

---

FK INDUSTRIEOFENBAU +  
SCHUTZGASTECHNIK GMBH

**Neue Monogasanlage mit  
Vakuumregenerierung des  
Kohlendioxidadsorbers**





# Neue Monogasanlage mit Vakuumregenerierung des Kohlendioxidadsorbers

## New monogas plant features vacuum regeneration of the carbon dioxide adsorber

### Nouvelle installation de monogaz, avec régénération sous vide de l'adsorbant de gaz carbonique

Von T. F. Kohlmeier

Für das entkohlungsfreie Blankglühen vieler Stahlgüten ist der Einsatz von Monogas als Ofenatmosphäre erforderlich. Unter Monogas ist ein Schutzgas zu verstehen, das sich in bezug auf den Stoffaustausch bei der Wärmebehandlung neutral verhält. Seit einigen Jahren werden diese Schutzgase auch mit „Inertgas“ bezeichnet. Dabei ist Monogas keineswegs chemisch inert wie beispielsweise Edelgas, denn es enthält neben Stickstoff auch geringe Anteile Wasserstoff und Kohlenmonoxid. Die Kennzeichnung „inert“ bezieht sich vielmehr auf das Reaktionsverhalten des Glühgutes zur Ofenatmosphäre.

Monogas wird erzeugt, indem man aus den Abgasen eines kohlenwasserstoffhaltigen Brennstoffes, der mit Luft partiell umgesetzt wurde, die entkohlenden und oxydierenden Gasbestandteile, also Kohlendioxid und Wasserdampf, entfernt. Das Brennstoff-Luft-Gemisch muß unterstöchiometrisch eingestellt werden, weil sonst freier Sauerstoff als unerwünschte Gaskomponente entsteht.

Bei der Erzeugung von Monogas aus technischen Brenngasen sind verschiedene Verfahren üblich, die sich hauptsächlich durch die Art der Kohlendioxidentfernung unterscheiden. Die älteren Methoden der Gasreinigung durch Auswaschen mit Monoäthanolaminlösung oder Druckwasser stehen dabei den neu entwickelten Molekularsiebverfahren gegenüber. Molekularsiebe haben die Eigenschaft durch Adsorption in einem Verfahrensschritt gleichzeitig Kohlendioxid und Wasserdampf zu entfernen. Die Gasreinigung und Trocknung erfolgt also durch einen trockenen Prozeß.

Im Vergleich zu den konventionellen Monogasanlagen mit Kohlendioxidwäsche, ergeben sich für die modernen Adsorptionsanlagen erhebliche Vorteile, so daß bei Neuanschaffungen den Verfahren mit Molekularsieben immer mehr der Vorzug gegeben wird. Die Unterschiede zeigen sich besonders bei der Qualität des Schutzgases, die durch den Reinheitsgrad an Kohlendioxid und Wasserdampf bestimmt wird. Anlagen mit Druckwasserwäsche entsprechen zumeist den heutigen Forderungen an die Gasreinheit nicht mehr, da der übliche Restgehalt an Kohlendioxid etwa 0,5 Vol.-% beträgt. Hinzu kommt der hohe Verbrauch von Frischwasser für die Kohlendioxidwäsche, wodurch das Verfahren auch noch unwirtschaftlich erscheint.

Erfolgt die Entfernung des Kohlendioxids durch Auswaschen mit einer Lauge, kann der Gehalt an Kohlendioxid unter 0,05 Vol.-% liegen. Nachteile des Verfahrens sind jedoch der große Anlagenaufwand und die hohen Betriebs- und Unterhaltungskosten. Der wirtschaftliche Einsatz dieser Anlagen bedingte deshalb Stundenleistungen von einigen hundert Normkubikmetern Schutzgas. Aber auch dieses Verfahren tritt in der letzten Zeit gegenüber den Molekularsiebanlagen immer mehr zurück. Entscheidend hierfür war die Entwicklung von Adsorbentien, die mittels Vakuum regeneriert werden, so daß bei großer Anlagenleistung eine äußerst wirtschaftliche Monogaserzeugung möglich ist.

#### Charakteristik von Molekularsieben

Molekularsiebe sind synthetisch hergestellte kristalline Metall-Alumino-Silicate, die durch Entfernen des Kristallwassers aktiviert werden, so daß sie zur Adsorption befähigt sind. Da sich die Struktur während dieser Entwässerung wenig oder gar nicht verändert, bilden sich ungewöhnlich hochporöse Adsor-

bentien, die eine starke Affinität für Wasser und gewisse andere Gase, wie Aktivkohle und Silicagel, zeigen.

