



(10) **DE 10 2009 034 464 A1** 2011.08.18

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 034 464.0**
(22) Anmeldetag: **22.07.2009**
(43) Offenlegungstag: **18.08.2011**

(51) Int Cl.: **C07C 5/333 (2006.01)**
C07C 11/00 (2006.01)
C07C 2/00 (2006.01)
C07C 15/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
Uhde GmbH, 44141, Dortmund, DE

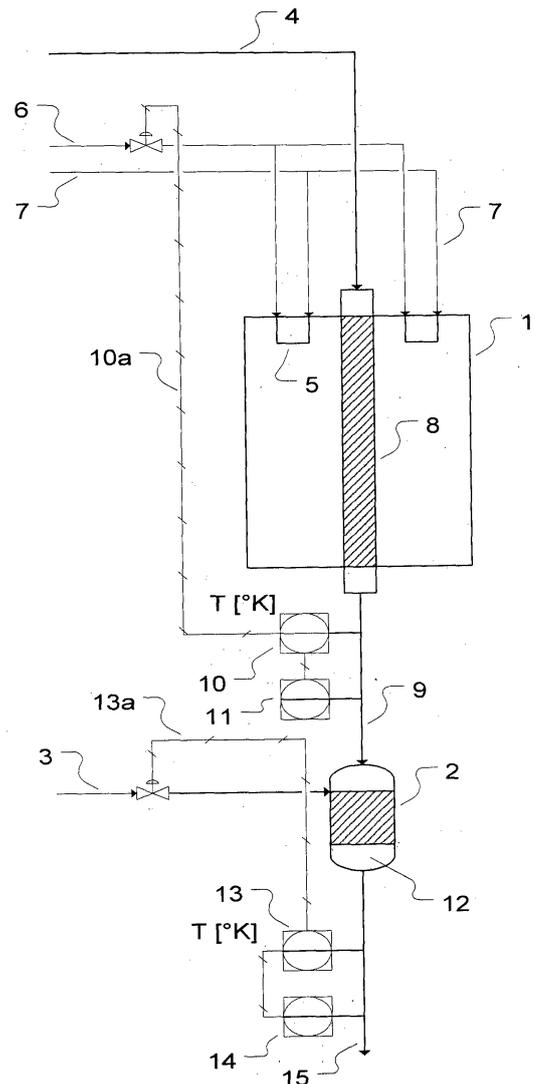
(72) Erfinder:
Gehrke, Helmut, Dr., 59192, Bergkamen, DE;
Schwaß, Rolf, 59269, Beckum, DE; Heinritz-
Adrian, Max, 48155, Münster, DE; Noll, Oliver, Dr.,
44579, Castrop-Rauxel, DE; Wenzel, Sascha, Dr.,
44791, Bochum, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Dehydrierung von Alkanen mit einer Vergleichmäßigung der Produktzusammensetzung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft Verfahren zur Dehydrierung von Alkanen. In mehreren Reaktoren von adiabatem, allothermem oder isothermem Typ oder Kombinationen daraus wird ein gasförmiger alkanhaltiger Stoffstrom in kontinuierlicher Fahrweise durch ein Katalysatorbett geleitet, wodurch ein Gasstrom entsteht, welcher ein Alken, Wasserstoff und ein nicht umgesetztes Alkan enthält. Um eine Vergleichmäßigung der Produktzusammensetzung zu erreichen, wird mindestens einer der Prozess-Parameter Temperatur, Druck oder Dampf-Kohlenwasserstoff-Verhältnis an einem oder mehreren Punkten an mindestens einem der Reaktoren in Form von Messwerten erfasst, wo mindestens einer der Prozess-Parameter gezielt kontrolliert und beeinflusst wird, so dass die Zusammensetzung des Produktgases am Ausgang eines Reaktors über die Betriebsdauer konstant bleibt



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Dehydrierung von Alkanen mit Vergleichmäßigung der Produktzusammensetzung, wobei ein Alkan über einen geeigneten Katalysator geleitet wird, wodurch ein Gasstrom entsteht, welcher ein Alken, Wasserstoff und ein nicht umgesetztes Alkan enthält. Da die Dehydrierung von Alkanen zur Gruppe der reversiblen Gleichgewichtsreaktionen gehört, stellt sich unter idealen Katalysatorbedingungen im Verlauf der Reaktion nach einer bestimmten Verweilzeit das chemische Gleichgewicht ein. Die Vergleichmäßigung der Produktzusammensetzung bzw. ein gleichbleibender Anteil an Alken, Alkan und Wasserstoff im Produktgas wird erreicht, in dem man das chemische Gleichgewicht mittels Prozess-Parametern in die gewünschte Richtung beeinflusst.

[0002] Die Dehydrierung von Alkanen findet an einen geeigneten Katalysator statt. Mit der Zeit sinkt die Aktivität des Katalysators bei gleichen Reaktionsbedingungen ab. Dies führt dazu, dass sich die Produktzusammensetzung am Reaktoraustritt über einen Produktionszyklus permanent ändert, wenn die Prozess-Parameter unverändert bleiben. Aufgrund der ständig ändernden Produktzusammensetzung kann es in nachfolgenden Anlagenteilen zu Störungen kommen. Beispielsweise reagieren die Rektifizierkolonnen empfindlich auf Konzentrationsschwankungen des Einsatzstoffstroms.

[0003] Die US 5243122 A beschreibt einen Prozess für einen allothermen Reformer zur Dehydrierung von leichten Alkanen, wobei die Temperatur des Katalysatorbettes während der Reaktion kontrolliert und langsam angehoben wird, so dass die Zusammensetzung des Reaktorausflusses während der Reaktion gleich bleibt. Durch diese Vorgehensweise wird das Nachlassen der Aktivität des Katalysators verzögert, so dass die Zusammensetzung des Produktstromes und insbesondere das darin enthaltene Alken-/Alkan-Verhältnis während des Betriebes gleich bleiben. Die thermische Kontrolle der Reaktion wird durch eine spezielle Ventilsteuerung der Heizgaszuführung geregelt. Allerdings sind die Reformer parallel angeordnet, außer der Temperatur wurden die anderen Einflussfaktoren nicht behandelt.

