

## Gasreinigung in Unterwasser-Schweißkammern für hyperbare Bedingungen

Franz Mayinger, Klaus-Dieter Tigges und Dieter Mewes\*

Herrn Professor Dr.-Ing. Heinz Brauer zum 60. Geburtstag

Für die Helium/Sauerstoff-Atmosphäre von in großen Tiefen einzusetzenden Unterwasser-Schweißkammern war eine Gasreinigungsanlage zu entwickeln, die kontinuierlich alle beim Schweißen entstehenden Schadstoffe entfernt. Derartige Unterwasser-Schweißkammern werden zu Reparaturzwecken für am Meeresboden verlegte Rohrleitungen und in großen Wassertiefen verankerte Plattformen eingesetzt. Die in ihnen enthaltene Gasatmosphäre steht unter dem hydrostatischen Druck der Tauchtiefe. Werden in ihr Werkstücke mit Hilfe von Elektroschweißverfahren miteinander verbunden, so ergeben die im Lichtbogen ablaufenden chemischen Reaktionen gasförmige und partikelförmige feste Reaktionsprodukte. Die Reaktionsbedingungen führen bei Umgebungsdruck zu Abgasen, deren Zusammensetzung von der Lichtbogenlänge, den zu verschweißenden Werkstoffen und den Zuschlagstoffen abhängt. Entsprechend dem erhöhten Druck kann sich in einer Unterwasser-Schweißkammer, die als geschlossenes System betrachtet wird, eine geänderte Abgaszusammensetzung ergeben. Aus dem Abgas müssen alle toxischen, gasförmigen und festen Komponenten kontinuierlich entfernt werden. Nur so gelingt es, für Unterwasser-Schweißarbeiten eine transparente und atembare Gasatmosphäre aufrecht zu erhalten, die unter sog. „hyperbaren“ Bedingungen ein sicheres Arbeiten mit genügender Effizienz ermöglicht.

Für die experimentellen Untersuchungen zur Gasreinigung wurde eine Versuchsanlage erstellt [1]. In dieser diente ein Schweißautomat zum Erzeugen von Schweißgasen und Schweißrauch mit reproduzierbarer Zusammensetzung. Die festen Bestandteile der Schweiß-

rauche wurden mit Hilfe eines Venturi-Wäschers abgeschieden. Um den dazu notwendigen Druckverlust des Gasstroms zu senken, erfolgte die Flüssigkeitseinspeisung in mehrere hintereinanderliegende Querschnitte im verengten Bereich der Düse. Dabei gelang es gleichzeitig, den Abscheidegrad des Wäschers gegenüber herkömmlichen Konstruktionen zu verbessern. In Abb. 1 sind die gemessenen Druckverluste  $\Delta p$  als Funktion des Gesamtabscheidegrades  $\eta_{ges}$  dargestellt. Eingezeichnet sind die Ergebnisse für verschiedene Volumenstromverhältnisse  $L$  von Flüssigkeit und Gas sowie unterschiedliche Querschnittsformen des Düsenkanals.

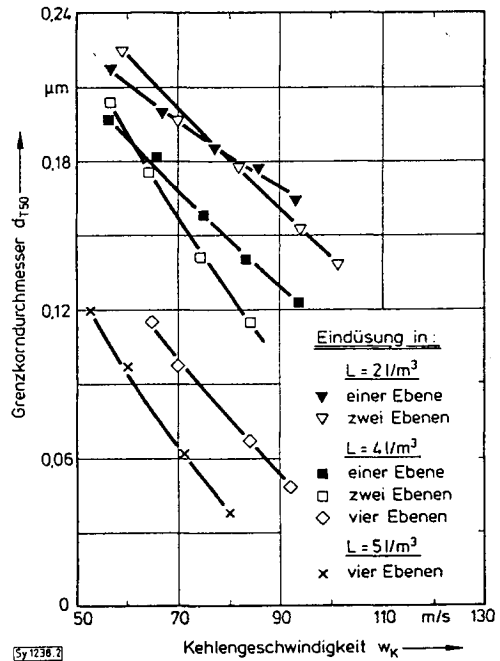


Abb. 2. Grenzkorndurchmesser der zu 50% abgeschiedenen Partikelfraktion als Funktion der Gasgeschwindigkeit im engsten Querschnitt.