Im Gegensatz zu anderen Adsorbentien sind die Poren jedes einzelnen Molekularsiebtyps von konstanter Größe und molekularen Dimensionen. Je nach Größe dieser Poren können Moleküle leicht adsorbiert, langsam adsorbiert oder gänzlich ausgeschlossen werden. Diese siebartige Selektivität, die auf der Molekülgröße und einer Bevorzugung polarer und polarisierbarer Moleküle beruht, zusammen mit einer hohen Kapazität über einen weiten Bereich von Arbeitsbedingungen, verleihen den Molekularsieben eine außergewöhnlich hohe Adsorptionsfähigkeit.

Molekularsiebe binden Adsorbate eher durch starke physikalische Kräfte als durch Chemisorption, das heißt, wenn ein adsorbiertes Molekül durch Erwärmung oder Verdrängen durch eine andere Substanz desorbiert wird, verläßt es den Kristall im gleichen Zustand, in dem es eingedrungen ist.

Die äußere Oberfläche des Molekularsiebkristalls kann Moleküle jeder Größe adsorbieren, wohingegen die innere Oberfläche lediglich Molekülen, die klein genug sind, um durch die Poren einzudringen zur Verfügung steht. Die äußere Oberfläche beträgt nur etwa 1 % der gesamten Oberfläche. Von Substanzen, die zu groß sind, um innen adsorbiert zu werden, wird oberflächlich nur 0,2 bis 1 Gew.-% adsorbiert.

Von der siebartigen Wirkung der Poren wird die in der Praxis übliche Bezeichnung „Molekularsieb“ hergeleitet. Bei Betrachtung der technischen Anwendung von Zeolithen kann diese Bezeichnung leicht zu Mißverständnissen führen, weil im Gegensatz zur Wirkung eines mechanischen Siebes nämlich eine Zeolithschicht aus einem Gasstrom mit großen und kleinen Molekülen gerade die größeren Partikel passieren läßt und die kleineren zurückhält.

Molekularsiebe trennen Moleküle nicht nur auf Grund ihrer Größe und Konfiguration, sondern sie werden eine Verbindung auch gemäß der Polarität oder dem Sättigungsgrad adsorbieren. Aus einem Gemisch von Molekülen, die klein genug sind, um durch die Poren einzudringen, wird das weniger flüchtige, das stärker polare oder stärker ungesättigte Molekül fester im Kristall zurückgehalten.

Für den Monogasprozeß ist das Adsorptionsvermögen des Molekularsiebes für Wasserdampf und insbesondere für Kohlendioxid von Bedeutung. Bild 1 zeigt die Gleichgewichtskapazität des Adsorbens für Wasser. Entsprechende Werte für die Adsorption von Kohlendioxid sind in Bild 2 wiedergegeben.

#### Trocknen und Reinigen in einem Verfahrensschritt durch Adsorption

Der Vorgang, wie in einer Molekularsiebkolonne gleichzeitig Wasserdampf und Kohlendioxid adsorbiert werden, soll an Hand einer einfachen graphischen Darstellung erklärt werden (Bild 3). Die durchgehende Linie bezeichnet die Adsorption von Wasserdampf, die gestrichelte Linie gilt für die Aufnahme von Kohlendioxid.

Durch die Wahl des Molekularsiebtyps und der geeigneten Arbeitsbedingungen ist es möglich, Wasser und Kohlendioxid gleichzeitig zu entfernen. Molekularsiebe adsorbieren Wasser stärker als jeden anderen Stoff. Dadurch wird das adsorbierte Wasser vorerst am Eintritt des Bettes angereichert, wo es die anderen vorherig adsorbierten Verunreinigungen verdrängt.



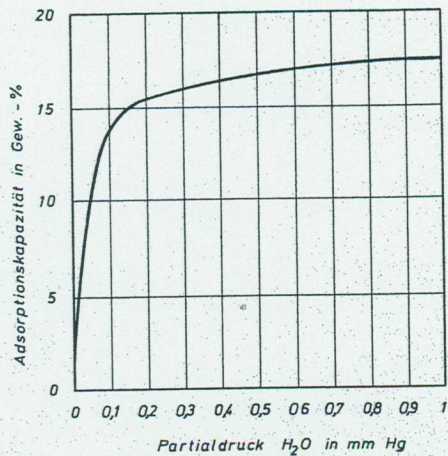


Bild 1: Wasserdampf-Adsorptionskapazität für Molekularsieb 0,5 nm (= 5 Å); Gleichgewichtswerte bei 25 °C

Fig. 1: Water vapour adsorption capacity of a molecular sieve 0.5 nm (= 5 Å); equilibrium values at 25 deg.C

Fig. 1: Capacité d'adsorption de la vapeur d'eau pour crible moléculaire de 0,5 nm (= 5 Å); valeurs d'équilibre à 25 °C

Diese desorbierten Verunreinigungen werden aber in den folgenden Zonen readsorbiert.

