



AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP B 01 J / 284 324 2

(22) 16.12.85

(44) 25.02.87

(71) VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“, 4220 Leuna 3, DD

(72) Spindler, Heinz, Dr. Dipl.-Chem.; Ermischer, Wolfgang, Dr. Dipl.-Ing.; Entner, Roland, Dipl.-Chem.; Häntsch, Walter, Dr. Dipl.-Ing.; Poppe, Bernd, Dipl.-Chem.; Peters, Friedhelm, Dipl.-Chem.; Schütt, Arnd, Dipl.-Ing.; Seidel, Rüdiger, Dr. Dipl.-Chem., DD

(54) Verfahren zur Reaktivierung von zeolithischen Molekularsieben

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reaktivierung von zeolithischen Molekularsieben, die vor allem in Prozessen zur adsorptiven Gewinnung von n-Alkanen aus Kohlenwasserstoffgemischen eingesetzt werden. Ziel der Erfindung ist es, Molekularsiebe durch ein solches Zusammenwirken von Maßnahmen zu reaktivieren, das hohe Kapazitäten und Stabilitäten der reaktivierten Molekularsiebe gewährleistet. Das Verfahren ist durch eine Behandlung des zu reaktivierenden Molekularsiebes mit inertgashaltigem Ammoniak, wobei der Ammoniakgehalt des Gases kontinuierlich oder stufenweise reduziert wird, und durch eine Oxidation der koksartigen Ablagerungen auf dem Adsorbens gekennzeichnet, wobei der Sauerstoffgehalt in der ersten Phase der Regeneration auf der Grundlage eine empirischen Beziehung ermittelt wird.

DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

PATENTSCHRIFT

(19) **DD** (11) **243 217 A1**

4(51) B 01 J 20/18

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP B 01 J / 284 324 2

(22) 16.12.85

(44) 25.02.87

(71) VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“, 4220 Leuna 3, DD

(72) Spindler, Heinz, Dr. Dipl.-Chem.; Ermischer, Wolfgang, Dr. Dipl.-Ing.; Entner, Roland, Dipl.-Chem.; Häntsch, Walter, Dr. Dipl.-Ing.; Poppe, Bernd, Dipl.-Chem.; Peters, Friedhelm, Dipl.-Chem.; Schütt, Arnd, Dipl.-Ing.; Seidel, Rüdiger, Dr. Dipl.-Chem., DD

(54) Verfahren zur Reaktivierung von zeolithischen Molekularsieben

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reaktivierung von zeolithischen Molekularsieben, die vor allem in Prozessen zur adsorptiven Gewinnung von n-Alkanen aus Kohlenwasserstoffgemischen eingesetzt werden. Ziel der Erfindung ist es, Molekularsiebe durch ein solches Zusammenwirken von Maßnahmen zu reaktivieren, das hohe Kapazitäten und Stabilitäten der reaktivierten Molekularsiebe gewährleistet. Das Verfahren ist durch eine Behandlung des zu reaktivierenden Molekularsiebes mit inertgashaltigem Ammoniak, wobei der Ammoniakgehalt des Gases kontinuierlich oder stufenweise reduziert wird, und durch eine Oxidation der koksartigen Ablagerungen auf dem Adsorbens gekennzeichnet, wobei der Sauerstoffgehalt in der ersten Phase der Regeneration auf der Grundlage einer empirischen Beziehung ermittelt wird.

ISSN 0433-6461

6 Seiten

Zur PS Nr. *243.217*.....

ist eine Zweitschrift erschienen.

(Teilweise bestätigt gem. § 18 Abs. 1 d. Änd.Ges.z.Pat.Ges.)

Erfindungsanspruch:

1. Verfahren zur Reaktivierung von zeolithischen Molekularsieben, die zur Gewinnung von n-Alkanen aus Kohlenwasserstoffgemischen verwendet werden und durch Ablagerungen kohlenstoffhaltiger Verbindungen deaktiviert sind, durch Desorbierung des Molekularsieves von Kohlenwasserstoffen mittels Überleiten von Inertgasen bei erhöhten Temperaturen in einer ersten Stufe und anschließendes kontrolliertes Abbrennen der Ablagerungen in zweiter Stufe, **gekennzeichnet dadurch**, daß in der ersten Stufe das zu regenerierende Molekularsieb bei erhöhten Temperaturen mit inertgashaltigem Ammoniak behandelt wird, wobei der Ammoniakgehalt des Gases während der Behandlung stufenweise oder kontinuierlich reduziert und dabei die Temperatur des Molekularsieves erhöht bzw. der Prozeßdruck erniedrigt wird, und in der zweiten Stufe das Abbrennen der Ablagerungen mit einem sauerstoffhaltigem Gas erfolgt.
2. Verfahren nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Inertgasgehalt im Ammoniak stufenweise von 5 auf 95 Vol.-% erhöht wird, die Gasbelastung 200 bis 800 Volumenteile/Volumenteil Molekularsieb und Stunde und die Dauer der Phasen mindestens die 5fache Zeit der normalen Desorption beträgt, die von der Gasbelastung abhängig ist.
3. Verfahren nach den Punkten 1 und 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß bei Erreichen des Inertgasgehaltes von 10 bis 30 Vol.-% im Ammoniak die Temperatur in der Molekularsiefschüttung in Temperaturintervallen von 10 bis 30 K/h auf 753 bis 793 K erhöht und der Prozeßdruck auf 0,2 bis 0,4 PMa gesenkt wird.
4. Verfahren nach den Punkten 1 bis 3, **gekennzeichnet dadurch**, daß als Inertgas wasserstoff- und/oder stickstoffhaltige Gase verwendet werden.
5. Verfahren nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Sauerstoffgehalt im Regenerationsgas in der Anfangsphase der oxidativen Regeneration des Adsorbens auf der Grundlage folgender empirischer Beziehung berechnet und eingestellt wird:

$$S = \frac{K \times C}{RGB \times H},$$

wobei

S — der Sauerstoffgehalt im Regenerationsgas in Vol.-%;

K — die Temperaturerhöhung in der Molekularsiefschüttung bei der Regeneration des Adsorbens in K;

RGB — die Regenerationsgasbelastung in v/vh;

C bzw. — der Gehalt der koksartigen Ablagerungen auf dem Molekularsieb an Kohlenstoff bzw. Wasserstoff

H in Ma.-%
sind.

6. Verfahren nach den Punkten 1 und 5, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Temperaturerhöhung bei der Reaktivierung von Molekularsieben in der Anfangsphase 200 K, vorzugsweise 60 bis 160 K, und die Temperatur in der Molekularsiefschüttung 873 K nicht übersteigt.

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reaktivierung von zeolithischen Molekularsieben. Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich vor allem zur Reaktivierung zeolithischer Molekularsieve, die zur Gewinnung von n-Alkanen aus Kohlenwasserstoffgemischen verwendet werden.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Zeolithische Molekularsieve werden in der erdölverarbeitenden und chemischen Industrie als Adsorbentien für die Gewinnung von n-Alkanen aus Kohlenwasserstoffgemischen verwendet. Die Adsorptionskapazität der zeolithischen Molekularsieve für n-Alkane nimmt während des Betriebes ab. Diese Deaktivierung der Molekularsieve ist zum Teil auf die Akkumulation polarer Verbindungen, z. B. Heteroverbindungen und bestimmter Aromaten, auf den zeolithischen Molekularsieben und/oder auf die Bildung koksartiger Produkte im Porengefüge der Adsorbentien zurückzuführen. Aus diesem Grunde müssen die zeolithischen Molekularsieve von Zeit zu Zeit einer Reaktivierung unterzogen werden.

Diese Reaktivierung erfolgt in bekannter Weise dadurch, daß die im und/oder am zeolithischen Molekularsieb vorhandenen Ablagerungen kontrolliert abgebrannt werden. Zunächst wird das zeolithische Molekularsieb von noch desorbierbaren Kohlenwasserstoffen befreit. Im allgemeinen geschieht dies durch Überleiten von trockenem Stickstoff oder Kohlendioxid oder Gemischen beider Gase bei Temperaturen zwischen 533 und 713 K. Eine weitere Möglichkeit für diesen Verfahrensschritt ist im Anlegen von Vakuum ebenfalls bei Temperaturen zwischen 533 und 713 K gegeben, wie sie in der US-PS 3030431 beschrieben ist. Die Anwendung der Vakuumbehandlung erfordert jedoch einen hohen technischen Aufwand.