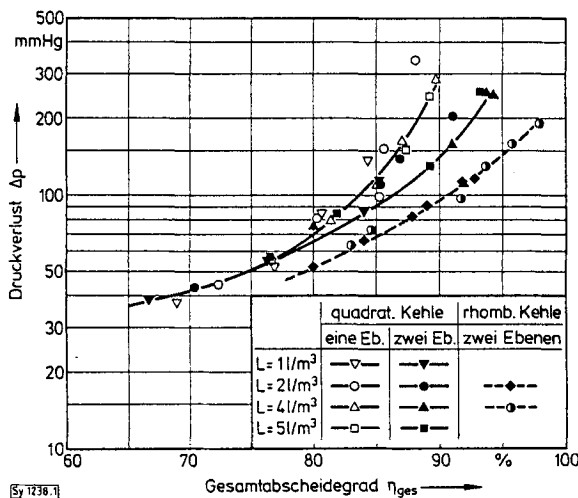


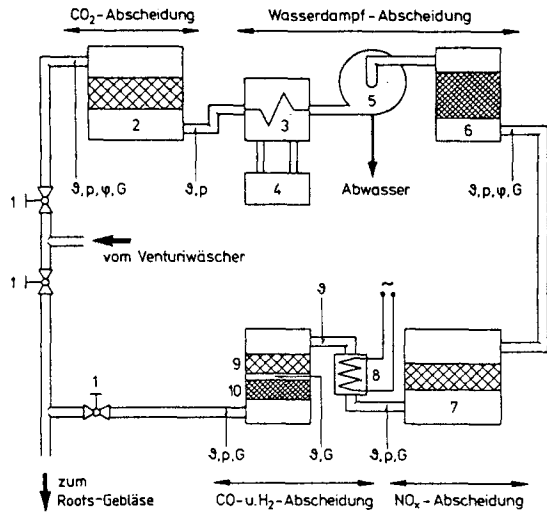
Abb. 1. Druckverlust des Gasvolumenstroms im Venturi-Wäscher in Abhängigkeit vom erzielten Gesamtabscheidegrad für verschiedene Volumenstromverhältnisse der Phasen und Formen des engsten Querschnitts.

Für die Messung des Partikeldurchmessers wurde ein Streulichtmeßverfahren unter Verwendung eines Laser-Strahls eingesetzt. Dieses indirekte Meßverfahren wurde mit Hilfe einzelner rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen der entsprechenden Staubproben geeicht. Auf diese Weise gelang es, neben Gesamtabscheidegraden auch Fraktionsabscheidegrade zu ermitteln. Sie geben Auskunft über das Entstaubungsverhalten des Venturi-Wäschers im Bereich von Partikelabmessungen  $< 1 \mu\text{m}$ . In Abb. 2 ist der Grenzkorndurchmesser  $d_{T50}$  als Funktion der Gasgeschwindigkeit  $w_k$  im engsten Düsenquerschnitt aufgetragen. Der Grenzkorndurchmesser kennzeichnet die Abmessung der gerade zu 50% abgeschiedenen Partikelfraktion. Parameter der Darstellung sind das Volumenstromverhältnis der Phasen und die Zahl der mit Flüssigkeit beaufschlagten Querschnitte des Venturi-Wäschers. Mit einstufiger Wassereindüsung lassen sich keine Grenzkorndurchmesser unter  $0,1 \mu\text{m}$  erzielen. Dagegen werden mit vierstufiger Zufuhr des gleichen Flüssigkeitsvolumenstroms sogar Partikeln mit einem Durchmesser  $< 0,04 \mu\text{m}$  zu 50% abgeschieden.