Die Adsorption von Kohlendioxid beginnt also erst an der Stelle des Bettes, wo sich der Sättigungsgrad für Wasserdampf vermindert. Es bilden sich somit mehrere Schichten in der Molekularsiebkolonne. In einer schmalen Zone wird nur Wasserdampf adsorbiert, und in einer nachfolgenden breiten Zone wird das Kohlendioxid aufgenommen. Außerdem ergeben sich noch Übergangszonen und der Bereich des Bettes, der ungenutzt bleiben muß. Damit wird sichergestellt, daß kein desorbiertes Kohlendioxid im gereinigten Gas mitfolgt.

Der Wasserdampfgehalt im Bereich des Molekularsiebes, in dem keine Adsorption von Wasserdampf mehr erfolgt und der Kohlendioxidgehalt vor sowie nach der Zone in der Kohlendioxid adsorbiert wurde, sind die Restgehalte, die bei der Regeneration nicht von dem Bett entfernt werden konnten und

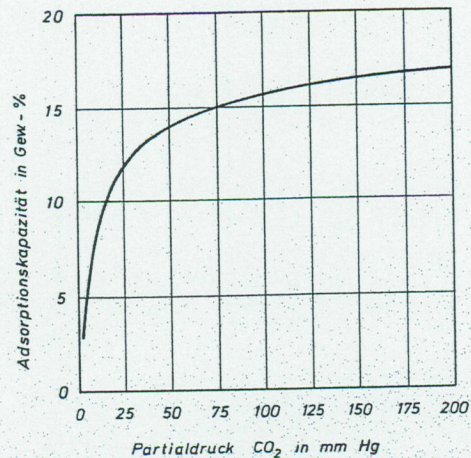


Bild 2: Kohlendioxid-Adsorptionskapazität für Molekularsieb 0,5 nm (= 5 Å); Gleichgewichtswerte bei 25 °C

Fig. 2: Carbon dioxide adsorption capacity of a molecular sieve 0.5 nm (= 5 Å); equilibrium values at 25 deg.C

Fig. 2: Capacité d'adsorption de gaz carbonique pour crible moléculaire de 0,5 nm (= 5 Å); valeurs d'équilibre à 25 °C

sich deshalb immer unverändert auf dem Molekularsieb befinden.

### Regenerierungsverfahren für Molekularsiebe

Die Regeneration der Molekularsiebe eines Monogaserzeugers kann erfolgen, indem die Temperatur im Adsorber erhöht und anschließend mit einem trockenen Gas gespült wird. Ein anderer Prozeß, um das Molekularsieb zu desorbieren ist, den Gasdruck zu vermindern oder ein Vakuum zu erzeugen. In welchem Maße der Adsorber bei der Regeneration gereinigt wird, ist von der Druck- und Temperaturdifferenz zwischen Adsorption und Desorption, von der Spülgasmenge und der Zusammensetzung des Spülgases abhängig.

Einen typischen Regenerationsverlauf, wie er beim Monogasprozeß üblich ist, zeigt Bild 4. Zu Beginn der Regeneration wird nur Kohlendioxid desorbiert, und erst wenn die Kohlen-

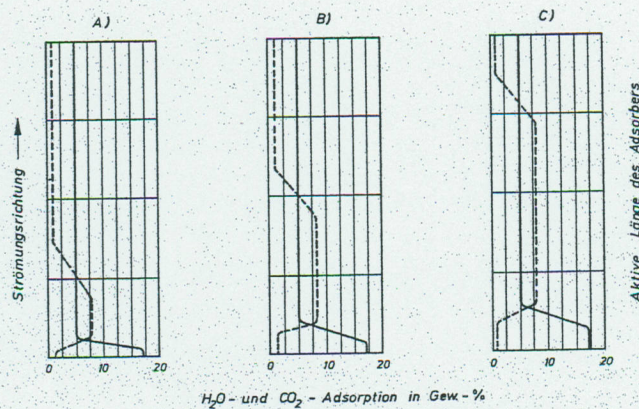


Bild 3: Adsorptionsvorgang bei der Monogaserzeugung mit Molekular-Sieben

A zu Beginn der Adsorption, B nach der Hälfte der Prozeßdauer, C bei Beendigung der Adsorption  
— Gew.-% H<sub>2</sub>O, - - - Gew.-% CO<sub>2</sub>

Fig. 3: Process of adsorption in the generation of monogas with molecular sieves

A beginning of adsorption, B after half the cycle, C end of adsorption  
— % by weight of H<sub>2</sub>O, - - - % by weight of CO<sub>2</sub>

