

Versuch V3 - Erdgasanalyse

1.1 Erdgasanalyse

Deutschland verbraucht pro Jahr knapp 100 Mrd. m³ Erdgas und verfügt über ein flächendeckendes Netz für dessen Distribution. Deutschland bezieht sein Erdgas größtenteils aus Russland, Norwegen und den Niederlanden. Darüber hinaus aus einigen eigenen Quellen, welche sich hauptsächlich in Norddeutschland befinden. Die Zusammensetzung von Erdgas unterscheidet sich nach der Herkunft des Gases. Unterschieden werden H- („high calorific“) und L-Gasnetze („low calorific“) nach dem Brennwert (vgl. Tab. 1).

Die Hauptanwendungen für Erdgas in Deutschland liegen im industriellen Sektor und im häuslichen Gebrauch zur Erzeugung von Wärme.

Neben der Distribution hat die Erdgasinfrastruktur in Deutschland auch eine Speicherfunktion. An das Erdgasnetz sind Speicher in Form von Poren- und Kavernenspeichern angeschlossen, welche dazu in der Lage sind ca. 80 Tage des jährlichen Bedarfs zwischenzuspeichern, um zum einen kurzfristige und saisonale Schwankungen auszugleichen und zum anderen Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Darüber hinaus steht in Deutschland die Nutzung der vorhandenen Erdgasspeicherinfrastruktur für den Ausgleich von fluktuierend anfallenden erneuerbaren Energieformen, wie z. B. Windkraft oder Solarenergie im Fokus aktueller Diskussionen („Power-to-Gas“).

In Deutschland wird das Erdgas zum Zweck der Unfallverhütung odoriert. Zum Einsatz kommt u. a. Tetrahydrothiophen (THT, C₄H₈S) mit einer Konzentration von ca. 20 mg·m⁻³. Für den Fall, dass aus einer defekten Erdgasleitung Gas austritt, warnt der charakteristische Geruch vor Gefahr.

Tab. 1 Zusammensetzung und Brennwerte typischer Erdgase in Deutschland

	Methan (Vol.%)	Ethan (Vol.%)	Propan (Vol.%)	Butane (Vol.%)	Kohlen- stoff- dioxid (Vol.%)	Stick- stoff (Vol.%)	Sauer- stoff (Vol.%)	HS ^b (kWh/ m ³)	WS ^b (kWh/ m ³)	Dichte ^a (kg/m ³)	Methan- zahl ^c (± 2)
H-Gas											
Russland	98,3	0,5	0,2	0,1	0,1	0,8	0	11,1	14,8	0,74	89
Nordsee I	88,6	8,4	1,7	0,7	0	0,6	0	12,2	15,4	0,81	72
Nordsee II	83,0	11,6	3,1	0,5	0,3	1,5	0	12,5	15,4	0,85	68
Verbundgas	88,6	5,3	1,4	0,6	1,4	2,7	0	11,5	14,5	0,81	78
Russland + Propan/ Luft ¹⁰	59,7	0,06	20,25	0,3	0,06	15,57	4,06	12,4	13,5	1,1	47
Russland + Butan/Luft ¹⁰	66,9	0,07	0,14	13,39	0,07	15,55	3,88	12,4	13,5	1,1	36
L-Gas											
Holland I	81,3	2,8	0,4	0,3	1,0	14,2	0	9,8	12,2	0,83	90
Holland II	82,9	3,7	0,7	0,3	1,3	11,1	0	10,2	12,8	0,83	86
Ost- hannover	79,5	1,1	0,1	0	0,7	18,6	0	9,1	11,3	0,83	101
Holland I + Propan/ Luft ¹¹	47,1	1,6	19,2	0,17	0,58	26,5	4,85	11,0	11,6	1,16	51
Holland I + Butan/Luft ¹¹	53,6	1,8	0,26	12,4	0,66	26,6	4,68	11,0	11,6	1,16	36

Versuchsdurchführung

- Bestimmen Sie die Hauptbestandteile des Erdgases aus dem Erdgasnetz von Karlsruhe und vergleichen Sie den resultierenden Energieinhalt mit typischen Erdgasen in Deutschland.

Auswertung

Die Ergebnisse sind in übersichtlicher Weise tabellarisch darzustellen. Die Bestandteile gleicher C-Zahlen können zu Gruppen zusammengefasst werden. Für die Berechnung des Brennwertes kann für jede Stoffgruppe mit dem Brennwert des entsprechenden Alkans gerechnet werden. Wird in Karlsruhe „H-„ oder „L-Gas“ verteilt?

Das GC-System

Das chromatographische System besteht aus dem Chromatographen und einem Schreiber zur Aufzeichnung der Chromatogramme bzw. einer entsprechenden EDV.

