



weyer gruppe

komplett. durchdacht.



Consulting. Engineering. Seit 1976.

Sicherheitstechnik und Explosionsschutz bei
Wasserstoffanlagen

Ralf Schiffl - Dr. Klaus Wörsdörfer

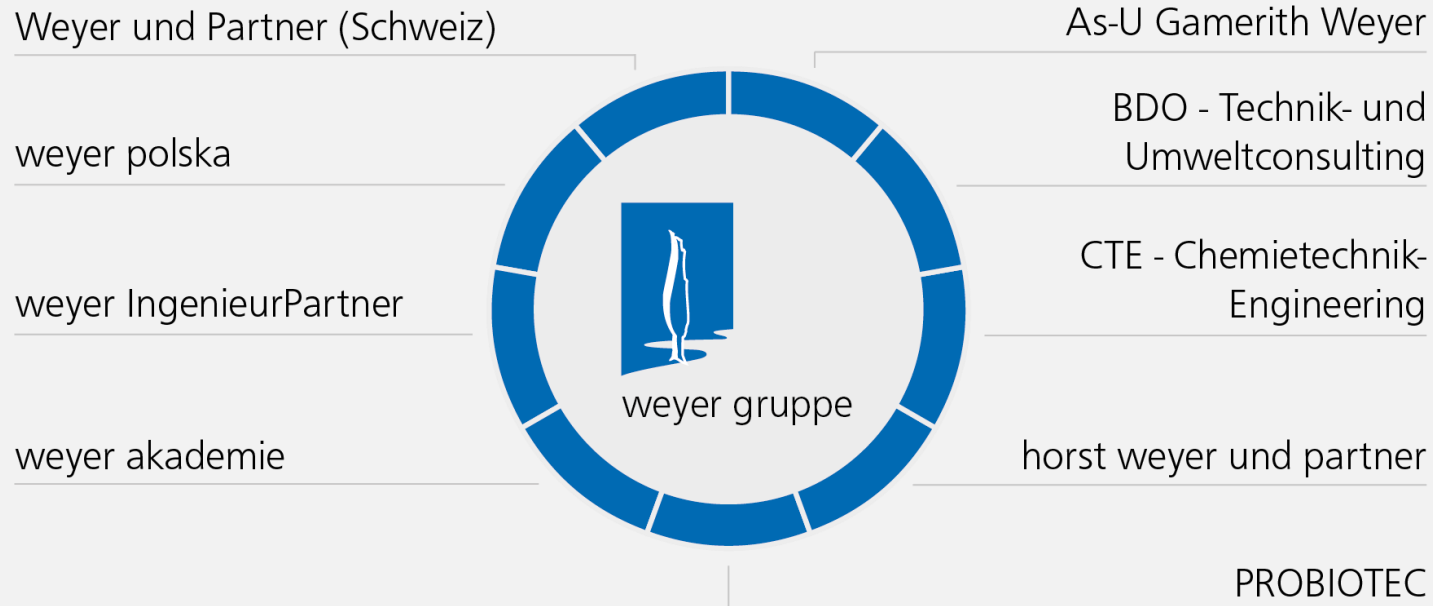


Vorstellung

- Studium der Sicherheitstechnik in Wuppertal
- Seit 2008 bei der weyer gruppe
Bereichsleiter Consulting
- Bekanntgegebene Sachverständiger nach §29b BImSchG
- ProcessNet: Stoff- und Energiefreisetzung



Die weyer gruppe



Die weyer gruppe ist ein konzern- und lieferantenunabhängiger Unternehmensverbund von Ingenieur- und Consulting-Unternehmen mit gesellschaftsrechtlicher Verknüpfung, der sich seit 1976 immer weiterentwickelt.

Unsere Standorte liegen in Deutschland, Österreich, Polen und der Schweiz.

Leistungen für Anlagenplaner & -hersteller



Anlagen-sicherheit

- Arbeitssicherheit und Arbeitsschutz
- Brandschutz
- CE-Kennzeichnung nach Maschinenrichtlinie
- Explosionsschutz
- Gefährdungsbeurteilungen nach BetrSichV
- Gewässerschutz
- HAZOP



Engineering und Anlagenplanung

- Konzeptfindung
- Basic & Detail Engineering
- Owner's Engineering
- Montageüberwachung
- Inbetriebnahme-Begleitung
- Zusatzleistungen wie Abluftreinigung oder CFD-Simulation



Pharma-Anlagenplanung

- Machbarkeits- und Konzeptstudien
- Basic & Detailed Design
- Einkaufsunterstützung
- Montageplanung, -überwachung und -koordination
- Inbetriebnahmeplanung, -überwachung und -koordination



Pharma-Qualifizierung

- VMP, QMP
- Planung, Durchführung und Koordination von DQ, IQ, OQ und PQ
- Planung und Durchführung von Risikoanalysen
- Validierungsunterstützung
- Lieferantenaudits



Umweltschutz

- Altlasten
- Ausgangszustandsbericht für Boden & Grundwasser
- Emissionshandel
- Genehmigungsmanagement
- Bauleitplanung
- Umweltverträglichkeitsprüfungen



Datenbanken

- Verwaltungssystem für Industrieanlagen (VFI)
- Projektablauf & Kontierung (PAKO)



wirtschaftlich-technische Beratung

- Ausschreibungsmanagement
- Energiemanagement (ISO 50001)
- Baurevision, Baucontrolling