In der DD-PS 78228 wird die Behandlung des zu reaktivierenden Molekularsieves mit Wasserstoff oder wasserstoffhaltigen Gasen als Vorstufe der eigentlichen oxidativen Regeneration beschrieben. Diese Behandlung führt zur Reduzierung der S-haltigen Verbindungen und zu einer beträchtlichen Erhöhung des C/H-Verhältnisses der koksartigen Ablagerungen auf dem

Molekularsieb. Der Nachteil des Verfahrens besteht darin, daß durch die Vorbehandlung schwer abbrennbare kohlenstoffhaltige Verbindungen entstehen, deren Oxidation hohe Temperaturen erfordert. Die Folge ist eine hohe thermische Belastung des Molekularsieves und die Beeinträchtigung der Stabilität des Adsorbens.

Es ist weiterhin bekannt, zeolithische Molekularsieve vor der oxidativen Regeneration einer langen Desorptionsperiode zu unterwerfen, um dadurch einen Teil der bei der normalen Desorption nicht entfernbaren Stoffe zu desorbieren. Diese Vorbehandlung wird praktisch unter den gleichen Bedingungen wie die normale Desorption durchgeführt, nur beträgt ihre Dauer das 2- bis 20fache der normalen Desorptionszeit. Als Desorptionsmittel werden Kohlenwasserstoffe verwendet, die die gleiche Konfiguration wie die abzutrennenden Kohlenwasserstoffe aufweisen (DE-AS 1 244 135; DE-OS 1 470 489). Ein Teil der als Desorptionsmittel verwendeten Kohlenwasserstoffe wird mit Inertgas verdrängt. Der Nachteil des Verfahrens besteht darin, daß ein zusätzlicher wirtschaftlich aufwendiger Verfahrensschritt zur Verdrängung der als Desorptionsmittel verwendeten Kohlenwasserstoffe erforderlich ist und gleichzeitig auf Grund des aus den Kohlenwasserstoffen gebildeten Wassers eine irreversible Schädigung der Molekularsieve eintritt.

In den US-Patentschriften 3030 431, 3069 362, 3069 363 und 3375 204 ist die oxidative Reaktivierung zeolithischer Molekularsieve beschrieben. Der Sauerstoffgehalt wird dabei so hoch gewählt, daß im Regenerationsabgas weniger als 2,0 Vol.-% Wasser und weniger als 0,7 Vol.-% SO₂ enthalten sind und die Temperatur von 893 K nicht überschritten wird. Zur Reaktivierung von Molekularsieben nach diesen Patentschriften führt selbst bei Einhaltung der genannten Grenzwerte zu einer sehr starken hydrothermalen und thermischen Belastung des Adsorbens. Die Folge sind Veränderungen der Kristallstruktur des Zeolithes und ein geringerer Kapazitätsgewinn durch die Reaktivierung.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist die Reaktivierung von zeolithischen Molekularsieben, die zur Gewinnung von n-Alkanen aus Kohlenwasserstoffgemischen verwendet werden und durch Ablagerungen kohlenstoffhaltiger Verbindungen deaktiviert sind, durch ein solches Zusammenwirken von Maßnahmen, das hohe Kapazitäten und Stabilitäten der reaktivierten Molekularsieve gewährleistet.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Reaktivierung durch Desorbieren des Molekularsieves von Kohlenwasserstoffen mittels Überleiten von Inertgasen und kontrolliertes Abbrennen der Ablagerungen durchzuführen.