Fig. 3: Processus d'adsorption dans la production de monogaz avec cribles moléculaires  
A au début de l'adsorption, B à la mi-temps du processus, C à l'achèvement de l'adsorption  
— % pondéral de H<sub>2</sub>O, - - - % pondéral de CO<sub>2</sub>

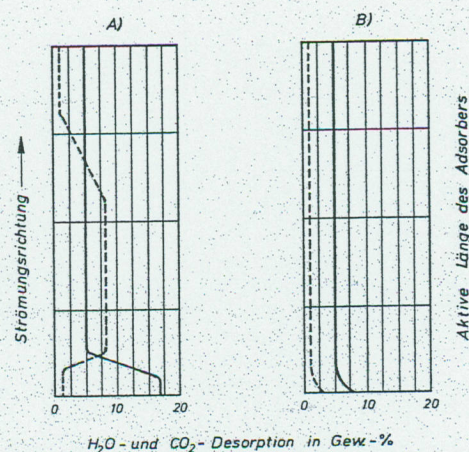


Bild 4: Desorptionsvorgang bei der Monogaserzeugung mit Molekularsieben

A zu Beginn der Desorption, B bei Beendigung der Desorption  
— Gew.-% H<sub>2</sub>O, - - - Gew.-% CO<sub>2</sub>

Fig. 4: Process of desorption in the generation of monogas with molecular sieves

A beginning of desorption, B end of desorption  
— % by weight of H<sub>2</sub>O, - - - % by weight of CO<sub>2</sub>

Fig. 4: Processus de désorption dans la production de monogaz, avec cribles moléculaires  
A au début de la désorption, B à la fin de la désorption  
— % pondéral de H<sub>2</sub>O, - - - % pondéral de CO<sub>2</sub>



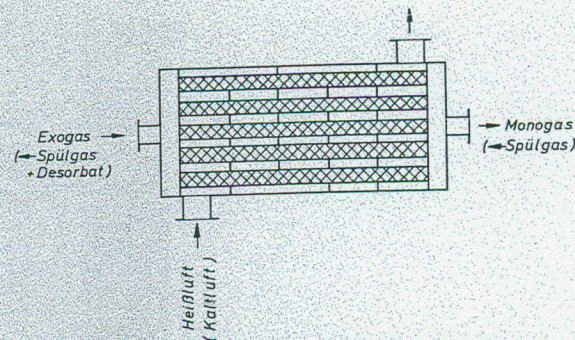


Bild 5: Molekularsiebadsorber mit indirekter thermischer Regenerierung  
 Fig. 5: Molecular sieve adsorber featuring indirect thermal regeneration  
 Fig. 5: Adsorbeur à crible moléculaire avec régénération thermique indirecte

dioxidschicht zum größten Teil abgebaut ist, beginnt auch die Desorption von Wasserdampf.

Die ersten Molekularsiebanlagen benutzten für die Entfernung von Kohlendioxid und Trocknung ein thermisches Regenerierungsverfahren. Das Adsorptionsmittel wird dabei auf zwei oder drei Behälter verteilt. Zur Reaktivierung wird das Molekularsieb auf etwa 300 °C durch Heißluft in direktem Wärmeaustausch erhitzt. Dabei nehmen die molekularen Bindekräfte schnell ab, so daß Kohlendioxid und Wasserdampf mit der Heißluft abgeführt werden. Im Gegensatz zum Wärmesystem erfolgt die Kühlung des Adsorbens mit gereinigtem Schutzgas in einem geschlossenen Kreislauf.

Die Nachteile des Verfahrens sind darin zu sehen, daß der Luftsauerstoff von der Aufheizperiode schwierig zu entfernen ist und deshalb etwa 15% des Produktgases für das Ausspülen benötigt wird. Außerdem ist der Anlagenaufwand, insbesondere für die Ventile zur Umschaltung der Gasströme sehr groß.

Einige Verbesserungen brachte die Entwicklung eines Dreibeinhälteradsorbers, wobei die Erwärmung und Abkühlung des Molekularsiebes durch indirekten Wärmeaustausch erfolgt. Dazu wird der Molekularsiebbehälter als Rohrwärmewechsler ausgeführt und Adsorbens unter Vibrationsbewegung gleichmäßig in die Rohre gefüllt. Der Durchmesser der Rohre ist unabhängig von der Größe der Anlagen begrenzt, weil einerseits eine gute Durchwärmung des Adsorbens erforderlich ist, um eine weitgehende Desorption zu erzielen, und andererseits Molekularsiebe ausgezeichnete Isolierstoffe sind. Gelingt es

nicht, den Gasstrom gleichmäßig durch die vielen kleinen Rohre zu leiten, wird leicht die zulässige Adsorptionskapazität einer der Molekularsiebsäulen überschritten und ein hoher Kohlendioxidrestgehalt im Austrittsgas ist die Folge. Bild 5 zeigt den Aufbau eines Molekularsiebbehälters für indirekten Wärmeaustausch, wobei das Heiz- und Kühlgas nicht in Berührung mit dem Adsorber kommt.