[0004] Während der Reaktion bilden sich nach einiger Zeit auf dem Katalysator in der Regel kohlenstoffhaltige Beläge, wodurch der Alkan-Umsatz drastisch abnimmt. Aus diesem Grund wird die Reaktion zyklisch durchgeführt. Nach einer bestimmten Reaktionszeit wird die Reaktion gestoppt, und ein sauerstoffhaltiges Gas, welches auch Wasserdampf enthalten kann, wird über den Katalysator geleitet. Durch dieses Gas werden die kohlenstoffhaltigen Beläge oxidiert, so dass der Katalysator freigelegt wird und die Reaktion von Neuem beginnen kann.

[0005] Der Erfindung liegt daher das Problem zugrunde, ein Verfahren zur Dehydrierung von Alkanen zu entwickeln, mit dem die Produktzusammensetzung am Reaktoraustritt über die gesamte Betriebsdauer konstant bleibt.

[0006] Die Aufgabe wird dadurch gelöst, indem in mehreren Reaktoren von adiabatem, allothermem oder isothermem Typ oder Kombinationen daraus ein gasförmiger alkanhaltiger Stoffstrom in kontinuierlicher Fahrweise durch ein Katalysatorbett geleitet wird, dadurch ein Gasstrom entsteht, welcher ein Alken, Wasserstoff und ein nicht umgesetztes Alkan enthält, und dass

- mindestens einer der Prozess-Parameter Temperatur, Druck oder Dampf-Kohlenwasserstoff-Verhältnis an einem oder mehreren Punkten an mindestens einem der Reaktoren in Form von Messwerten erfasst wird,
- mindestens einer der Prozess-Parameter gezielt beeinflusst wird, so dass die Zusammensetzung des Produktgases am Ausgang mindestens eines Reaktors über die Betriebsdauer konstant bleibt.

[0007] An einem oder mehreren Punkten eines Reaktors können Messwerte von Temperatur, Druck oder Dampf-Kohlenwasserstoff-Verhältnis ermittelt werden, anschließend können mittels Steuerungsgeräte die Prozess-Parameter gezielt kontrolliert und beeinflusst werden, damit die Zusammensetzung des Produktgases am Ende des Reaktorensystem über die Betriebsdauer konstant bleibt.

[0008] In Ausgestaltungen der Erfindung ist vorgesehen, dass zwei bis zehn gleiche oder verschiedene Reaktortypen im Verbund zum Einsatz kommen. Allerdings sind zwei bis vier Reaktoren angesichts der Wirtschaftlichkeit bevorzugt. Die Reaktoren können von den unterschiedlichen Typen allotherm, adiabatisch oder isotherm sein. Natürlich können die Reaktoren mit verschiedenen Typen auch unterschiedlich kombiniert werden, um eine entsprechende Effektivität und Wirtschaftlichkeit zu erhalten. Um eine Vergleichmäßigung der Produktzusammensetzung zu erreichen, können die Prozess-Parameter Temperatur, Druck und Dampf-Kohlenwasserstoff-Verhältnis gezielt beeinflusst werden. Über die Zufuhr des Heizgases/Sauerstoffs und einen ge-

eigneten Temperatursensor kann die Temperatur in mindestens einem der Reaktoren geregelt werden. Ebenso kann der Druck im Reaktor über die Abfuhr des Produktgases mittels eines Regelventils kontrolliert werden. Das Dampf-Kohlenwasserstoff-Verhältnis im Reaktor wird durch die Zugabemengen von Dampf und gasförmigem Kohlenwasserstoff bestimmt, wobei diese Handlung im ersten der Reaktoren bevorzugt wird.

[0009] In weiteren Ausgestaltungen der Erfindung kommt ein Analysengerät zur Messung der Zusammensetzung des Produktgases zum Einsatz. Das Analysegerät kann beispielweise ein Gaschromatograph sein. Bei dem vorgegebenen Sollwert von Temperatur, Druck oder Dampf-Kohlenwasserstoff-Verhältnis wird die Zusammensetzung des Produktgases mit Hilfe des Analysegerätes ermittelt. Dadurch können die Prozessparameter sowohl einzelner als auch in Kombination so beeinflusst werden, dass die gewünschte Vergleichmäßigung der Zusammensetzung des Produktgases erreicht werden kann. Das Gleiche kann auch mittels Vorgabe einer zeitlich veränderlichen Funktion, beispielsweise einer Rampenfunktion, durch ein Prozessleitsystem erlangt werden.

[0010] In weiteren Ausgestaltungen der Erfindung wird auch die Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung von Alkenen aus Alkanen beansprucht, insbesondere die Verwendung des Verfahrens zur Dehydrierung von Propan zu Propen, von n-Butan zu n-Butenen und Butadien, von iso-Butan zu iso-Butenen, oder Mischungen daraus und zur Dehydrozyklisierung von Alkanen zu Aromaten. Dehydriert werden kann jedoch jedes Alkan oder jeder Kohlenwasserstoff, der durch ein Dehydrierungsverfahren nach dem Stand der Technik dehydrierbar ist.

[0011] Die Erfindung wird anhand einiger Beispiele erläutert. Hierzu wird ein allothermer Reaktor zur Dehydrierung von Propan zu Propen als Ausführungsform betrachtet, um das erfindungsgemäße Verfahren darzustellen. Dabei ist der Reaktor mit folgenden verfahrenstechnischen Werten betrieben: Eintrittstemperatur: 510°C, Temperaturdifferenz zwischen Eintritt und Austritt ΔT : 75 K, Austrittsdruck p: 6,0 bar, molares Dampf-Kohlenwasserstoff-Verhältnis STHC: 3,5.

[0012] Beispiel 1: Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, sinkt ohne Anpassung der verfahrenstechnischen Parameter die Ausbeute an Propen von zunächst 26,7% auf 26,1% ab.

[0013] Beispiel 2: Wie in [Fig. 2](#) gezeigt, wird durch Anheben der Temperaturdifferenz ΔT über den Zyklus die Ausbeute an Propen konstant bei 26,7% gehalten. Alle anderen Parameter bleiben gegenüber dem Beispiel 1 unverändert.