Erfindungsgemäß wird das zu regenerierende Molekularsieb in einer ersten Stufe bei erhöhten Temperaturen mit inertgashaltigem Ammoniak behandelt, wobei der Ammoniakgehalt des Gases während der Behandlung stufenweise oder kontinuierlich reduziert und dabei die Temperatur des Molsieves erhöht bzw. der Prozeßdruck erniedrigt wird, und in einer zweiten Stufe das Abbrennen der Ablagerungen mit einem sauerstoffhaltigem Gas erfolgt. Vorzugsweise wird der Inertgasgehalt im Ammoniak von 5 auf 95 Vol.-% erhöht, die Gasbelastung beträgt 400 bis 800 Vol.-Teile/Vol.-Teil Molekularsieb und Stunde. Die Zeit der Desorptionsphase beträgt mindestens die 5fache der normalen Desorptionszeit, die von der Gasbelastung abhängig ist. Die Desorption erfolgt bei Temperaturen von 653 bis 823 K, Drücken von 0,1 bis 1,1 MPa und Desorptionsmittelbelastungen von 400 bis 800 Volumenteilen inertgashaltigen Ammoniaks pro Volumenteil Molekularsieb und Stunde. Vorzugsweise wird beim Erreichen eines Inertgasgehaltes von 10 bis 30 Vol.-% im Ammoniak die Temperatur in der Molekularsieveschüttung in Temperaturintervallen von 10 bis 30 K/h auf 753 bis 793 K erhöht und der Prozeßdruck auf 0,2 bis 0,4 MPa gesenkt. Als Inertgasbestandteile des Ammoniaks werden wasserstoff- und/oder stickstoffhaltige Gase verwendet. Mit der Realisierung dieser Maßnahme wird die Schädigung des Molekularsieves durch die Reaktivierung verhindert, der Sauerstoffbedarf bei der oxidativen Regeneration des Molekularsieves und der Gehalt an Wasser und nitrosen Gasen im Regenerationsabgas minimiert.

Es wurde gefunden, daß der in der ersten Phase der Reaktivierung gewählte Sauerstoffgehalt im Regenerationsgas die Kapazität und Stabilität des reaktivierten Molekularsieves entscheidend bestimmt. Der Sauerstoffgehalt des Regenerationsgases in der ersten Phase der Reaktivierung wird auf der Grundlage einer empirischen Beziehung berechnet. Der empirischen Beziehung liegen die Regenerationsgasbelastung RGB (v/vh), die Temperaturerhöhung in der Molekularsieveschüttung bei der Regeneration des Adsorbens (K), der Kohlenstoff- und Wasserstoffgehalt der koksartigen Ablagerungen auf dem Adsorbens (Ma.-%) und der Sauerstoffgehalt im Regenerationsgas (Vol.-%) zugrunde.

$$S = \frac{K \times C}{RGB \times H}$$

Die Temperaturerhöhung bei der Reaktivierung von Molekularsieben darf in der ersten Phase 200 K, vorzugsweise 60 bis 160 K, nicht überschreiten, wobei die maximal zulässige Temperatur in der Molekularsieveschüttung 873 K beträgt.

Es wurde gefunden, daß durch die Vorbehandlung des zu reaktivierenden Molekularsieves mit inertgashaltigem Ammoniak und des auf der Grundlage der Regenerationsgasbelastung und des Kohlenstoff- und Wasserstoffgehaltes der koksartigen Ablagerungen auf dem Molekularsieb berechneten Sauerstoffgehaltes des Regenerationsgases in der ersten Phase der Reaktivierung des Molekularsieves Molekularsieve mit hohen Kapazitäten und Stabilitäten erhalten werden.

Ausführungsbeispiele

Beispiel 1

Eine Adsorptionssäule wurde mit 10l eines kapazitätsgeminderten Molekularsiebes vom Typ NaCa5A gefüllt. Der Kohlenstoff- bzw. Wasserstoffgehalt der koksartigen Ablagerungen auf dem Adsorbens betrug 3,1 bzw. 1,2 Ma.-%. Das Molekularsieb besaß eine Adsorptionskapazität für das n-Alkangemisch mit einem Siedebereich von 453 bis 573 K von 1,9 Ma.-%. Das Molekularsieb wurde nach folgenden Methoden vorbehandelt und anschließend oxidativ regeneriert.

Methode 1 (Stand der Technik)

Das Molekularsieb wurde unter H₂-Strömung (300 Volumenteile H₂/Volumenteil Molekularsieb und Stunde) in Temperaturintervallen von 10 bis 30 K/h auf eine Temperatur von 653 K erwärmt und fünf Minuten mit Ammoniak desorbiert, wobei die Belastung 800 Volumenteile Ammoniak/Volumenteil Molekularsieb und Stunde und der Druck 1,08 MPa betrugen. Das auf diese Art vorbehandelte Molekularsieb wies einen Kohlenstoffgehalt und eine Adsorptionskapazität für das n-Alkangemisch auf, die den Werten des kapazitätsgeminderten Molekularsiebes entsprach.