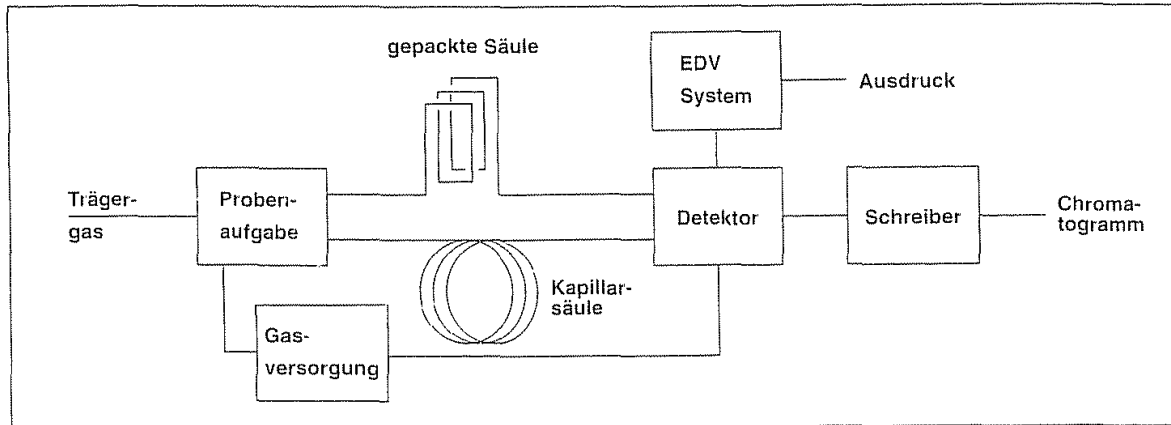


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Aufbaus eines GC-Systems

Der Chromatograph bzw. ein Analysenstrang setzt sich zusammen aus einem Probenaufgabeteil, einer Pneumatik, einem Ofen mit Temperaturregelung zur Aufnahme der Trennsäule und dem Detektor.

Bzgl. der Probenaufgabe werden zwei grundsätzliche Varianten, die direkte und die indirekte Aufgabe unterschieden. Bei der direkten Aufgabe die Probe, z. B. mit einer Spritze direkt in die Trennsäule (on column) injiziert. Bei der indirekten Aufgabe wird die Probe, sofern diese nicht gasförmig vorliegt, in einen Verdampfer injiziert und anschließend als Dampf vollständig oder nur teilweise (Split-Technik) in die Trennsäule überführt. Im vorliegenden Fall geschieht die Gasprobenaufgabe indirekt. Die Probe wird in eine sog. Probenschleife (engl. „sample-loop“) eingegeben. Um sicherzustellen, dass für jede Messung die identische Menge an Gas in der Probenschleife vorliegt, sorgt der „loop-filling manager“ für konstanten Druck und Temperatur in der Probenschleife. Über eine Ventilschaltung am GC wird anschließend der Inhalt der Probenschleife auf die GC-Säule überführt.

Der Detektor zeigt eine Substanz durch Erzeugung eines elektrischen Signals (response) an. Diese Signale werden analog (mittels eines Schreibers) oder digital (per Computer) verarbeitet und erzeugen das Chromatogramm und ggf. einen Report

mit numerischen Angaben. Manche Detektoren reagieren spezifisch, d.h. nur auf bestimmte Substanzklassen oder auf bestimmte Atome (P, N, etc.).

Sofern erforderlich, werden benötigte Gase mit Hilfe einer Pneumatik zur Verfügung gestellt: Das Trägergas und z. B. die Brenngase für den Flammenionisationsdetektor (FID).

Der Trennprozess

Alle chromatographischen Trennverfahren beruhen auf multiplikativer, d. h. wiederholter Verteilung der zu trennenden Komponenten zwischen zwei Phasen in kontinuierlicher Arbeitsweise. Dabei ist eine Phase stationär, eine zweite, die mobile Phase, bewegt sich an der stationären Phase vorbei.

In der Gaschromatographie ist die mobile Phase stets das Gas (meist N_2 , H_2 , He). Die stationäre Phase ist in der GSC (Gas Solid Chromatography bzw. Adsorption-Chromatographie) ein poröser, polymerer Feststoff, während in der GLC (Gas Liquid Chromatography) oder Verteilungschromatographie eine meist viskose Flüssigkeit als stationäre Phase dient. Gepackte Trennsäulen werden vollständig mit Packungsmaterial gefüllt, wobei flüssige stationäre Phasen auf ein inertes Trägermaterial aufgebracht werden. Kapillarsäulen benötigen keinen Träger, da bei ihnen die Innenwand der Kapillare mit der stationären Phase belegt wird (WCOT = Wall Coated Open Tubular = wandbelegte Trennsäule).