Die Vorteile der indirekten thermischen Regenerierung sind darin zu sehen, daß die erforderliche Spülgasmenge mit etwa 7% der Fertiggasleistung niedrig liegt und der Umschaltzyklus mit etwa 15 Minuten sehr kurz ist. Entsprechend verringert sich auch der Molekularsiebbedarf gegenüber einem thermischen Langzeitzyklus.

Sämtliche Adsorberanlagen zur Monogaserzeugung mit dem Temperaturwechselverfahren sind bisher hauptsächlich für kleinere Leistungen geeignet. Meistens wurden Anlagen im Kapazitätsbereich von 20 bis 60 m<sup>3</sup><sub>n</sub> ausgeführt. Bei Schutzgasgeneratoren mit großen Leistungen ist die Wirtschaftlichkeit nicht zufriedenstellend bzw. die Verfahrenstechnik begrenzt die Anlagengröße. Diese Einschränkung führte zur Entwicklung eines Regenerierungsverfahrens durch Druckwechsel mit Vakuumdesorption.

### Bauart der Monogasanlagen mit Vakuumdesorption

An Hand einer ausgeführten Anlage zur Erzeugung von 200 m<sup>3</sup><sub>n</sub> Monogas je Stunde soll das neue Verfahren erklärt werden. Als Ausgangsgas stand Methangas zur Verfügung, hierbei ist zu bemerken, daß auch andere Brenngase, wie Propan, Butan, Propylen, Erdgas, Koksofengas usw., angewendet werden können.

Den prinzipiellen Aufbau der Anlage zeigt die Schemazeichnung Bild 6, und zur besseren Veranschaulichung soll Bild 7 dienen.

Die Verbrennungsluft wird durch einen Filter vom Ventilator angesaugt und mit einem Druck von etwa 1 000 mm WS weitergefördert. Zur Überwachung des Luftstromes ist ein Durchflußmengenmesser in der Rohrleitung installiert. Der Verbrennungsluftdruck wird durch ein Manometer angezeigt und durch einen Druckschalter kontrolliert.

Das Methangas wird bei Eintritt in die Anlage zuerst gefiltert und der Vordruck mit einem Feindruckregler auf etwa 1 000 mm WS reduziert. In der Gaszuführungsleitung befindet sich außer Durchflußmengenmesser, Druckwächter und Manometer auch ein Magnetabsperrenteil. Bei eventuellen Störungen wird die Methangaszuführung automatisch unterbrochen.

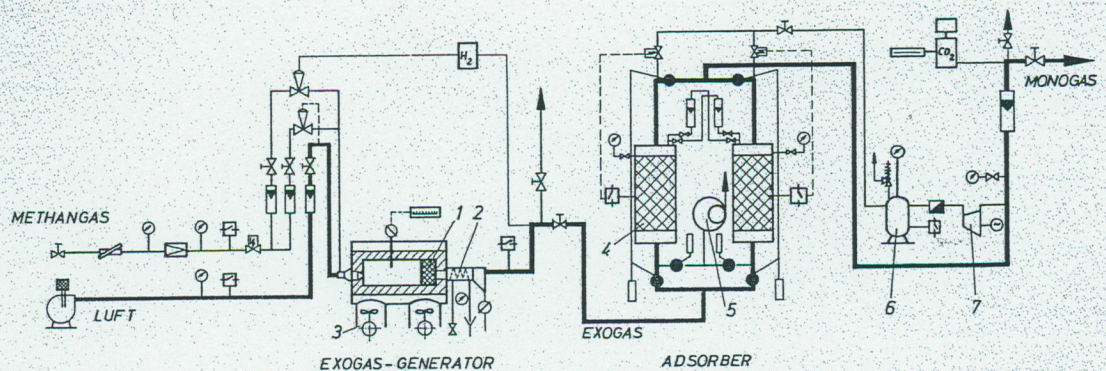


Bild 6: Schematischer Aufbau einer Monogasanlage mit Regenerierung durch Vakuumdesorption

- 1 Edelmetallkatalysator, 2 Plattenwärmetauscher, 3 Kühlluftgebläse,
- 4 Molekularsiebbehälter, 5 Vakuumpumpe, 6 Verdichter, 7 Speicher für Druckausgleich

Fig. 6: Diagrammatic representation of a monogas plant with regeneration by vacuum desorption

- 1 noble metal catalyst, 2 plate-type heat exchanger, 3 cooling air fan,
- 4 molecular sieve vessel, 5 vacuum pump, 6 compressor, 7 pressure-equalizing vessel