Methode 2 (Stand der Technik)

Das kapazitätsgeminderte Molekularsieb wurde entsprechend Methode 1 vorbehandelt. An diese Vorbehandlung schloß sich eine Behandlung mit Wasserstoff an, wie sie im Beispiel 3 der DD-PS 78228 beschrieben ist. Der Kohlenstoffgehalt des Molekularsiebes konnte durch diese Maßnahme von 3,1 auf 2,9 Ma.-% reduziert werden und die Adsorptionskapazität des Molekularsiebes für das n-Alkangemisch von 1,9 auf 2,1 Ma.-% erhöht werden.

Methode 3 (erfindungsgemäß)

Das kapazitätsgeminderte Molekularsieb wurde entsprechend Methode 1 vorbehandelt. An diese Phase schloß sich eine Behandlung mit inertgashaltigem Ammoniak an, wobei der Inertgasgehalt im Ammoniak stufenweise bis auf 95 Vol.-% erhöht wurde. Die Dauer der einzelnen Phasen betrug mindestens die 5- bis 10fache Zeit der normalen Desorption. Nachdem ein Inertgasgehalt von 30 Vol.-% im Ammoniak erreicht war, wurden die Temperatur in der Molekularsiebschüttung in Temperaturintervallen von 10 bis 30 K/h auf 753 bis 793 K erhöht und der Prozeßdruck von 1,08 MPa auf 0,2 bis 0,4 MPa gesenkt. Durch diese Maßnahme wurde der Kohlenstoffgehalt des Molekularsiebes von 3,1 auf 2,4 Ma.-% reduziert und die Adsorptionskapazität des Adsorbens für das n-Alkangemisch von 1,9 auf 2,6 Ma.-% erhöht.

Die nach den Methoden 1 bis 3 vorbehandelten Molekularsiebe wurden unter Wasserstoffströmung auf eine Temperatur von 523 K gebracht. Der Wasserstoff wurde durch Stickstoff ersetzt, dem nach Verdrängen des Wasserstoffes 1 Vol.-% Sauerstoff in Form von Luft zugesetzt wurde. Die Belastung des Molekularsiebes mit sauerstoffhaltigem Stickstoff betrug 400 Volumenteile/Volumenteil Molekularsieb und Stunde. Der Ablauf der oxidativen Regeneration und das regenerierte Molekularsieb ist durch die in Tabelle 1 genannten Parameter gekennzeichnet.

Tabelle 1

Parameter	Frisch-sieb	kapazitäts-gemindertes Sieb	behandeltes Sieb nach Methode		
			1	2	3
Temperaturerhöhung in der Molekularsiebschüttung bei der oxid. Regen.; K	—	—	300	250	200
Zündtemperatur der koksartigen Ablagerungen; K	—	—	530	560	530
NH ₃ -Gehalt im Regenerationsabgas in der Anfangsphase; Vol.-%	—	—	10–20	< 5	< 1
Durchbruchskapazität; K _D ; Ma.-%	5,8	1,9	3,0	4,0	5,0
K _D -Wertabfall nach 49 Stunden Wasserdampfbehandlung (80 kPa); Ma.-%	0,4	—	1,8	1,4	0,4
Gehalt an nitrosen Gasen im Regenerationsabgas; vpm	—	—	50–150	50–100	1–5

Nach diesen Ergebnissen hat die Behandlung des zu regenerierenden Molekularsiebes nach der Methode 3 im Vergleich zu den Methoden 1 und 2 eine geringere Temperaturerhöhung in der Molekularsiebschüttung bei der Regeneration, geringere NH₃-Verluste, einen effektiveren Kapazitätsgewinn und eine höhere Wasserdampfstabilität des regenerierten Molekularsiebes sowie die Bildung geringerer Mengen nitroser Gase bei der Regeneration zur Folge.

Beispiel 2

Die Versuchsdurchführung entsprach der des Beispiels 1, Methode 3. Die oxidative Regeneration des Molekularsiebes wurde mit O₂-haltigem Stickstoff durchgeführt, wobei der O₂-Gehalt zwischen 0,6 und 2,0 Vol.-% in der Anfangsphase der Behandlung variiert wurde. Die Regenerationsgasbelastung betrug 400 Volumenteile/Volumenteil Molekularsieb und Stunde. Die Zündung der koksartigen Ablagerungen auf dem Adsorbens erfolgte bei ca. 533 K.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