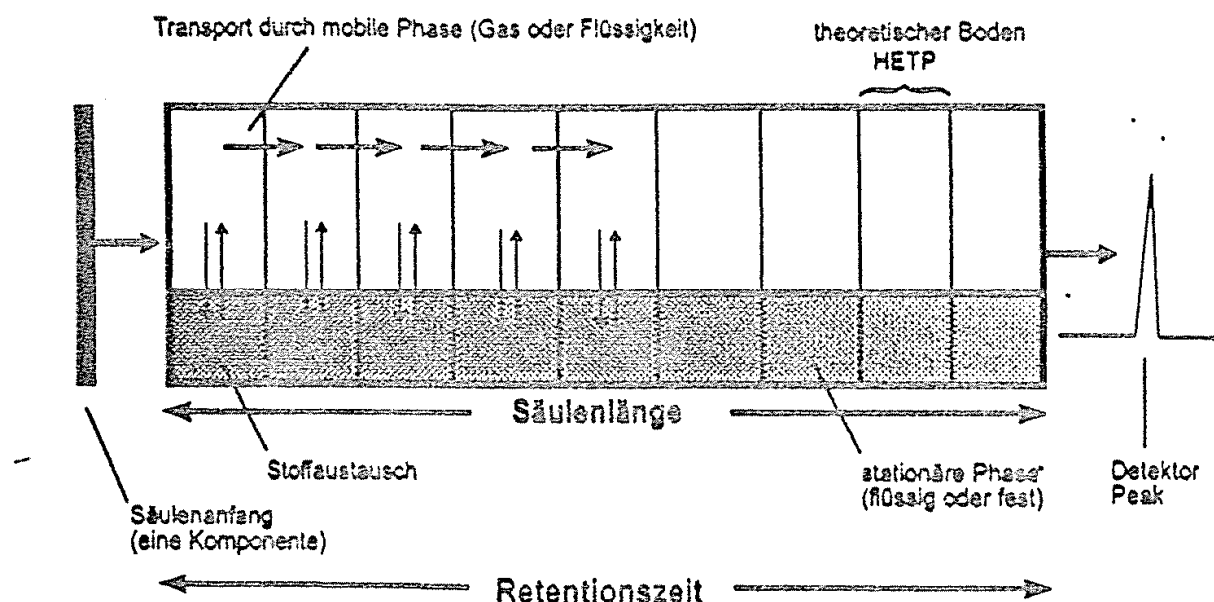


Abbildung 2: Stofftransport in einer chromatografischen Säule

Die mobile Phase, das Trägergas, durchströmt die Trennsäule und übernimmt den Transport der aufgegebenen Probe, d.h. der zu trennenden Mischung. Die einzelnen

Komponenten werden entsprechend ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften von der stationären Phase im Allgemeinen gelöst oder adsorbiert. Aufgrund des dynamischen Prozesses kommt es zur Ausbildung von mehreren Verteilungsgleichgewichten. Die Anzahl der sich einstellenden Verteilungsgleichgewichte ist hierbei ein Maß für die Trennkraft der Säule. Dies wird als Anzahl der theoretischen Böden ausgedrückt. Ein theoretischer Boden ist definiert als die Zone, in der sich ein Verteilungsgleichgewicht ausbildet. Je höher die Anzahl der theoretischen Böden, desto größer ist die Trennkraft der Säule. Die Größe eines theoretischen Bodens wird als HETP, „height equivalent to a theoretical plate“, d. h. theoretische Bodenhöhe bezeichnet.

Die Qualität einer Trennung (Auflösung) hängt davon ab, wie lange sich die zu trennenden Komponenten in der stationären Phase aufhalten und wie oft/stark sie mit ihr in Wechselwirkung treten (Selektivität).

Die Art der Wechselwirkung zwischen Komponenten und der stationären Phase hängt z. B. von den funktionellen Gruppen in den Substituenten ab. Die funktionellen Gruppen in den Substituenten der stationären Phase bestimmen deren Polarität.

Das Chromatogramm

Ein Chromatogramm besteht aus der Basislinie und einer entsprechenden Anzahl von Peaks. Die Fläche des Peaks dient der quantitativen Bestimmung.

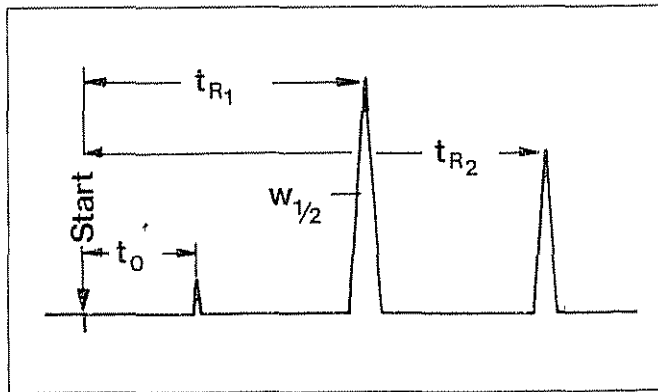


Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Chromatogramms

Das Chromatogramm beginnt mit dem Zeitpunkt der Injektion der gelösten Probe. Der zeitliche Abstand eines Peaks vom Zeitpunkt der Injektion entspricht der Retentionszeit t_R , über die eine Komponente identifiziert werden kann (qualitative Bestimmung). Sie setzt sich zusammen aus der Aufenthaltsdauer in der mobilen Phase (t_0) und der Verweilzeit in der stationären Phase ($t_{R'} = \text{Nettoretentionszeit}$);