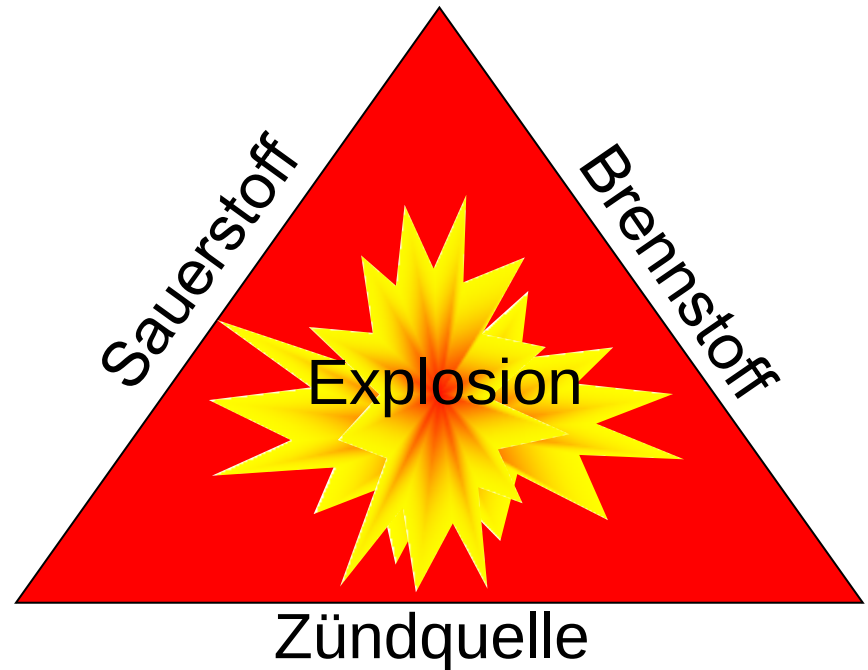
Agenda

- Grundlagen Explosionsschutz
- Sicherheitstechnische Kenngrößen
- Gasmesstechnik
- Zoneneinteilung
- Anforderungen aus Störfallrecht
- Ausbreitungsrechnungen



Explosionsdreieck

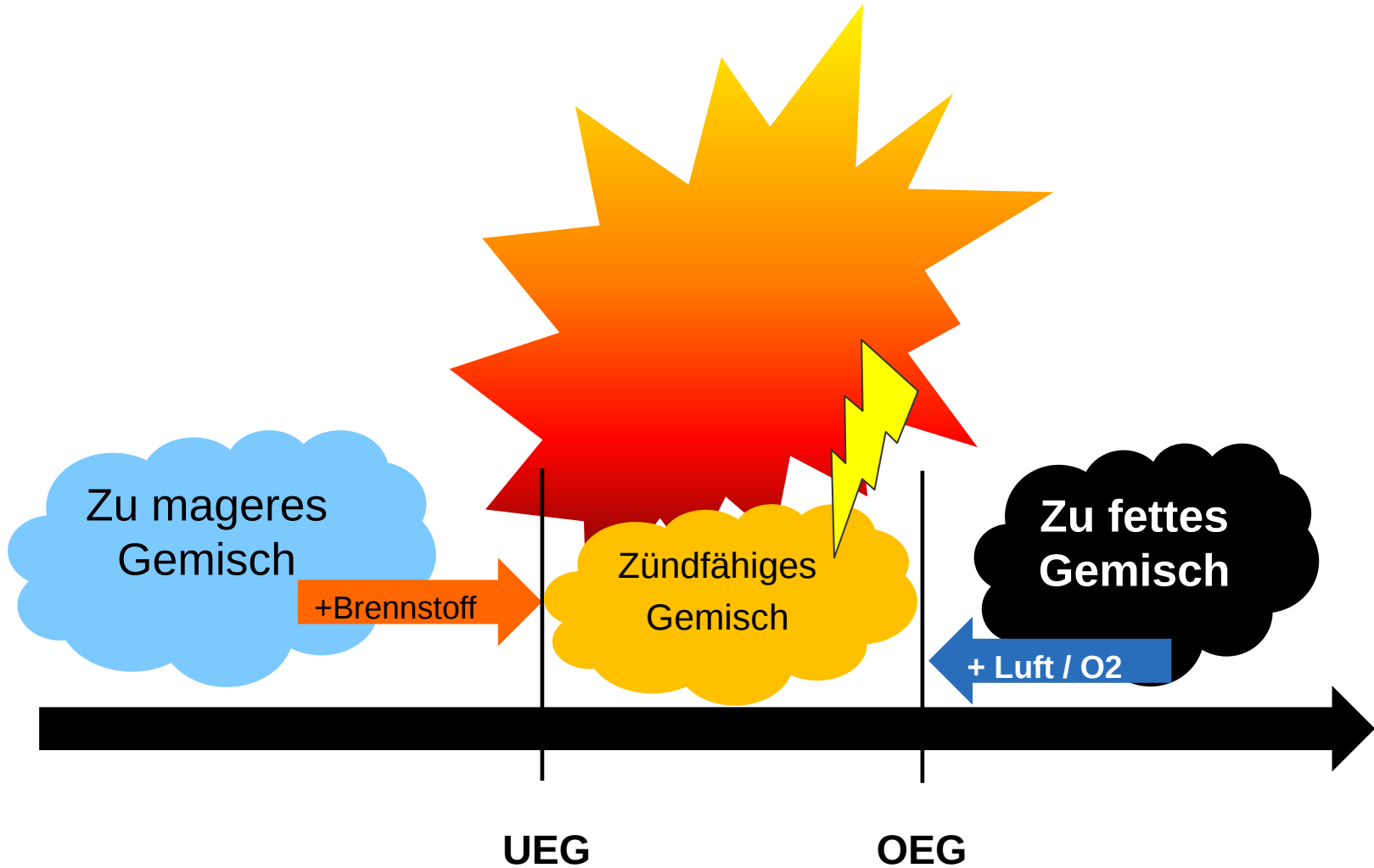
- Brennstoff
- Brennbare Gase, z. B. Methan, Erdgas, Verbrennungsgase, Chemikalien
- Brennbare Flüssigkeiten, z. B. Treibstoffe, Lösungsmittel, Lacke, Öle
- Stäube brennbarer Stoffe, z. B. Kohle, Holz, Zucker, Mehl, Kunststoffe, Metalle