[0014] Beispiel 3: Wie in [Fig. 3](#) gezeigt, wird durch Absenken des Austrittsdrucks p über den Zyklus die Ausbeute an Propen konstant bei 26,7% gehalten. Alle anderen Parameter bleiben gegenüber dem Beispiel 1 unverändert.

[0015] Beispiel 4: Wie in [Fig. 4](#) gezeigt, wird durch Anheben des Dampf-Kohlenwasserstoff-Verhältnisses (STHC) über den Zyklus die Ausbeute an Propen konstant bei 26,7% gehalten. Alle anderen Parameter bleiben gegenüber dem Beispiel 1 unverändert.

[0016] Beispiel 5: Wie in [Fig. 5](#) gezeigt, wird in diesem Beispiel der Druck über die Zykluszeit konstant um 0.05 bar/h abgesenkt, und gleichzeitig die Temperaturdifferenz ΔT leicht erhöht, um eine gleichmäßige Ausbeute an Propen zu erhalten. In der Praxis ist eine einseitige Absenkung des Austrittsdrucks p über die Zeit (wie im Beispiel 3) häufig nicht beliebig machbar, denn der anschließende Prozessschritt z. B. Rohgaskompression verlangt einen gewissen Eintrittsdruck. Daher ist es sinnvoll, auch mehrere Prozessparameter simultan zu beeinflussen, um die gewünschte Vergleichmäßigung der Zusammensetzung des Produktgases zu erzielen.

[0017] In der Tabelle 1 wurden die Beispiele zusammengefasst. Durch die Beispiele sind die Effekte des Einflusses der Prozessparameter auf die Zusammensetzung des Produktgases offensichtlich.

Tabelle 1: Übersicht der Parametereinstellung

Beispiel	t [h]		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
Beispiel 1	ohne Anpassung	Ausbeute Propen (mol-%)	26.70	26.57	26.44	26.29	26.11
Beispiel 2	mit Anpassung	ΔT (K)	75.0	75.7	76.4	77.3	78.3

Beispiel 3	mit Anpassung	p (bar)	6.00	5.95	5.89	5.82	5.74
Beispiel 4	mit Anpassung	STHC ¹⁾	3.50	3.55	3.62	3.69	3.79
Beispiel 5	mit Anpassung	p (bar)	6.00	5.98	5.96	5.93	5.90
		ΔT (K)	75	75.4	75.8	76.3	77.1

¹⁾: STHC: molares Dampf-Kohlenwasserstoff-Verhältnis

[0018] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnungen erklärt.

[0019] **Fig. 6:** Eine Vorrichtung mit allothermem und adiabatischem Reaktor nacheinander geschaltet mit einem Temperatur-Kontrolle-System.

[0020] **Fig. 7:** Eine Vorrichtung mit allothermem und adiabatischem Reaktor nacheinander geschaltet mit einem Temperatur-Kontrolle-System und einem Druck-Kontrolle-System.

[0021] **Fig. 8:** Eine Vorrichtung mit adiabatischen Reaktoren nacheinander geschaltet mit Temperatur- und Druck-Kontrolle-System mittels einem Prozessleitsystem.

[0022] **Fig. 6** zeigt eine Vorrichtung aus zwei hintereinander geschalteten Reaktoren allothermer (1) und adiabatischer (2) Bauart mit Sauerstoffzufuhr (3). Das Reaktionsgas (4) wird in den allothermen Reaktor (1) geführt. Die Beheizung erfolgt über die Brenner (5), die mit einem Brenngas (6) und einem sauerstoffhaltigen Gas (7) betrieben werden. In dem Reaktor (1) ist ein geschlossenes Rohrsystem (8) vorgesehen, in dem sich ein Katalysator befindet und die Reaktion stattfindet. Am Ausgang des ersten Reaktionssystems (1) sind ein Temperaturmessgerät (10) und ein Analysengerät (11) angeschlossen. Die Brenngaszufuhr wird über das Temperaturmessgerät (10) und die elektrische Steuerleitungen (10a) so geregelt, dass die Messwerte am Analysengerät (11) stets den gewünschten gleichen Anteil an Alken im Produktgas (9) anzeigen. Das Produktgas (9) aus dem Reaktorsystem (1) wird dann mit einem sauerstoffhaltigen Gas (3) versetzt und in den adiabatischen Reaktor (2) geführt. In diesem Reaktor befindet sich ebenfalls ein geschlossenes Rohrsystem zur Dehydrierung und Wasserstoffoxidation (12), welches einen Katalysator enthält und wo die Wasserstoffoxidation und weitere Dehydrierung stattfindet. Am Ausgang des zweiten Reaktors befindet sich ebenfalls ein Temperaturmessgerät (13) und ein Analysengerät (14). Die Sauerstoffzufuhr wird über das Temperaturmessgerät (13) und die elektrischen Steuerleitungen (13a) so gesteuert, dass die Messwerte am Analysengerät (14) stets den gewünschten gleichen Anteil an Alken im Produktgas (15) anzeigen.

[0023] **Fig. 7** zeigt eine Vorrichtung, die ebenfalls aus einem ersten allotherm betriebenen Reaktor (1) und einem zweiten adiabatisch betriebenen Reaktor (2) mit Sauerstoffzufuhr (3) besteht. Die Temperatur wird am Ausgang des ersten Reaktionssystems (9) durch ein Temperaturmessgerät (10) gemessen, und in Abhängigkeit von der Brenngas- und Sauerstoffzufuhr (6, 7) über elektrische Messsignale (10a) geregelt. Auf diese Weise lässt sich im ersten Reaktionssystem eine konstante Temperatur einstellen. In dieser Vorrichtung wird die Produktzusammensetzung nur am Ausgang des zweiten Reaktionssystems (15) kontrolliert. Dies geschieht über ein Analysengeräte (17) am Ausgang des zweiten Reaktionssystems, die den Druck über ein Druckhalteventil (16) am Reaktor des zweiten Reaktionssystems (2) misst und diese über elektrische Steuerleitungen (16a, 17a) an ein Prozessleitsystem (18) weitergibt. Die Temperatur des Reaktors (2) wird über die elektrische Steuerleitung (13a) und die Sauerstoffzugabe (3) geregelt. Das Prozessleitsystem (18) errechnet die erforderlichen Einstellungen für den Druck und regelt über die elektrische Messsignale (17a) und das Druckhalteventil (16) am Austritt des Reaktorsystems so, dass stets die gleiche Zusammensetzung des Produktgases (15) am Ausgang des zweiten Reaktors (2) erhalten wird.