$$t_{R_i} = t_0 + t_{R_i}'$$

t_0 wird auch als Totzeit bezeichnet und ist die Zeit, die eine Komponente benötigt, um das chromatographische System zu durchlaufen, ohne mit der stationären Phase in Wechselwirkung zu treten (manchmal auch Luft- und Gaspeak genannt). Die Nettoretentionszeit $t_{R'}$ ist die Differenz zwischen Bruttoretentionszeit t_{R_i} und Totzeit t_0 .

$$t_{R_i}' = t_{R_i} - t_0$$

Sie gibt an, wie lange sich eine Substanz in der stationären Phase aufhält.

Das Kapazitätsverhältnis (k') gibt die Lage des Peaks einer Substanz im Chromatogramm an. Das Kapazitätsverhältnis ist stoffspezifisch und unter gleichbleibenden Betriebsbedingungen der Trennsäule konstant.

$$k_i' = \frac{t_{R_i} - t_0}{t_0}$$

Die relative Retention (α), auch Trennfaktor oder Selektivitätskoeffizient genannt, ist definiert als

$$\alpha = \frac{k_2'}{k_1'}$$

Also als Quotient zweier Kapazitätsverhältnisse, wobei die Bezugssubstanz im Nenner steht.

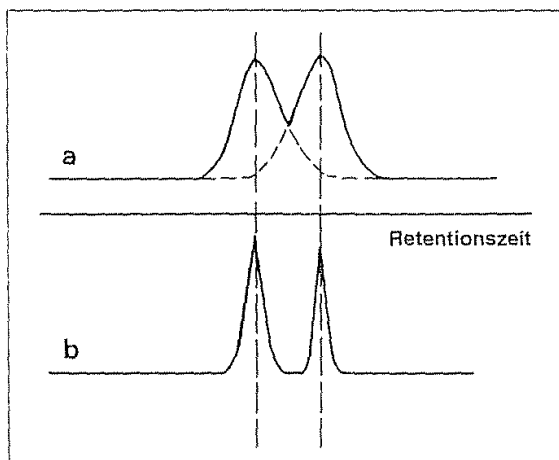


Abbildung 4: Definition der Retentionszeit für a) überlappende und b) vollständig getrennte Peaks

Die relative Retention gibt keine Information über die Güte einer Trennung, da bei gleichem α -Wert zwei Peaks, die sehr breit sind, überlappen können, (wie in der Abbildung unter a. gezeigt), oder (wie in Kurve b.) als isolierte Peaks erscheinen, wenn sie entsprechend schmal sind. Deshalb wird bei der Definition der Auflösung R die Halbwertsbreite ($w_{1/2}$) mit einbezogen gemäß

$$R = \frac{t_{R_2} - t_{R_1}}{(w_{1/2})_2 + (w_{1/2})_1}$$

Die Auflösung R ist ein Maß für die Güte einer Trennung.

Die Trennzahl SN (Separation Number) ist ebenfalls ein Qualitätsmaß, das angibt, wie viele Peaks zwischen zwei Gliedern einer homogenen Reihe z. B. von n -Paraffinen aufgelöst werden können.

$$SN = \frac{t_{R_2} - t_{R_1}}{(w_{1/2})_2 + (w_{1/2})_1} - 1$$

Die Zahl der theoretischen Böden oder Trennstufen (N_{th}) charakterisiert die Qualität einer Trennsäule (sie sollte bei einem $k' > 5$ bestimmt werden):

$$N_{th} = 5,54 \cdot \left(\frac{t_{R_i}}{w_{1/2}} \right)^2$$

Das Höhenäquivalent eines theoretischen Bodens (h , HETP) errechnet sich aus der Länge L der Trennsäule dividiert durch die Zahl der theoretischen Böden N_{th} :

$$h = HETP = \frac{L}{N_{th}}$$

Ein solcher Boden ist eine theoretische Annahme und repräsentiert den Teil einer Säule, in dem sich das Verteilungsgleichgewicht einmal einstellt. Je kleiner dieser Wert ist, desto besser trennt die Säule.

Der Zusammenhang zwischen N , R und k' lautet

$$R = \frac{1}{4} \cdot \frac{\alpha - 1}{\alpha} \cdot \frac{k_i'}{k_i' + 1} \cdot \sqrt{N_{th}}$$

Aus dieser Formel kann die für eine gewünschte Auflösung R erforderliche Trennstufenzahl N_{th} berechnet werden.