- Brennstoff fein verteilt
- Mischungsverhältnis Brennstoff/Sauerstoff



Untere und obere Explosionsgrenze



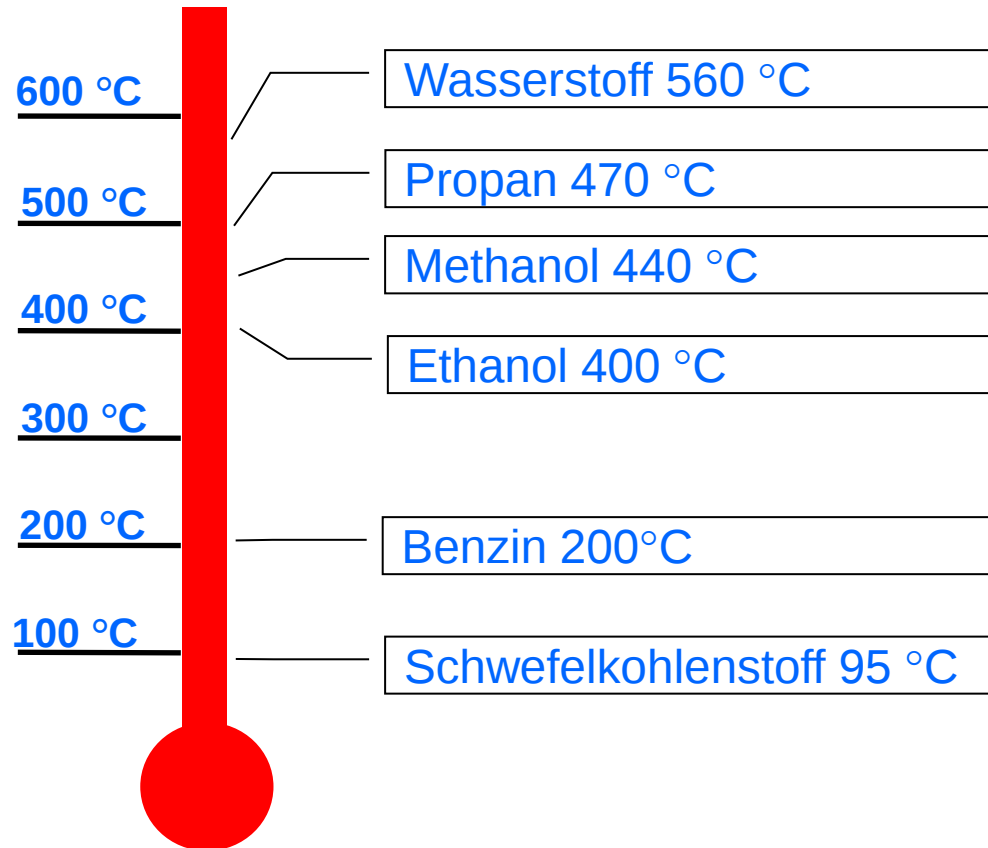


Beispiele für Explosionsgrenzen

	0,6 bis 8 Vol.-%	Benzine
	6 bis 50 Vol.-%	Methanol
	3 bis 28 Vol.-%	Ethanol
	4,4 bis 16,5 Vol.-%	Methan
	15 bis 34 Vol.-%	Ammoniak
	1,5 bis 11 Vol.-%	Propan
	4 bis 77 Vol.-%	Wasserstoff