Fig. 6: Schéma de la conception d'une installation pour la production de monogaz, avec régénération par désorption sous vide

- 1 catalyseur de métal précieux, 2 échangeur de chaleur à plaques,
- 3 ventilateur, 4 bac du crible moléculaire, 5 pompe à vide, 6 compresseur, 7 accumulateur pour l'équilibrage de la pression



Verbrennungsluft und Methangas werden im Brenner gemischt und der Brennkammer zugeführt. In der Brennkammer erfolgt die exotherme Reaktion zwischen Brenngas und Luft. Für die Zündung des Hauptbrenners dient ein eingebauter Zündbrenner, der mit einer Hochspannungselektrode versehen ist. Die Flammenüberwachung erfolgt im Hauptbrenner durch Ausnutzung des Ionisationseffektes. Zur Kühlung der mit feuerfesten Steinen ausgefüllten Brennkammer, wird Kaltluft durch einen äußeren Doppelmantel geblasen. Die Brennkammertemperatur wird zur Kontrolle angezeigt, wobei als Temperaturfühler ein Thermoelement aus Pt-Rh-Pt eingesetzt wird. Am Ausgang der Brennkammer ist ein Edelmetallkatalysator eingefüllt, der die Aufgabe hat, freie Sauerstoffreste von den Verbrennungsgasen an die Gaskomponenten Wasserstoff und Kohlenmonoxid zu binden. Die Kühlung der 1 400 °C heißen Abgase erfolgt in einem Spezialplatten-Wärmetauscher indirekt mit Wasser. Eine Beschichtung mit Zirkonoxid schützt die Platten des Wärmetauschers vor Überhitzung. Das bei der Kühlung der Abgase auf eine Temperatur von 20 °C – bei 15 °C Kühlwassertemperatur – anfallende Kondensat wird automatisch abgeleitet.

Der zuvor beschriebene erste Verfahrensschritt zur Monogaserzeugung ist der sogenannten Exogasherstellung identisch. Die gekühlten Abgase des unvollständig verbrannten Methangases werden auch mit Exogas bezeichnet. Die dargestellte Anlage bietet im Vergleich zu konventionellen Exogas-Generatoren einige Vorteile. Besonderes Merkmal ist die Gaskühlung im Plattenwärmetauscher. Es ist also nicht wie üblich ein Rieselkühler vorgesehen, bei dem das Exogas mit dem Kühlwasser in Berührung kommt. Die indirekte Kühlung hat den Vorteil, daß Sauerstoff vom Kühlwasser nicht in das Exogas gelangt. Die Installation eines nachgeschalteten Sauerstoffentferners erübrigt sich. Weiterhin ist der Platzbedarf für einen Plattenwärmetauscher bedeutend geringer als für einen Kühlturm.

Durch den Edelmetallkatalysator in der Brennkammer ist ein sauerstofffreies Schutzgas gewährleistet. Außerdem ist es nicht mehr erforderlich, eine Vormischung von Brenngas und Luft vorzunehmen. Es entfällt also die aufwendige Mischvorrichtung mit ihrem Explosionsrisiko. Der Leistungsregelbereich der Anlage wird durch den Einsatz des Katalysators und der luftgekühlten Brennkammer erweitert. Bild 8 veranschaulicht die konstruktive Ausführung des neuen Exogenerators.

Um eine gleichmäßige Zusammensetzung des Schutzgases zu erzielen, muß der Gemischregelung von Methangas mit Luft große Beachtung geschenkt werden. Das Mengenverhältnis

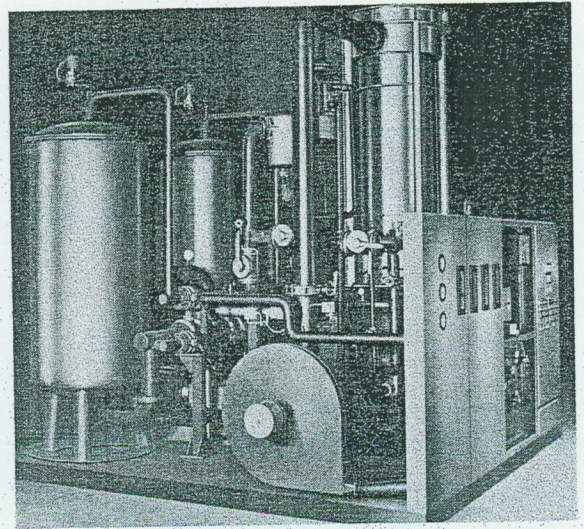


Bild 7: Monogaserzeuger mit Vakuumdesorption, Leistung 200 m<sup>3</sup>/h  
 Fig. 7: Monogas generator with vacuum desorption, capacity 200 m<sup>3</sup>/hr NTP  
 Fig. 7: Générateur de monogaz, avec désorption par vide, débit 200 m<sup>3</sup>/h