Der dabei auftretende Druckverlust ist ebenfalls stark reduziert. Für den Gesamtabscheidegrad von beispielsweise 90% wird der Druckverlust halbiert, wenn die Flüssigkeit in zwei Ebenen statt in einer Ebene eingesprüht wird.

Neben den beim Schweißen anfallenden partikelförmigen Schadstoffen sind insbesondere die Gaskomponenten  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NO}$

\* Prof. Dr.-Ing. F. Mayinger, Lehrstuhl A für Thermodynamik der TU München, Prof. Dr.-Ing. D. Mewes und Dr.-Ing. K.-D. Tigges, Institut für Verfahrenstechnik der Univ. Hannover, Callinstr. 36, 3000 Hannover 1.



- |                            |                                    |
|----------------------------|------------------------------------|
| 1 Kugelventil              | 9 Hopkalit - Katalysator - Schicht |
| 2 „Atemkalk“ - Reaktor     | 10 Platin - Katalysator - Schicht  |
| 3 Luftkühler               |                                    |
| 4 Kühlthermostat           |                                    |
| 5 Zyklon                   | <u>Messstellen</u>                 |
| 6 Molekularsieb - Adsorber | p Druck                            |
| 7 Aktivkohle - Adsorber    | ψ Temperatur                       |
| 8 Elektrische Heizung      | ψ Feuchte                          |
|                            | G Gaszusammensetzung               |

5912383

Abb. 3. Schematische Darstellung der Versuchsanlage zur Abscheidung der im Schweißgas enthaltenen Schadgaskomponenten.

und  $\text{NO}_2$  aus dem Schweißgas zu entfernen. Das Abtrennen erfolgte mit der in Abb. 3 in schematischer Form dargestellten Versuchsanlage. Die partikelförmigen Schadgase verlassen den Venturi-Wäscher mit einer relativen Luftfeuchte von über 90% und treten in den zur Kohlendioxid-Abscheidung dienenden Festbettadsorber ein.

Er ist mit einer Schicht aus Calciumoxid (Atemkalk) gefüllt und absorbiert im Bereich der untersuchten Eintrittskonzentration von 0,2 bis 1,0 Vol.-%  $\text{CO}_2$  etwa 93 bis 97% des im Luftstrom enthaltenen Kohlendioxids. Im nachgeschalteten Kondensator, Zyklon und Molekularsieb-Adsorber erfolgt die Wasserdampf-Abscheidung. Für das Entfernen von Stickoxiden wird ein Aktivkohle-Adsorber eingesetzt. Mit diesem werden für das besonders schwer adsorbierende Stickstoffmonoxid Abscheidegrade von ca. 75% gemessen, wobei die Eintrittskonzentrationen zwischen 25 und 72 Vol.-ppm variiert wurden. Die Komponenten  $\text{CO}$  und  $\text{H}_2$  wurden durch katalytische Oxidation entfernt. Dabei wurde im Falle des Kohlenmonoxids „Hopkalit“ als Katalysator eingesetzt, während für die Wasserstoff-Oxidation ein Platin-Katalysator verwendet wurde. Parallel zur Reinigung der Gase wurden geeignete Gasanalysenverfahren ausgewählt und erprobt, um die Abscheideapparate auch während des betrieblichen Einsatzes überwachen zu können und um die Sicherheit des in der gereinigten Gasatmosphäre arbeitenden Personals zu gewährleisten.

Die Verfasser danken dem Bundesministerium für Forschung und Technologie für die im Rahmen des Projektes MTK 0193 gewährte Förderung.

Eingegangen am 12. August 1983

[1] Tigges, H.-D.: Untersuchungen zur Schweißrauchabscheidung im Hochleistungs-Venturi-Wäscher, Dissertation, Univ. Hannover 1983.

**Schlüsselworte:** Gasreinigung, Schweißen, Unterwasserarbeiten.

Das vollständige Manuskript dieser Arbeit umfaßt 31 Seiten mit 14 Abbildungen und 3 Literaturzitaten. Es ist als Fotokopie oder Mikrofiche MS 1159/83 erhältlich. Eine Bestellkarte finden Sie am Schluß dieses Heftes.