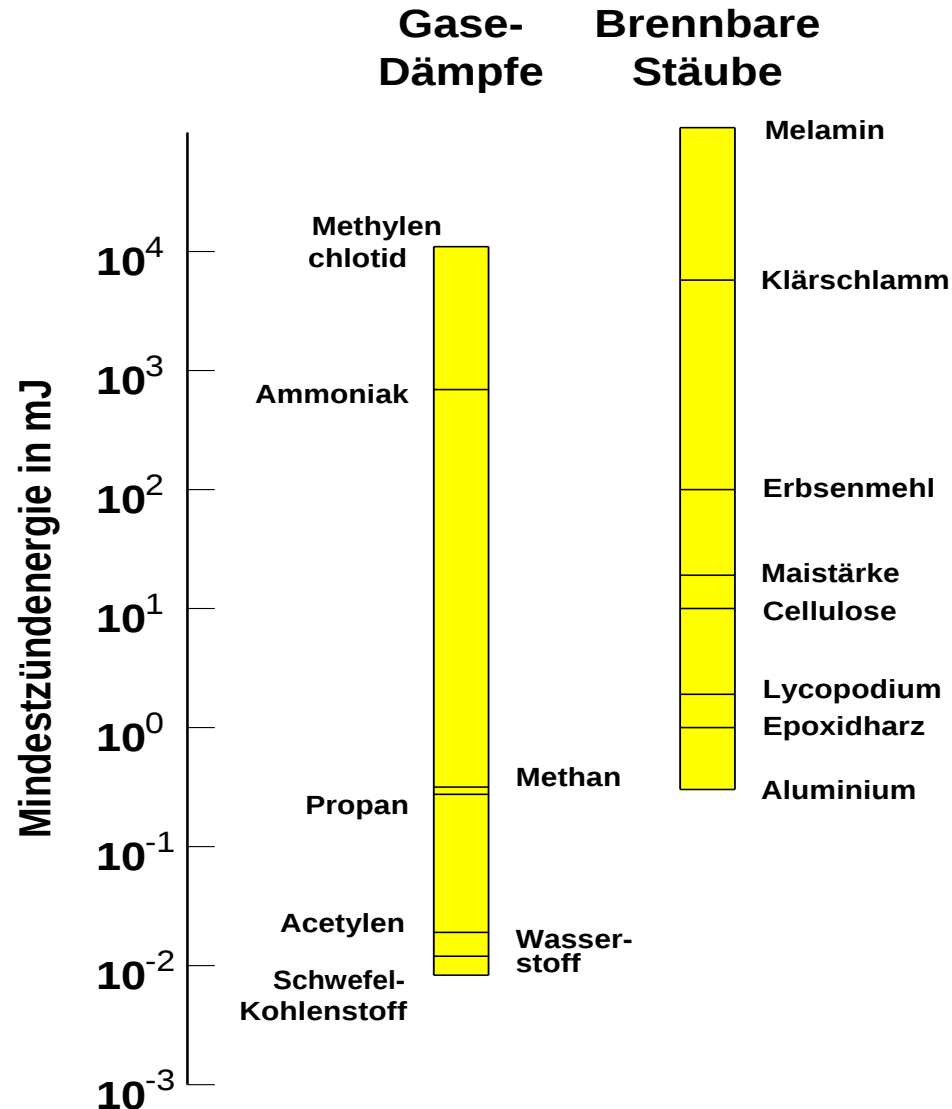


Beispiele für Zündtemperaturen



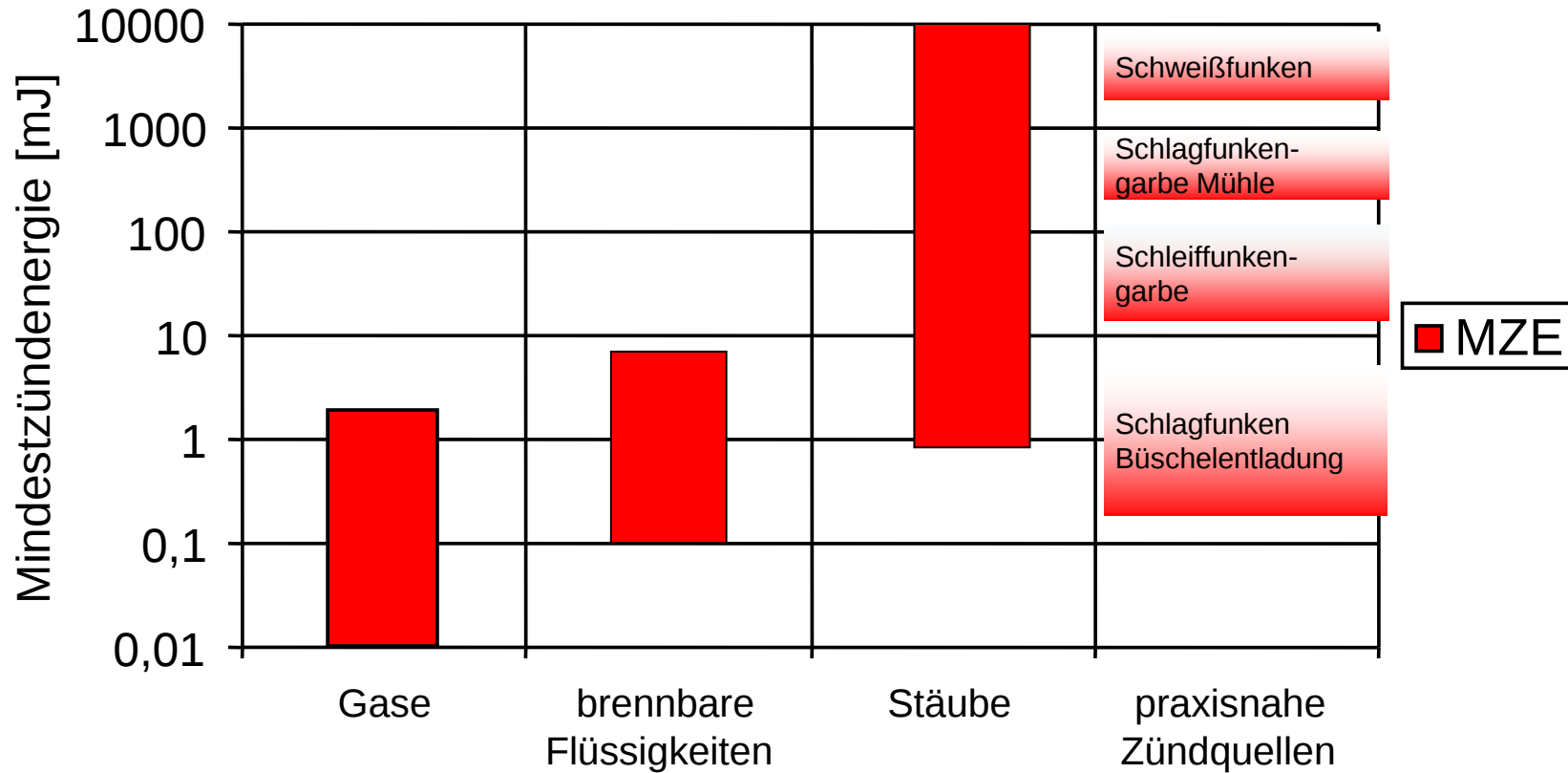


Beispiele für Mindestzündenergien





Mindestzündenergie





Wasserstoff - Fakten

Gasdichte $0,0899 \text{ kg/m}_N^3$
→ sehr viel leichter als Luft

Kleinstes Molekül
auf der Erde

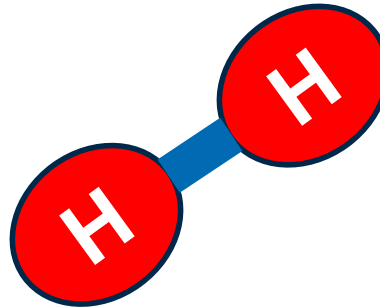
Siedepunkt
 $-253 \text{ }^\circ\text{C}$