Die van Deemter Gleichung zeigt die Abhängigkeit der Bodenhöhe h von der Strömungsgeschwindigkeit u :

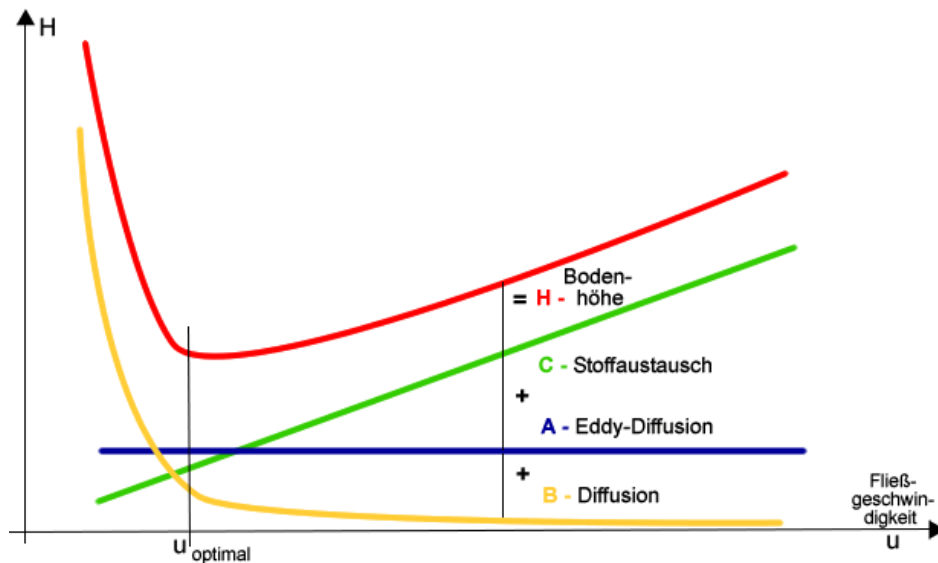


Abbildung 5: Darstellung der van Deemter Gleichung, bzw. der Beiträge zur Berechnung der Bodenhöhe H in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit u durch eine Trennsäule

A = Eddy- oder Streu-Diffusion; Funktion der Gleichmäßigkeit der Packung; für WCOT Kapillarsäulen gilt $A = 0$ (WCOT = Wall Coated Open Tubular = wandbelegte Trennsäule)

B = molekulare Axialdiffusion, d.h. B ist eine Funktion des Diffusionskoeffizienten der Komponenten im jeweiligen Trägergas

C = Verzögerung des Stofftransports einer Komponente durch die Grenzschicht stationäre / mobile Phase (resistance to mass transfer)

In der Praxis werden häufig höhere Geschwindigkeiten als $u_{opt.}$ gewählt, da meist genügend Trennleistung zur Verfügung steht und höhere Trägergasgeschwindigkeiten kürzere Retentionszeiten ermöglichen.

Ausgewählte Detektoren

Der Flammen-Ionisations-Detektor (FID)

Der Flammen-Ionisations-Detektor reagiert auf kohlenstoffhaltige Substanzen, die bei der Verbrennung mit einer H₂-Luft-Flamme thermisch ionisiert werden. Dazu zählen im Wesentlichen organische Substanzen, wobei allerdings einige (z. B. Ameisensäure, Acetaldehyd) schlechte Empfindlichkeiten aufweisen. Für die Ionisation ist der Oxidationsgrad der Verbindungen entscheidend, vollständig oxidierte Verbindungen (z. B. H₂O oder CO₂) können nicht erfasst werden. Die Detektion der freiwerdenden CH-Radikale erfolgt mit Hilfe einer gitterartigen Sammelelektrode oberhalb der Flamme. Diese werden, unter Abspaltung eines Elektrons zum Formaldehydion (CHO⁺) oxidiert. Die auf der Sammelelektrode auftreffenden Elektronen verursachen einen Strom in einem externen Stromkreis, welcher sich proportional zum Ionen- und somit auch proportional zum Kohlenstoffgehalt verhält.

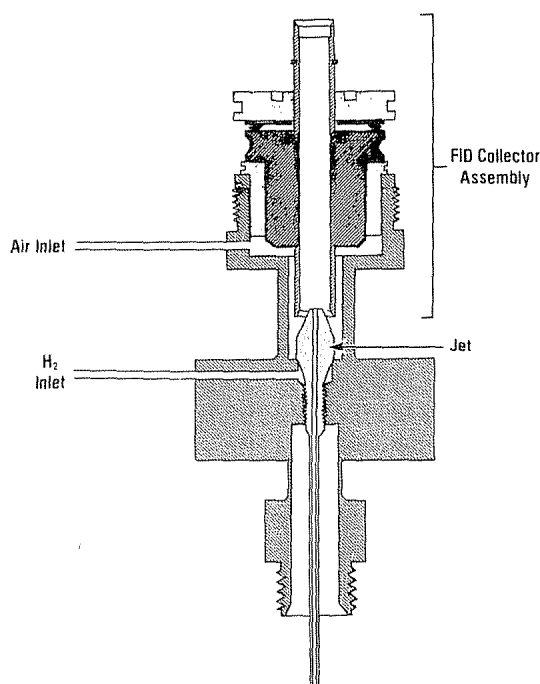


Abbildung 6: Schematische Darstellung eines FID-Detektors

Substanzen die wenig oder gar nicht ansprechen, sind beispielsweise:

Edelgase, H₂, N₂, NO_x, CO, CCl₄^{*}, Silizium-Halogene, CO₂, H₂O, CS₂, NH₃, O₂
^{*} oder andere halogenierte Verbindungen.