[0024] **Fig. 8** zeigt eine Vorrichtung aus 3 hintereinander geschalteten adiabatischen Reaktoren (19, 2a, 2b) mit Sauerstoffzufuhr (3a, 3b). Die Reaktion im ersten Reaktor (19) verläuft adiabatisch, so dass man eine stets wechselnde Produktzusammensetzung am Ausgang des Reaktionssystems (9) erhält. In den Reaktoren (2a, 2b) wird eine selektive Wasserstoffoxidation durchgeführt. Am Ausgang des zweiten Reaktors (2a) ist ein Temperaturmessgerät (20) angebracht, dieses steuert den Reaktor (2a) über die elektrische Messleitungen (20a) und die Sauerstoffzugabe (3a). Über die elektrische Steuerleitungen (18a) werden die Messwerte des Temperaturmessgerätes (20) an ein Prozessleitsystem (18) weitergegeben. Dadurch findet eine Vergleichmäßigung der Zusammensetzung des Produktgases am Ausgang des Reaktors (2a) statt. Am Ausgang des dritten Reaktors (2b) ist ebenfalls ein Temperaturmessgerät (21) angeordnet, das über die elektrische Steuerleitungen (21b) und die Sauerstoffzugabe (3a) den angehängten Reaktor regelt. Das Temperaturgerät (21) gibt

die Messwerte über die elektrische Steuerleitung (**21a**) an das Prozessleitsystem (**18**) weiter. Dadurch erhält man am Ausgang des dritten Reaktionssystems (**22**) eine gewünschte gleichmäßige Zusammensetzung des Produktgases.

Bezugszeichenliste

1	Allotherm beheizter Reaktor
2	Adiabatisch betriebener Reaktor
3	Sauerstoffzufuhr
3a	Sauerstoffzufuhr
3b	Sauerstoffzufuhr
4	Reaktionsgas
5	Brenner
6	Brenngas
7	Sauerstoffhaltiges Gas
8	Geschlossenes Rohrsystem für Dehydrierungsreaktion
9	Produktgas aus erstem Reaktionsteil
10	Temperaturmessgerät
10a	Elektrische Steuerleitung
11	Analysengerät zur Feststellung der Produktgaszusammensetzung
12	Geschlossenes Rohrsystem zur Dehydrierung und zur Wasserstoffoxidation
13	Temperaturmessgerät
13a	Elektrische Steuerleitung
14	Analysengerät zur Feststellung des Alkenanteils im Produktgas
15	Produktgas
16	Druckhalteventil
16a	Elektrische Steuerleitung
17	Analysegerät
17a	Elektrische Steuerleitung
18	Prozessleitsystem
18a	Elektrische Steuerleitung
19	Adiabatisch betriebener Reaktor
20	Temperaturmessgerät
20a	Elektrische Steuerleitung
21	Temperaturmessgerät
21a	Elektrische Steuerleitung
21b	Elektrische Steuerleitung
22	Produktgas

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 5243122 A [\[0003\]](#)

Patentansprüche

1. Verfahren zur Dehydrierung von Alkanen mit einer Vergleichmäßigung der Produktzusammensetzung, wobei
 - in mehreren Reaktoren von adiabatem, allothermem oder isothermem Typ oder Kombinationen daraus ein gasförmiger alkanhaltiger Stoffstrom in kontinuierlicher Fahrweise durch ein Katalysatorbett geleitet wird, wodurch ein Gasstrom entsteht, welcher ein Alken, Wasserstoff und ein nicht umgesetztes Alkan enthält, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - mindestens einer der Prozess-Parameter Temperatur, Druck oder Dampf-Kohlenwasserstoff-Verhältnis an einem oder mehreren Punkten an mindestens einem der Reaktoren in Form von Messwerten erfasst wird,
 - mindestens einer der Prozess-Parameter gezielt kontrolliert beeinflusst wird, so dass die Zusammensetzung des Produktgases am Ausgang an mindestens einem der Reaktoren über die Betriebsdauer konstant bleibt.
2. Verfahren zur Dehydrierung von Alkanen mit einer Vergleichmäßigung der Produktzusammensetzung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwei bis zehn, vorzugsweise zwei bis vier Reaktoren verschiedenen Typen im Verbund zum Einsatz kommen.
3. Verfahren zur Dehydrierung von Alkanen mit einer Vergleichmäßigung der Produktzusammensetzung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwei bis zehn, vorzugsweise zwei bis vier Reaktoren gleichen Typen im Verbund zum Einsatz kommen.
4. Verfahren zur Dehydrierung von Alkanen mit einer Vergleichmäßigung der Produktzusammensetzung nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur in einem der Reaktoren über die Zufuhr des Heizgases und einen Temperatursensor geregelt wird.
5. Verfahren zur Dehydrierung von Alkanen mit einer Vergleichmäßigung der Produktzusammensetzung nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur in einem der Reaktoren über die Zufuhr des Sauerstoffs und einen Temperatursensor geregelt wird.
6. Verfahren zur Dehydrierung von Alkanen mit einer Vergleichmäßigung der Produktzusammensetzung nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Druck in mindestens einem der Reaktoren über die Abfuhr des Produktgases mittels eines Regelventils geregelt wird.
7. Verfahren zur Dehydrierung von Alkanen mit einer Vergleichmäßigung der Produktzusammensetzung nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Dampf-Kohlenwasserstoff-Verhältnis in mindestens einem der Reaktoren durch die Zugabemengen von Dampf und gasförmigem Kohlenwasserstoff geregelt wird.
8. Verfahren zur Dehydrierung von Alkanen mit einer Vergleichmäßigung der Produktzusammensetzung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Dampf-Kohlenwasserstoff-Verhältnis vorzugsweise im ersten der Reaktoren durch die Zugabemengen von Dampf und gasförmigem Kohlenwasserstoff geregelt wird.
9. Verfahren zur Dehydrierung von Alkanen mit einer Vergleichmäßigung der Produktzusammensetzung nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Prozess-Parameter in mindestens einem Reaktor beeinflusst werden in Abhängigkeit der von einem Analysengerät ermittelten Messwerte für die Zusammensetzung des Produktgases.
10. Verfahren zur Dehydrierung von Alkanen mit einer Vergleichmäßigung der Produktzusammensetzung nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Prozess-Parameter in mindestens einem Reaktor beeinflusst werden durch Vorgabe einer zeitlich veränderlichen Funktion durch ein Prozessleitsystem.
11. Verfahren zur Dehydrierung von Alkanen mit einer Vergleichmäßigung der Produktzusammensetzung nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere der Prozess-Parameter simultan beeinflusst werden.
12. Verwendung des Verfahrens nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 11 zur Dehydrierung von Propan zu Propen.