Explosionsgrenzen
4 – 77 Vol%

Zündtemperatur $560 \text{ }^\circ\text{C}$
→ Temperaturklasse T1

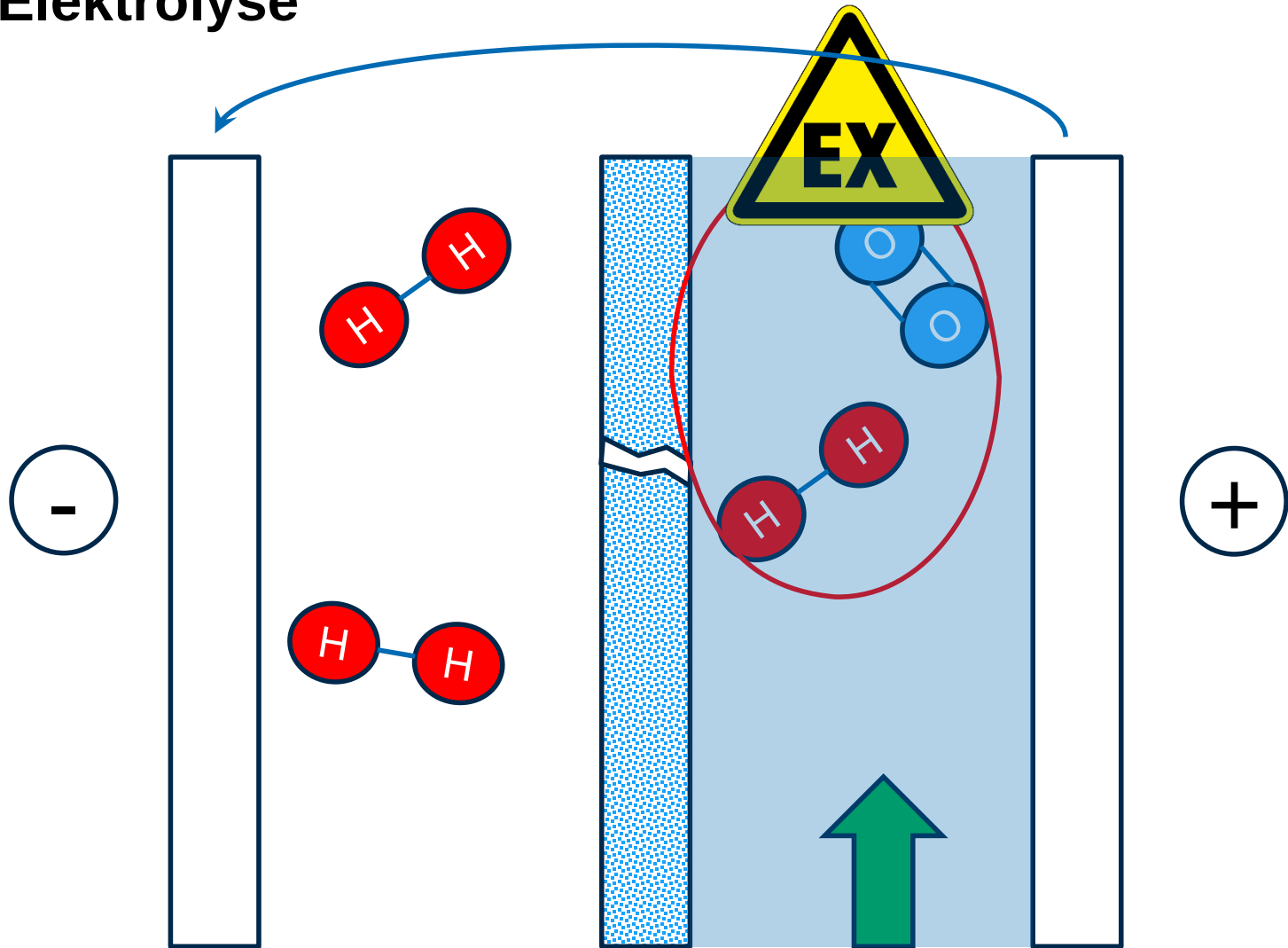
Max. Explosionsdruck
8,3 bar

Mengenschwellen StörfallIV
uK 5 t oK 50t





Elektrolyse





Explosionsdruck

- Normbedingungen: 8,3 bar
- Prüfungen von Elektrolyseuren bei benannter Stelle: bis 10 bar

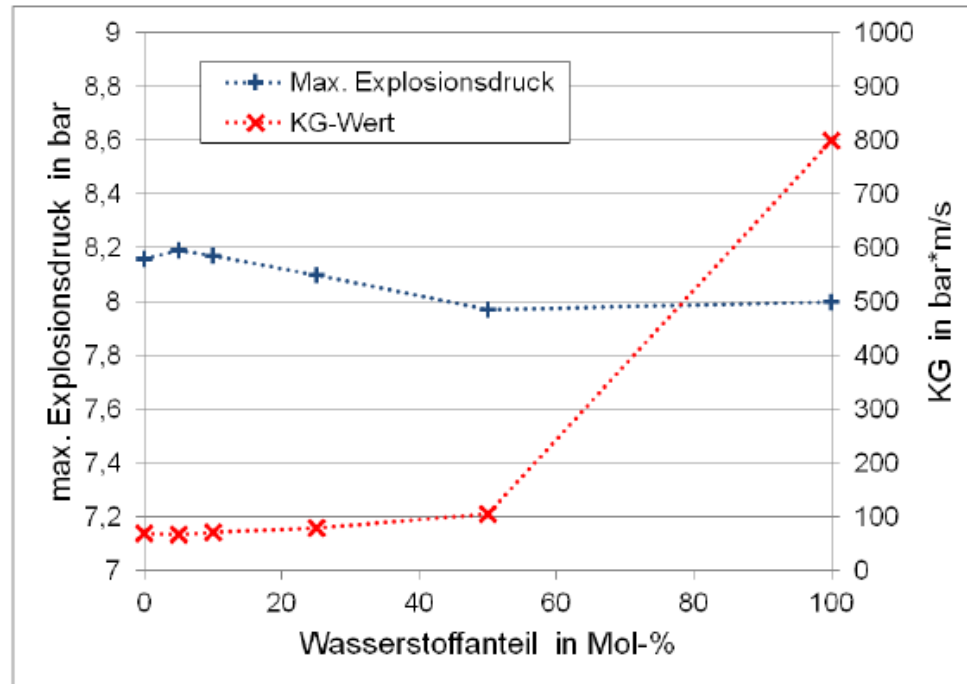
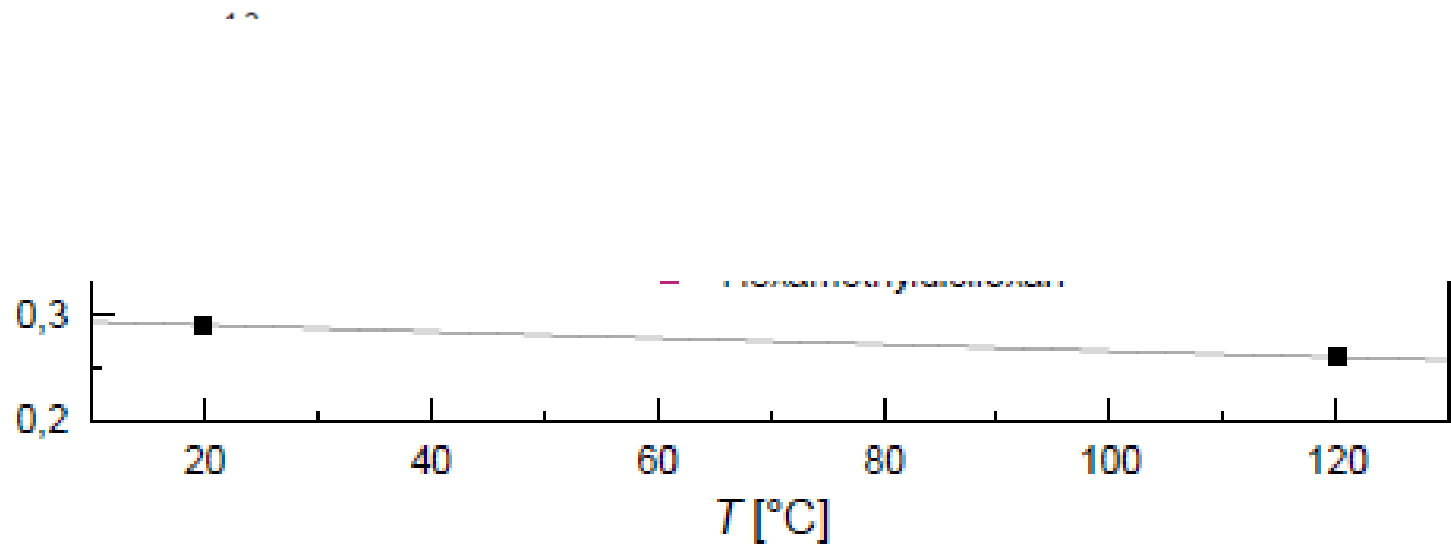