Der Wärmeleitfähigkeitsdetektor (WLD/TCD)

Der WLD ist ein universeller einsetzbarer, konzentrationsabhängiger Detektor, welcher die Wärmeleitfähigkeit einer Probe misst und in ein elektrisches Signal wandelt. Die Wärmeleitfähigkeit der zu detektierenden Substanz muss sich vom Trägergas unterscheiden, damit sie vom WLD erfasst werden kann. Im Gegensatz zum FID wird die Probe während der Detektion im WLD nicht zerstört, wodurch der WLD in Serie mit anderen Detektoren betrieben werden kann.

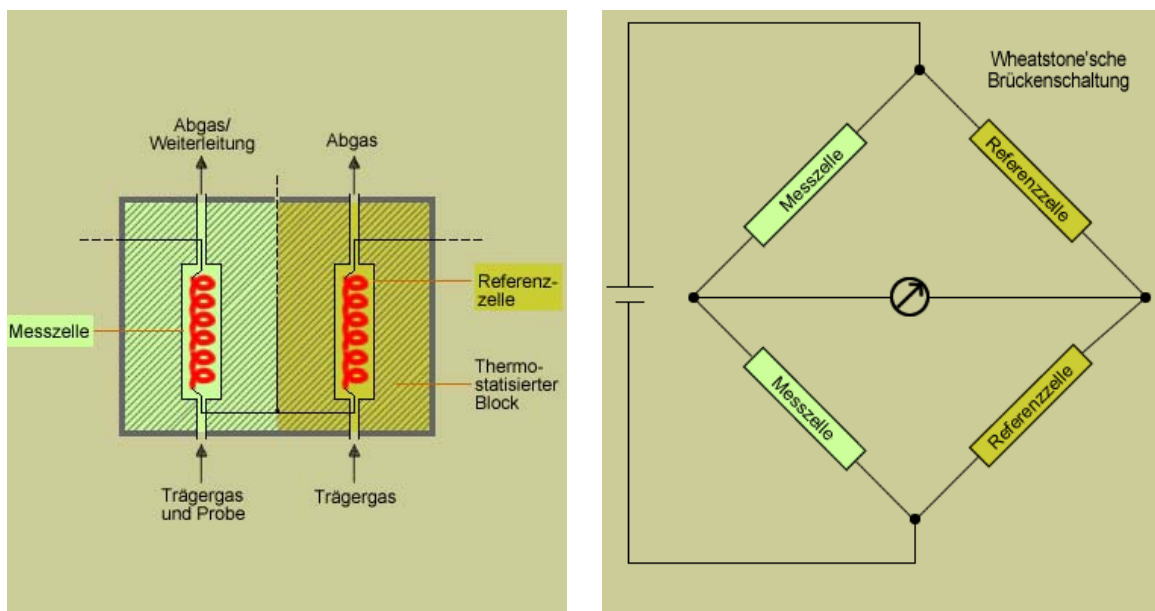


Abbildung 7: Schematische Darstellung eines WLD-Detektors inkl. Wheatstone'scher Brückenschaltung zur Auswertung des Messsignals

Messprinzip:

Innerhalb einer temperierten Messzelle werden ein oder mehrere Heizdrähte (Filamente) kontinuierlich mit Trägergas bzw. dem mit der Probe beaufschlagten Trägergas umströmt. Die Filamente weisen temperaturabhängige Widerstände auf. Änderungen der Wärmeleitfähigkeit der umströmenden Gase (z. B. durch Konzentrationsänderungen) bewirken Temperaturänderungen in den Heizdrähten, da unterschiedliche Wärmeströme von den Heizdrähten an die Wände der Messzellen abgeführt werden. Die somit auftretenden Widerstandsänderungen können mit Hilfe einer Wheatstone'schen Brückenschaltung ausgewertet werden.