Tabelle 2

Parameter	Frisch-sieb	kapazitäts-gemindertes Sieb	Gehalt an O ₂ im Regenerationsgas/Vol.-%		
			0,6	1,0	2,0
Durchbruchskapazität K _D , Ma.-%	5,8	1,9	4,2	5,0	4,8
K _D -Wertabfall über 1 000 Std.; Ma.-%	0,11	—	0,20	0,16	0,27
K _D -Wertabfall nach 49 Std. Wasserdampfbehandlung (80 kPa); Ma.-%	0,4	—	0,4	0,4	1,2
Temperaturerhöhung der Molekularsiebschüttung bei der oxid. Regeneration; K	—	—	95	160	350

Nach diesen Ergebnissen wird

- durch eine zu geringe Zufuhr von Sauerstoff in der ersten Regenerationsphase ein unzureichender Zuwachs der Molekularsiebkapazität erzielt;
- durch zu große Zufuhr von Sauerstoff in der ersten Regenerationsphase wird eine relativ hohe Kapazität des Molekularsiebes erreicht. Die Stabilität des reaktivierten Molekularsiebes gegenüber Wasserdampf und Kohlenwasserstoffgemischen ist jedoch gemindert.

Beispiel 3

Die Versuchsdurchführung entsprach der des Beispiels 2. In Abänderung zu dem genannten Beispiel wurde ein Molekularsieb des Typs NaCa5A verwendet, dessen koksartige Ablagerung Kohlenstoff- bzw. Wasserstoffgehalte von 3,6 bzw. 1,5 Ma.-% aufwiesen. Des weiteren wurde der Sauerstoffgehalt im Regenerationsgas und die Regenerationsgasbelastung variiert. Die Zündtemperatur der koksartigen Ablagerungen auf dem zu reaktivierenden Molekularsieb lag bei 540 K.

Tabelle 3

Parameter	Frisch-sieb	kapazitäts-gemindertes Sieb	O ₂ -Gehalt im Regenerationsgas/Vol.-%	
			Regen.gasbelastung/v/vh	
			2,0	1,0
			400	200
Durchbruchskapazität K _D ; Ma.-%	5,8	2,9	5,1	5,1
K _D -Wertabfall/1 000 h Ma.-%	0,11	—	0,24	0,18
Temperaturerhöhung in der Molekularsiebschüttung bei der oxid. Regeneration; K	—	—	304	65

Nach diesen Ergebnissen wird durch die zu große Zufuhr von Sauerstoff und die damit verbundene hohe thermische und hydrothermale Belastung des Molekularsiebes bei dessen Reaktivierung eine Instabilität des Adsorbens bewirkt, die sich in der verringerten Stabilität äußert.

Der Effekt der oxidativen Reaktivierung wird sehr stark durch die Bedingungen der Reaktivierung in der ersten Phase bestimmt. Auf der Grundlage der in den Beispielen 2 und 3 erreichten Ergebnisse ist die Wahl des optimalen Sauerstoffgehaltes im Regenerationsgas, der Regenerationsgasbelastung, der zulässigen Temperaturerhöhung und Endtemperatur bei der Regeneration durch folgende empirische Beziehung möglich:

$$K = \frac{S \times RGB \times H}{C} ;$$

wobei

- K — die Temperaturerhöhung der Molekularsiebschüttung bei der Regeneration des Adsorbens in K;
 S — Sauerstoffgehalt im Regenerationsgas in der ersten Phase der Regeneration in Vol.-%;
 RGB — die Regenerationsgasbelastung in v/vh;
 C — der Gehalt der koksartigen Ablagerungen auf dem Molekularsieb an Kohlenstoff bzw. Wasserstoff bzw. in Ma.-%
 H — sind.

Auf der Grundlage der oben genannten empirischen Beziehung ergeben sich folgende Temperaturerhöhungen in der Molekularsiebschüttung während der ersten Regenerationsphase:

Parameter	Beispiel 2			Beispiel 3	
	0,6 Vol.-% O ₂ im Regenerationsgas; 400 v/vh	1,0 Vol.-% O ₂ im Regenerationsgas; 400 v/vh	2,0 Vol.-% O ₂ im Regenerationsgas; 400 v/vh	2,0 Vol.-% im Regenerationsgas 400 v/vh	1,0 Vol.-% O ₂ im Regenerationsgas 200 v/vh
K _{experimentell} ; K	95	160	350	304	65
K _{berechnet} ; K	92,9	154,8	309,7	333,3	83,3