Abbildung 12: Maximale Explosionsdrücke und K_G -Werte von Gemischen aus Methan und Wasserstoff (Messwerte wurden linear verbunden)



Grenzspaltweite



IS



Grenzspaltweite

- reiner H_2 , Normbedingungen: 0,29 mm → Explosionsgruppe IIC

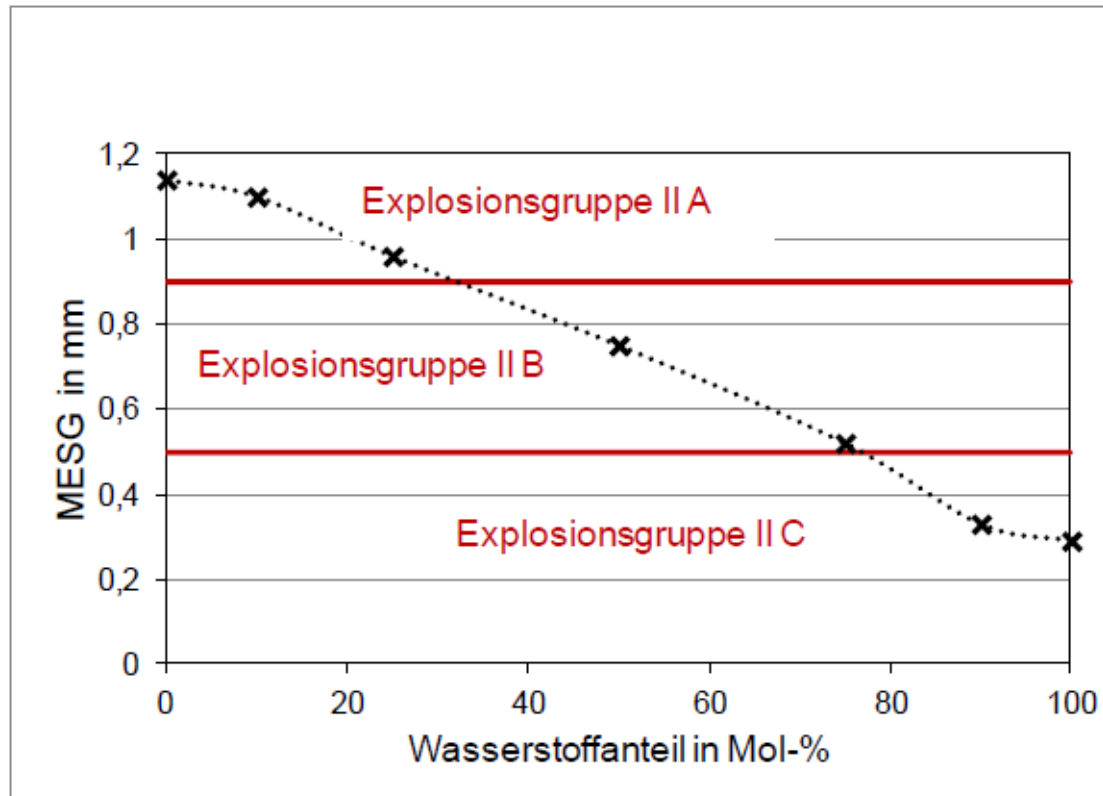


Abbildung 14: Normspaltweiten von Gemischen aus Methan und Wasserstoff (Messwerte der der PTB [1] mit Trendlinie verbunden)