Kontrollfragen:

- 1. Wie ist ein GC prinzipiell aufgebaut?**
- 2. Wie läuft die Probennahme ab?**
- 3. Welche Detektoren werden im vorliegenden Fall verwendet?**
- 4. Welche Verbindungen können jeweils detektiert werden?**
- 5. Wie funktioniert der Detektor?**
- 6. Nach welchem physikalischen Prinzip trennt die GC-Säule?**
- 7. Wie ist das Chromatogramm prinzipiell aufgebaut?**

1.2 Ex-Grenze Methan

Theoretische Grundlagen

Der Ex-Bereich einer Mischung liegt vor, wenn die Verbrennungsreaktion, nachdem das Gas durch eine Zündquelle entzündet wurde, durch die freiwerdende Reaktionsenthalpie selbstständig aufrechterhalten werden kann. Die Grenzen dieses Bereichs werden als „untere“ (dt. UEG; engl. *LEL*: „*lower explosive limit*“) und „obere“ (OEG/UFL) Ex-Grenze bezeichnet. Unterhalb des Ex-Bereichs ist die Mischung zu „mager“, d.h. der Brennstoffgehalt reicht nicht aus, um die Verbrennungsreaktion aufrecht zu erhalten, oberhalb des Ex-Bereichs ist das Gemisch zu „fett“.

In nachfolgender Tabelle 2 sind die Konzentrationsgrenzen einiger Gase gegeben, von denen manche typischerweise als Brenngase verwendet werden:

Tab. 2 *Ex-Bereiche typischer Gase*

Fuel Gas	Lower Explosive or Flammable Limit (LEL/LFL) in vol.-%	Upper Explosive or Flammable Limit (UEL/UFL) in vol.-%
Acetaldehyde	4	60
Acetone	2,6	12,8
Acetylene	2,2	85
Ammonia	15	28
Arsine	5,1	78
Benzene	1,3	7,1
Butane	1,8	8,4
Butylene	1,98	9,65
Carbon Disulfide	1,3	50
Carbon Monoxide	12	75
Cyclohexane	1,3	8
Cyclopropane	2,4	10,4
Diethyl Ether	1,9	36
Ethane	2,7	14,7
Ethylene	2,7	36

Ethyl Alcohol	3,3	19
Ethyl Chloride	3,8	15,4
Fuel Oil No.1	0,7	5
Hydrogen	4	77
Isobutane	1,8	9,6
Isobutene	1,8	9
Isooctane	0,79	5,94
Isopentane	1,32	9,16
Isopropyl Alcohol	2	12
Gasoline	1,4	7,6
Kerosine	0,7	5
Methane	4,4	16,5
Methyl Alcohol	6,7	36
Methyl Chloride	10,7	17,4
Methyl Ethyl Ketone	1,8	10
Naphthalene	0,9	5,9
n-Heptane	1,05	6,7
n-Hexane	1,1	7,5
n-Pentene	1,65	7,7
Neopentane	1,38	7,22
Neohexane	1,19	7,58
Pentane	1,5	7,8
Propane	1,7	10,9
Propylene	2,0	11,1
Silane	1,5	98
Styrene	1,1	6,1
Toluene	1,2	7,1
Triptane	1,08	6,69

Achtung! Diese Angaben sind gültig für Luft, T = 20 °C und p = 1,013 bar.

Es ist wichtig, dass Bereiche in denen brennbare Gase eingesetzt oder gelagert werden ausreichend gut belüftet sind. Dabei ist unbedingt die Dichte der Brenngase zu beachten. Gasmischungen sind keine homogenen Mischungen. Leichte Gase (wie z. B. Methan) sammeln sich an der Decke von Räumen an, während schwerere Gase, wie z. B. Butan am Boden verbleiben oder sich sogar in tiefergelegene Etagen absetzen können. Die Belüftung oder Raumlufturnwältzung muss jederzeit gewährleisten können, dass die Konzentration von brennbaren Gasen zu keiner Zeit das Maximum von 25 % der unteren Ex-Grenze überschreitet.

Experimenteller Aufbau

Die Experimente werden in der nachfolgend dargestellten Versuchsanordnung (vgl. Abbildung 8) durchgeführt. Diese ist ausgeführt nach DIN EN 1839.