muß derartig geregelt werden, daß der im Monogas erforderliche Gehalt an Kohlenmonoxid und Wasserstoff genau erreicht wird. Dabei ist zu bemerken, daß gemäß den VDI-Sicherheitsrichtlinien Monogas mit einem maximalen Anteil von 5 Vol.-% brennbaren Gasanteilen explosionsicher ist. Monogas mit mehr als insgesamt 12 Vol.-% CO und H<sub>2</sub> ist entflammbar und kann in Ofenanlagen zu Verpuffungen führen. Bei einem Kohlenmonoxid- und Wasserstoffgehalt von mehr als 20 Vol.-% ist Monogas brennbar. Wie aus Bild 9 ersichtlich wird, können kleine Regelabweichungen bereits die Monogaszusammensetzung erheblich verändern.

Bei dem neuen Monogaserzeuger wird der Wasserstoffgehalt kontinuierlich geregelt. Der Wasserstoffanteil wird durch einen Analysator mit Wärmeleitfähigkeitsmeßmethode zugeführt, der ein Motorventil in der Methangasleitung steuert. Änderungen der Umgebungstemperatur und Luftfeuchte beeinflussen die Schutzgaszusammensetzung, so daß eine automatische Regelung des Verhältnisses Gas zu Luft immer empfehlenswert ist.

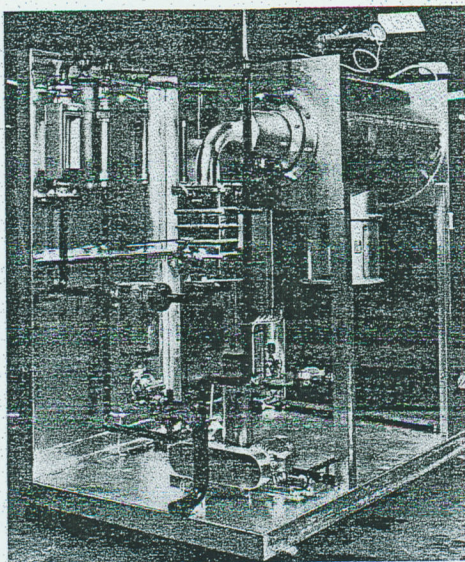
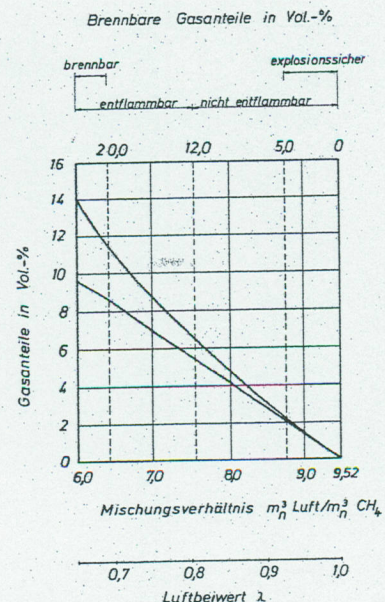


Bild 8: Exogaserzeuger mit indirekter Kühlung  
 Fig. 8: Exothermic gas generator with indirect cooling  
 Fig. 8: Générateur d'exogaz avec refroidissement indirect

Bild 9: Monogaszusammensetzung in Abhängigkeit vom Verhältnis Methangas zu Verbrennungsluft  
 Fig. 9: Composition of monogas as a function of the ratio between methane and combustion air  
 Fig. 9: Composition du monogaz en fonction du rapport entre méthane et air de combustion





Die zweite Stufe bei der Monogaserzeugung ist die Adsorptionsanlage. Im Aufbau unterscheidet sich die Anlage mit Vakuumdesorption von Anlagen mit dem Temperaturwechselverfahren augenscheinlich durch die Größe und Anzahl der Molekularsiebbehälter. Bei dem Verfahren mit Vakuumdesorption sind nämlich nur zwei Behälter erforderlich. Während in einem Adsorber das Prozeßgas gereinigt und getrocknet wird, ist der andere auf Regenerierung geschaltet, das heißt der Gasdruck wird gemindert und das Molekularsieb gleichzeitig mit gereinigtem Monogas gespült. Die Desorption verläuft sehr schnell, so daß die Zeit zwischen dem Umschalten der Gasströme mit etwa zehn Minuten eingestellt werden kann.