Grenzspaltweite

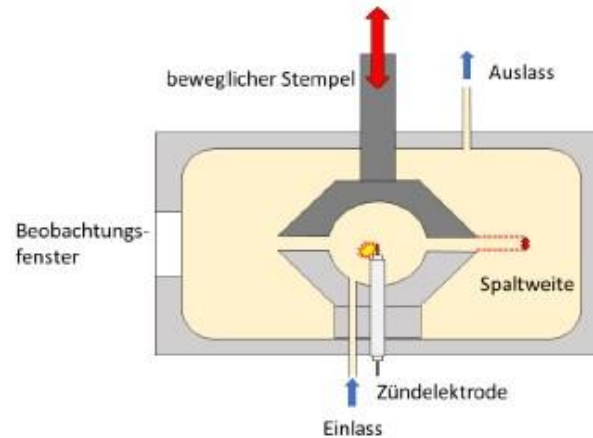


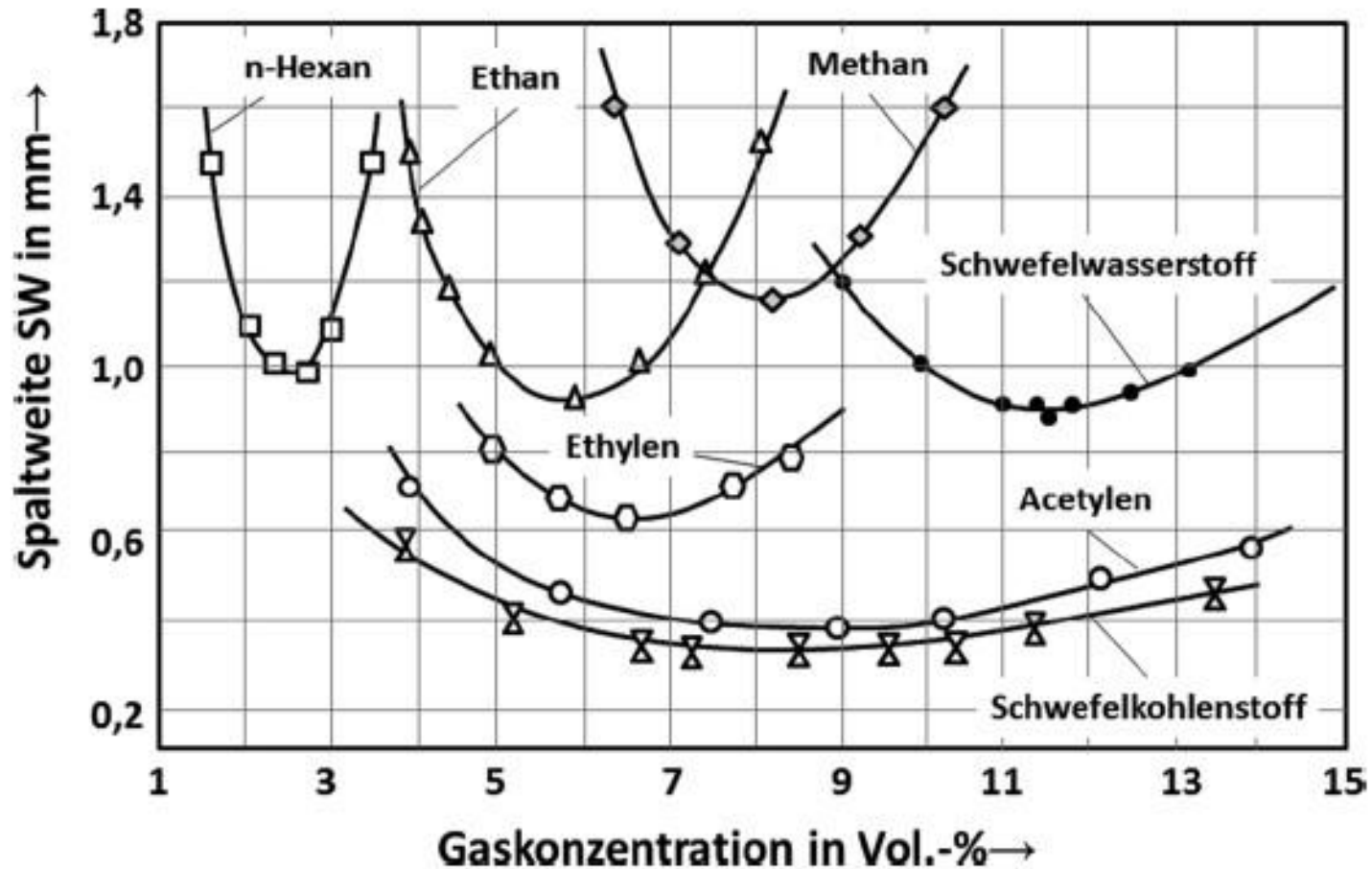
Abb. 2: Gerät zur Bestimmung der Normspaltweite nach ISO/IEC 80079-20-1

Tab. 1: Brennbare Gase und Dämpfe werden entsprechend ihrer MESG in Explosionsgruppen eingeteilt [3]

Explosionsgruppe	
IIA	$0,9 \text{ mm} < \text{MESG}$
IIB	$0,5 \text{ mm} \leq \text{MESG} \leq 0,9 \text{ mm}$
IIC	$\text{MESG} < 0,5 \text{ mm}$



Grenzspaltweite





Explosionsdruck

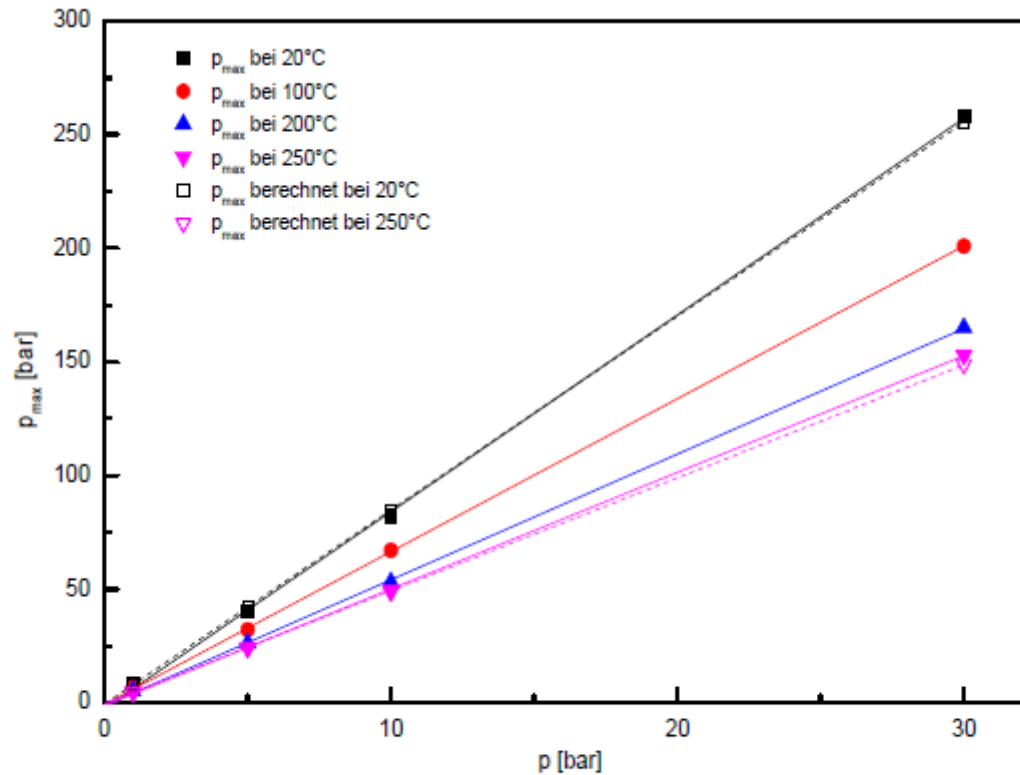


Abb. 77: Druckabhängigkeit des maximalen Explosionsdrucks von Wasserstoff bei unterschiedlichen Temperaturen /17/