13. Verwendung des Verfahrens nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 11 zur Dehydrierung von n-Butan zu n-Butenen und Butadien.

14. Verwendung des Verfahrens nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 11 zur Dehydrierung von iso-Butan zu iso-Buten.

15. Verwendung des Verfahrens nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 11 zur Dehydrozyklisierung von Alkanen zu Aromaten.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

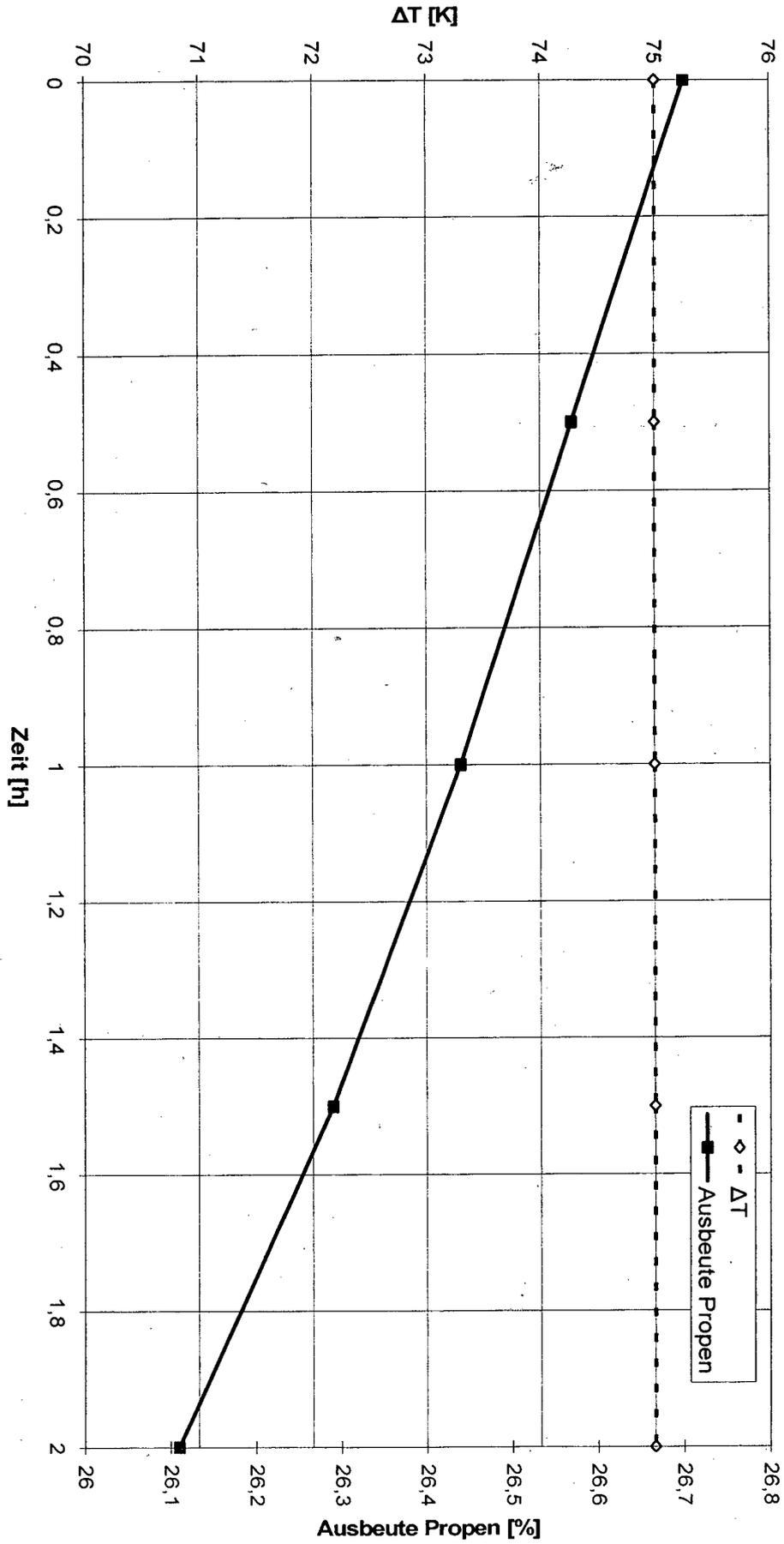


Fig. 1

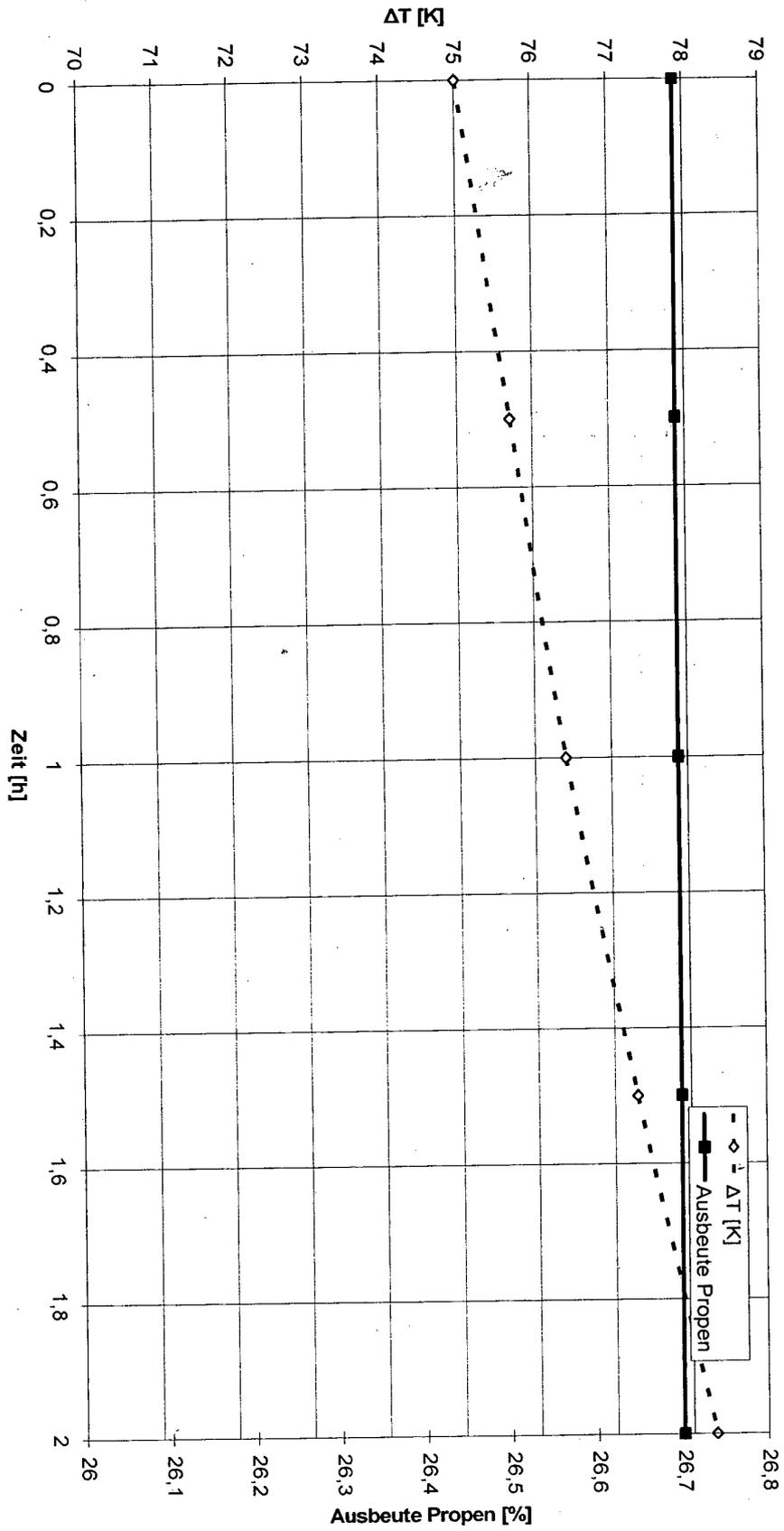


Fig. 2