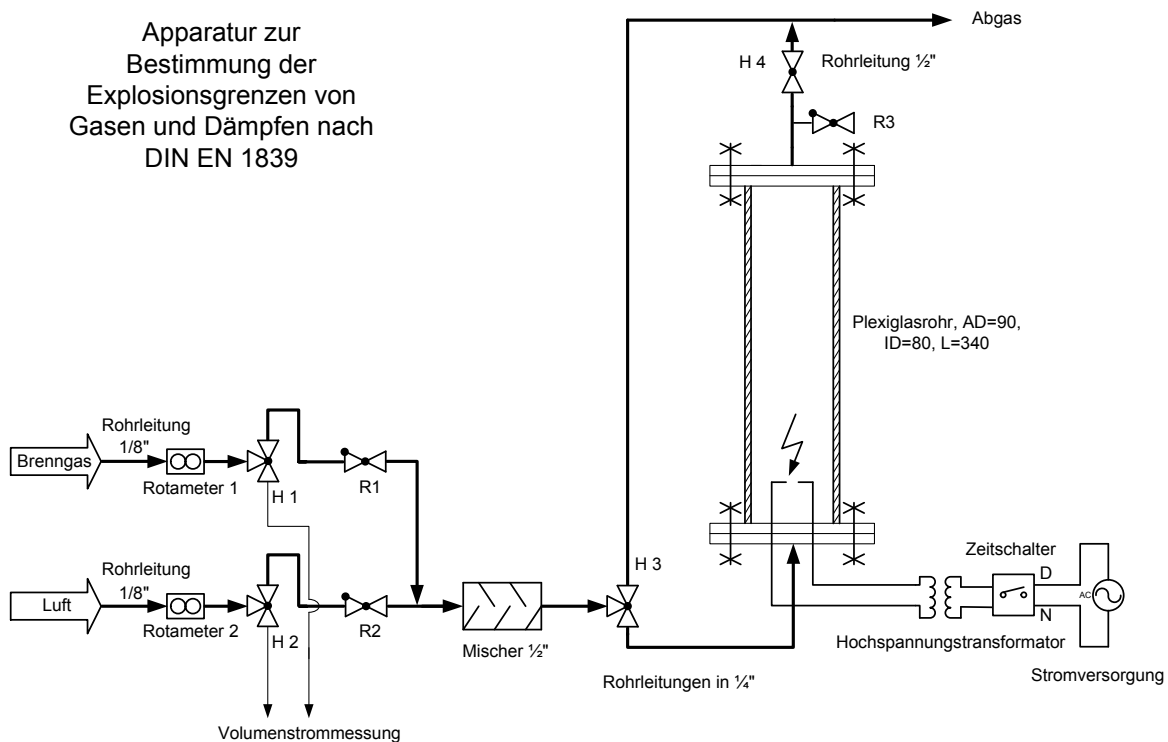


Abbildung 8: Schematischer Aufbau des Versuchszustandes nach DIN EN 1839

Durchführung

Aus Sicherheitsgründen werden in diesem Versuch nur die unteren Ex-Grenzen (UEG) von Methan bestimmt.

- Vorarbeiten:

Die Ventile H1 und H2 sind in Richtung der Volumenstrommessung geöffnet. H3 leitet das Gas über den Bypass in die Abgasleitung. Das Ventil H4 ist geschlossen.

- Messung:

Zu Beginn des Versuchs wird eine Konzentration eingestellt, welche in etwa 0,5 Vol.-% unterhalb des Ex-Bereichs des betreffenden Brenngases liegt. Dabei ist die Versuchsanordnung auf Undichtigkeiten zu prüfen und ein Druck von ca. 0,3 bar oberhalb des Umgebungsdruckes einzustellen.

Zur Einstellung der Startzusammensetzung ist ein Luftvolumenstrom von 4 l/min (NTP) zu wählen und über das entsprechende Rotameter einzustellen. Anschließend ist der gewünschte Volumenstrom des Brenngases nach der zuvor genannten Vorgabe an die Startzusammensetzung einzustellen.

Während des Versuchs ist darauf zu achten, dass das Brenngas/Luft-Gemisch die Apparatur über die Abgasleitung verlässt.

Nach dem Einstellen der gewünschten Volumenströme sind die H1 und H2 auf die Anlage umzuschalten. Ventil H4 ist zu öffnen und Ventil H3 ist von Stellung "Bypass" auf die Stellung "Anlage" umzustellen.

Das Reaktionsgefäß aus Plexiglas ist für ca. 4 Minuten mit der eingestellten Gasmischung zu fluten. Während dieser Zeit ist die Spannungsversorgung der Zündquelle auf „standby“ zu belassen.

Nach 4 Minuten ist Ventil H3 auf „Abgas“ umzuschalten, Ventil H4 ist zu schließen. Nach ca. 5 Sekunden ist der Knopf "Zündung" zu betätigen.

Falls keine Explosion zu beobachten ist, wird die Prozedur mit einer höheren Brennstoffkonzentration wiederholt.

- Versuchsende:

Die Gasflasche mit dem brennbaren Gas und alle zur Brenngasversorgung gehörenden Ventile sind zu schließen. H1 ist zu schließen. Bevor jedoch H2 geschlossen wird, ist ein konstanter Luftstrom durch die Apparatur für mindestens 5 Minuten beizubehalten, um die Apparatur zu spülen. Anschließend ist die Luftzufuhr zu schließen.

Abschließend ist sicher zu stellen, dass alle Ventile, Gasflaschen und elektrische Gerätschaften ausgeschaltet sind.

Kontrollfragen:

- 1. Welche Arten von Explosionen kennen Sie? Welches sind die Unterscheidungsmerkmale?**
- 2. Unter welchen Voraussetzungen können Explosionen auftreten? Nennen Sie jeweils Beispiele.**
- 3. Unter welchen physikalischen Umständen liegt eine explosionsfähige Atmosphäre vor?**
- 4. In welchem Bereich ist ein Methan/Luft bzw. ein Methan/O₂-Gemisch explosionsfähig?**
- 5. Welche Unfallverhütungsmaßnahmen kennen Sie im Zusammenhang mit explosiven Gasmischungen?**