden Koaleszenzfaktor von  $f_{KZ} = 1,1$  (gewählt, vgl. Abschnitt 2.1.4.1, Gleichung 2.81) erhält man für den Gasanteil

$$\varphi_G = \sqrt{1,5^{0,5} \cdot 0,069} \cdot 1,1 = 0,32$$

und schließlich für den Faktor  $f_G$

$$f_G = 1 + 0,32 = 1,32.$$

Der Faktor  $f_E$  für die Einbauten muß im Einzelfall bestimmt werden. Da beim ...

**Seite 346:** Fallbeispiel II; 2. Zeile

---

.....mit **mäßigem** Sauerstoffbedarf ...

---

**Seite 346:** letzter Absatz

Anders sieht es dagegen aus, wenn man die Forderungen hinsichtlich „Sauerstoffversorgung“, „Scherempfindlichkeit“ und „Kontaminationsrisiko“ betrachtet. Aus der Kriterienmatrix (Tabelle 9-3) läßt sich für das Verhalten hinsichtlich „Scherempfindlichkeit“ entnehmen, daß in der Reihenfolge Blasensäule (1), Airliftreaktor (2) und **Wirbelschichtreaktor (4)** die geeignetsten Typen sind. Auf Grund des hohen Anspruches hinsichtlich Sauerstoffversorgung und vor allem auch der Steriltechnik,

---

**Seite 347:** erster Absatz

... sich der Airliftreaktor (2) etwas tauglicher als der **Wirbelschichtreaktor (4)** und die Blasensäule (1), so daß letztendlich der Airliftreaktor ausgewählt wird. Zur Reduzierung ....

Ende zweiter Absatz

.. Der Koaleszenzfaktor beträgt in diesem Fall  $f_{KZ} = 1,1$  (vgl. Abschnitt 2.1.5.1, Gleichung 2.81).

im Anschluß an den dritten Absatz

.....etwa  $400 \text{ m}^3$  entnommen werden. Das ergibt letztendlich einen Reaktor von  $490 \text{ m}^3$  (**490 liegt noch in der Größenordnung 400!!**).