Als Regenerierungseffekt wird die Abhängigkeit der Adsorptionskapazität vom Partialdruck der zu adsorbierenden Verunreinigungen benutzt. Wie die Bilder 1 und 2 zeigen, ist die Beladepkapazität von Molekularsieben für Wasserdampf und Kohlendioxid bei niedrigem Partialdruck auch sehr gering. Erhöht sich der Partialdruck, zeigen Molekularsiebe das Verhalten einer stark ansteigenden Adsorptionskapazität, die jedoch bei höheren Drücken schnell wieder abflacht. Daraus resultiert, daß bei der Desorption ein Vakuum von etwa 20 Torr aufrechterhalten werden muß. Das Evakuieren allein ist nicht ausreichend, um das Desorbat zu entfernen, so daß gleichzeitig 10 % der erzeugten Schutzgasmenge für das Spülen verbraucht werden.

Bei den thermischen Verfahren verläuft die Regenerierung noch weitgehender als bei der Vakuumdesorption. Hierdurch ergibt sich auch eine unterschiedliche Ausnutzung der Adsorptionskapazität. Grundsätzlich ist aber die Molekularsiebmenge trotzdem bei Druckwechselverfahren geringer, weil die Umschaltzeiten erheblich kürzer sind.

Abschließend sollen noch die wichtigsten Konstruktionsmerkmale der neuen Adsorberanlage herausgestellt werden. Als Ventile für das Umschalten der Gasströme wurden Kugelhähne mit elastischen Dichtungsringen eingesetzt. Die Betätigung der Hähne erfolgt mit Elektroverstellzylinder, weil die Schaltung nicht ruckartig durchgeführt werden darf. Zur Einstellung und Überwachung der Spülgasmenge sind Durchflußmengenmesser und Regelventile vorgesehen.

Als Besonderheit wird nach Ablauf des Desorptionszyklus der Druck im Behälter wieder vollständig aufgebaut, bevor die Umschaltung erfolgt. Dabei ist zu beachten, daß die Adsorption mit 500 mm WS praktisch drucklos erfolgt, weil eine Verdichtung des Exogases die Betriebskosten bei diesen großen Anlagen erheblich gesteigert und damit die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens ungünstig beeinflussen würde. Durch den Druckausgleich werden Druckstöße, die einen Abrieb des Molekularsiebes bewirken, vermieden. Dieser Staub von dem Adsorbens würde in den Ventilen und Armaturen der Anlage große Schwierigkeiten verursachen.

Die Qualität des erzeugten Schutzgases wird kontinuierlich überwacht. Hierzu dient ein Infrarotanalysator für die Bestimmung des Restgehaltes an Kohlendioxid.

## Zusammenfassung

Die Entwicklung der Monogaserzeugung wird kurz aufgeführt, wobei der Einsatz von Molekularsieben viele neue Bauarten hervorgerufen hat. Nach eingehender Erläuterung der charakteristischen Eigenschaften von Molekularsieben für den Monogasprozeß werden verschiedene Bauarten beschrieben.

Der Aufbau und die Arbeitsweise einer neuen Monogasanlage mit Regenerierung des Molekularsiebes durch Vakuum werden dargestellt. Das Vakuumdesorptionsverfahren ermöglicht die Ausführung größerer Anlagen mit einer Stundenleistung von einigen hundert Normkubikmetern bei günstigster Wirtschaftlichkeit. Dabei ist die erzielte Schutzgasqualität mit einem Restgehalt von 0,01 Vol.-% CO<sub>2</sub> und einem Taupunkt unter - 60 °C für sämtliche Einsatzmöglichkeiten zufriedenstellend.

## Summary

The author presents a brief review of developments in the generation of monogas. The use of molecular sieves has resulted in the appearance of many new designs. Following a detailed explanation of the characteristics of molecular sieves for the monogas process, different types of sieve are described.

The design and operation of a new monogas plant featuring vacuum regeneration of the molecular sieve are described. The vacuum desorption process enables large plants with hourly outputs of several hundred cubic meters NTP to be built which provide an optimum of efficiency. With a residual content of 0.01 % by volume of CO<sub>2</sub> and a dew point of - 60 deg.C, the quality of the protective gas obtained is satisfactory for all applications.

## Résumé

L'auteur analyse le développement de la production de monogaz et mentionne l'utilisation de cribles moléculaires qui ont permis de mettre au point de nombreuses installations nouvelles. Après avoir examiné en détail les propriétés caractéristiques des cribles moléculaires utilisés dans la production de monogaz, l'auteur fait la description de différents modèles.

Il expose la conception et le fonctionnement d'une nouvelle installation de monogaz avec régénération du crible moléculaire par vide. Le procédé de désorption sous vide permet de réaliser de grandes installations, d'un débit horaire de plusieurs centaines de mètres cubes, offrant une rentabilité optimale. La qualité du gaz de protection obtenu, d'une teneur résiduelle en CO<sub>2</sub> de 0,01 % Vol., et à un point de rosée inférieur à - 60 °C, est satisfaisante pour toutes les applications possibles.