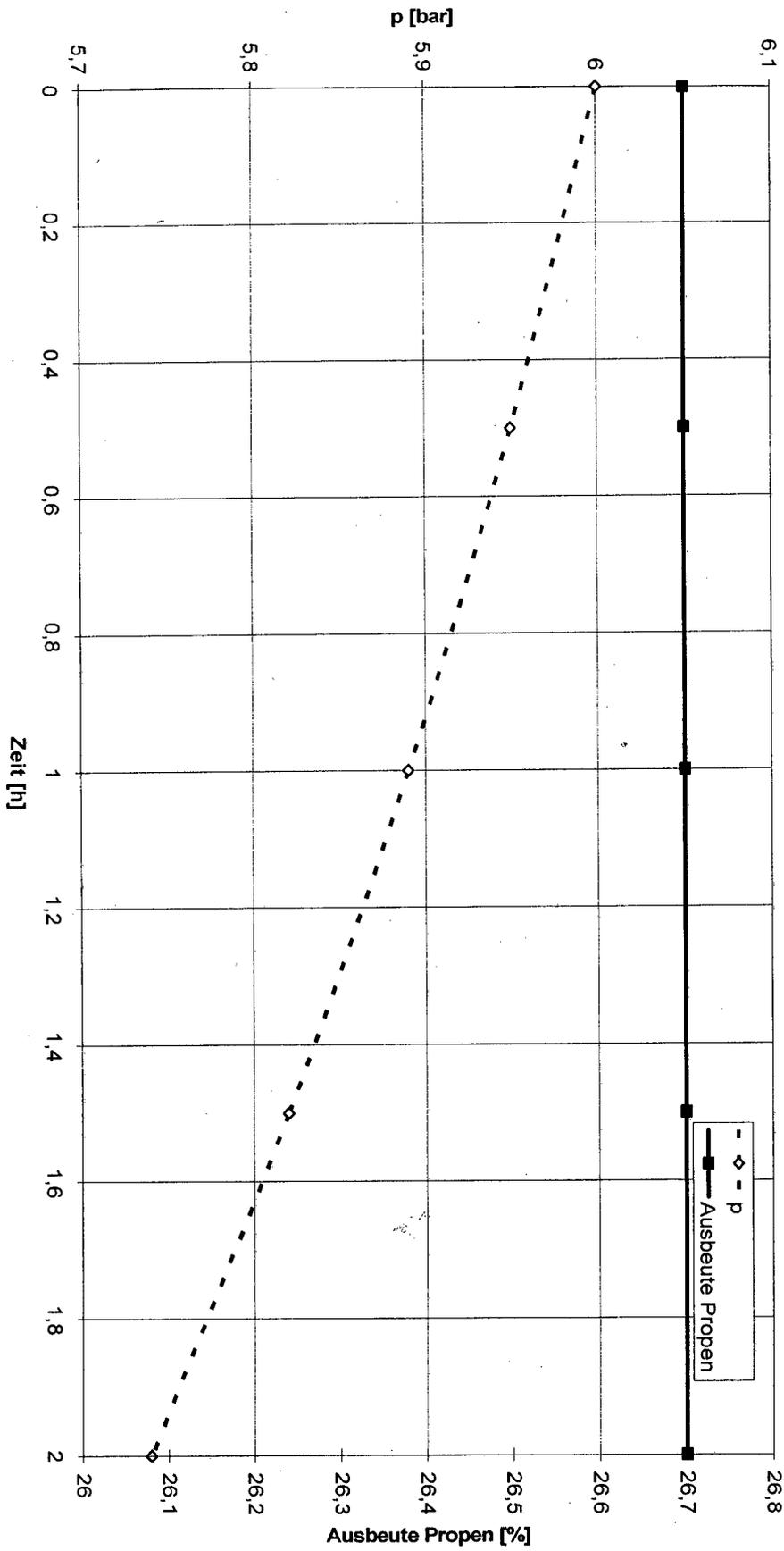


Fig. 3

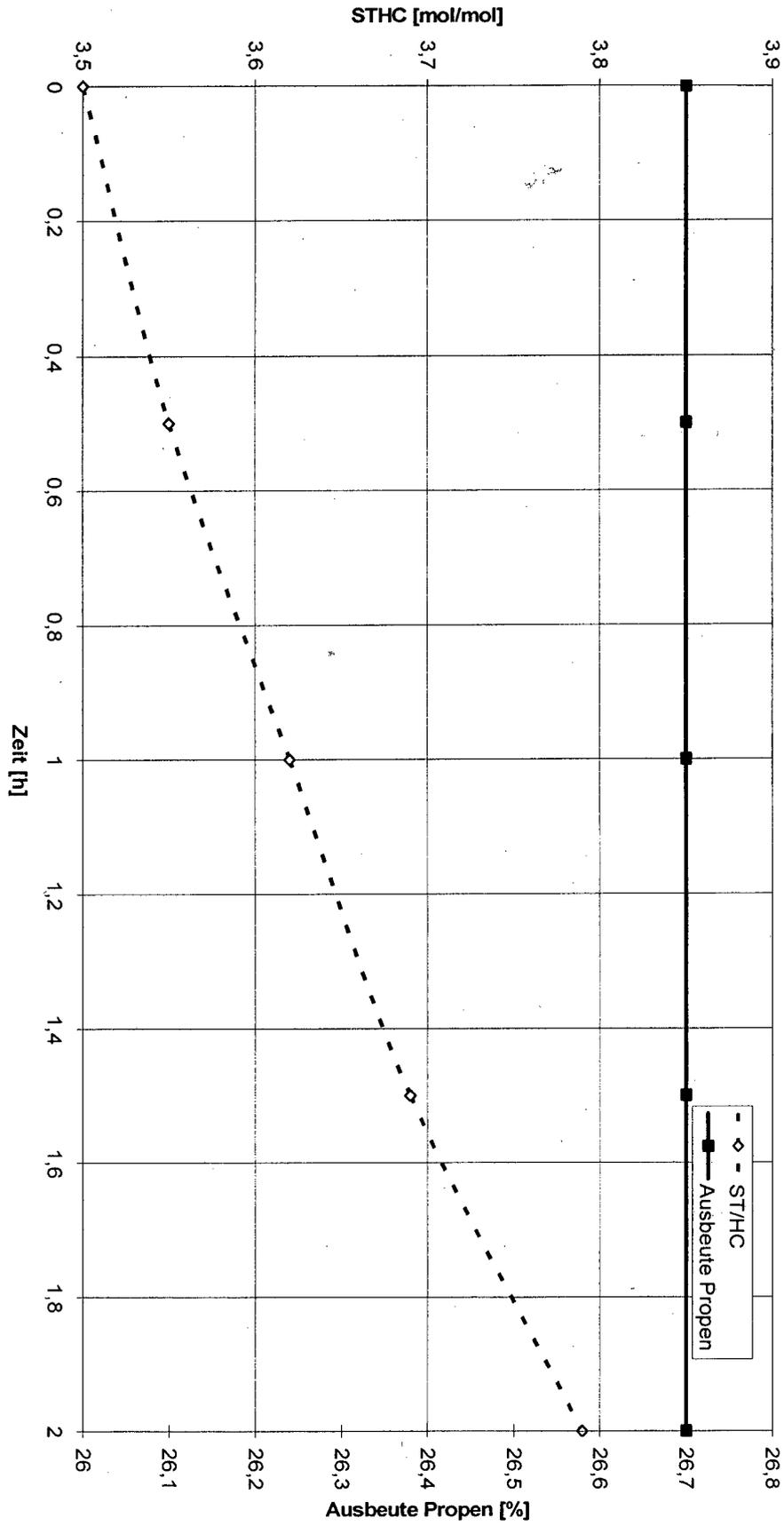


Fig. 4

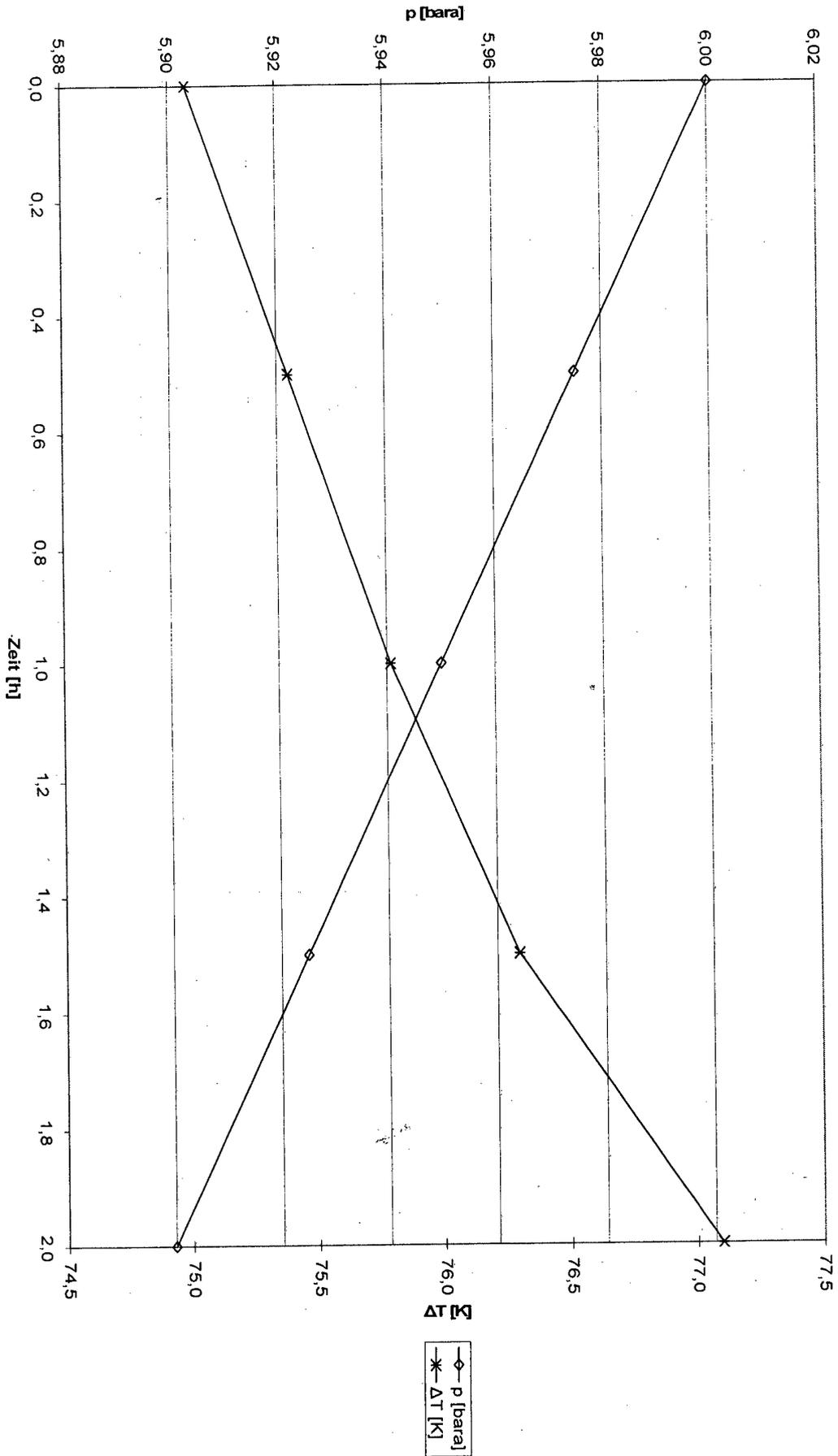


Fig. 5

Fig. 6

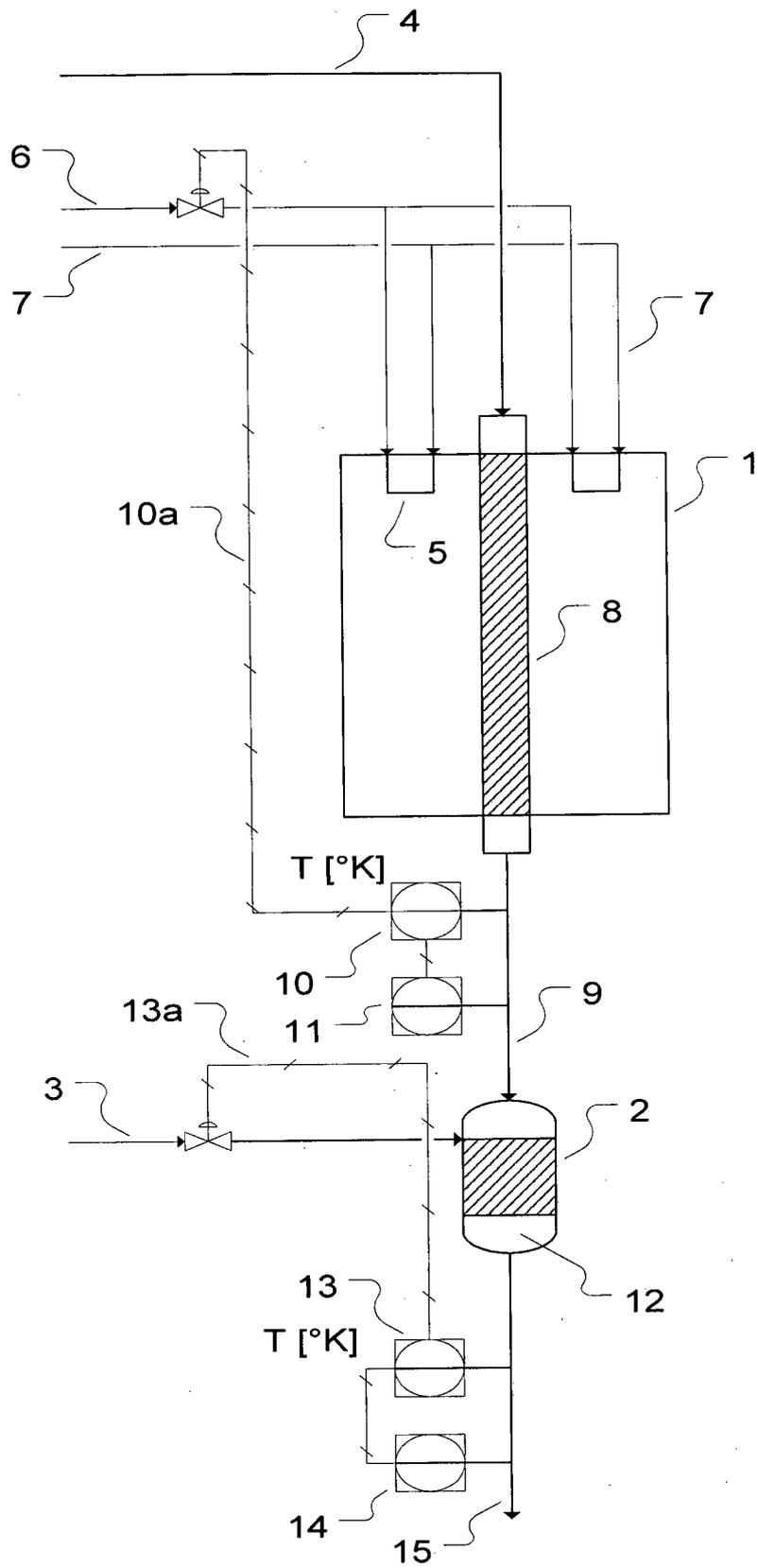


Fig. 7