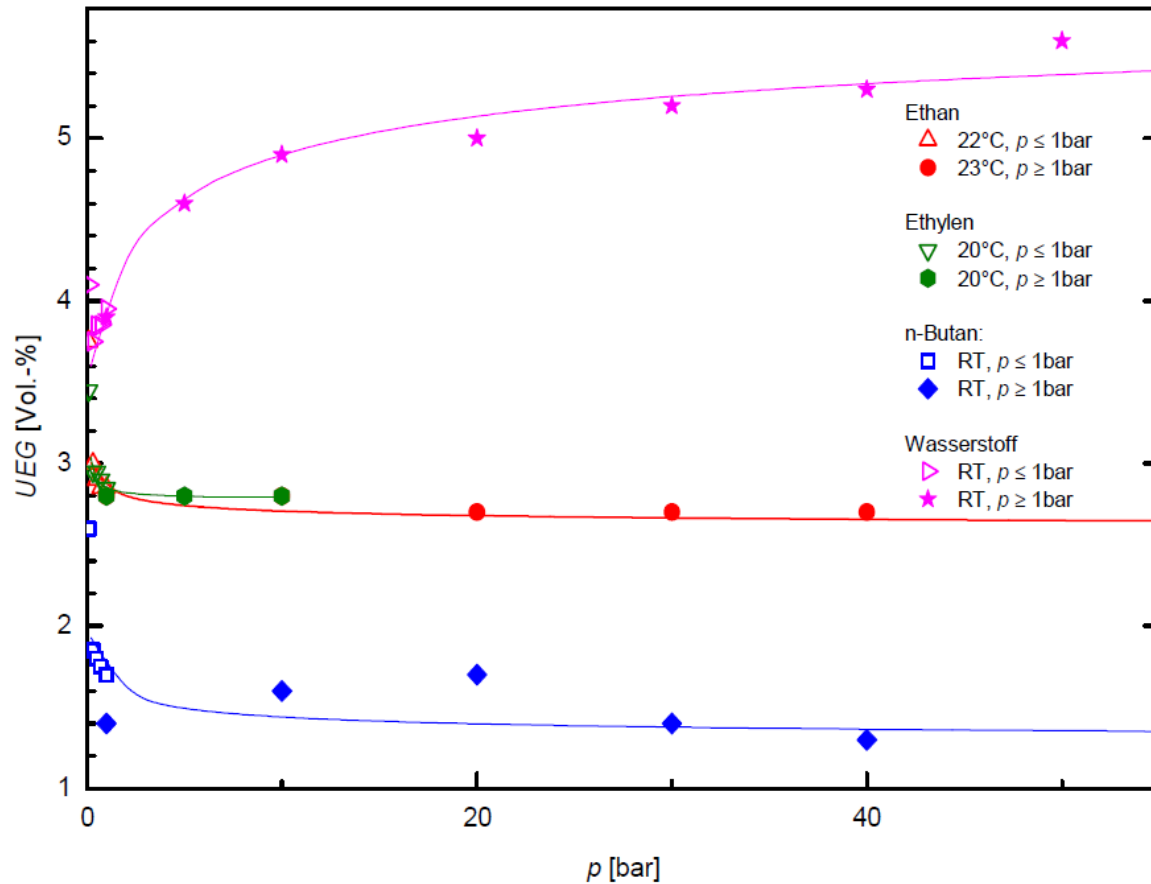


Abb. 22: Verlauf der UEG einiger gasförmiger Stoffe zwischen 0,1 bar und 40 bar bei Raumtemperatur; Messwerte im Überdruck: /13/; im Unterdruck: /44/



Maximale Explosionsdrücke in Luft und in Sauerstoff

Tab. 18: Vergleich der maximalen Explosionsdrücke bei Normalbedingungen in Luft und in Sauerstoff (Berechnung mit /36/)

Stoff	$p_{\max}(\text{Luft})$ experimentell bar	$p_{\max}(\text{O}_2)$ experimentell bar	$p_{\max}(\text{Luft})$ berechnet bar	$p_{\max}(\text{O}_2)$ berechnet bar	$p_{\max}(\text{O}_2)/p_{\max}(\text{Luft})$ experimentell	$p_{\max}(\text{O}_2)/p_{\max}(\text{Luft})$ berechnet
Wasserstoff	7,9	9,7	8,2	9,8	1,23	1,20
Methan	8,1	16,6	9,1	16,6	2,05	1,82
Ethan	8,9	20,0	9,6	20,8	2,25	2,17
Propan	9,4	22,0	9,8	23,2	2,34	2,37
Propen	9,7	23,3	10,0	23,6	2,40	2,36
n-Butan	9,4	24,3	9,9	24,7	2,59	2,49

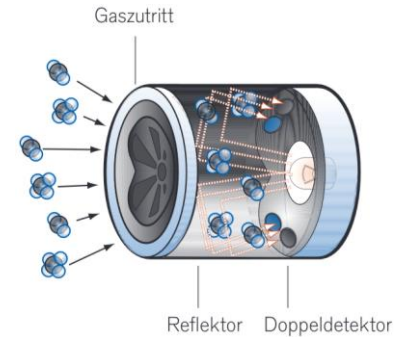


Gasmessung, Messprinzipien

■ IR-Absorption

- Absorption im IR-Spektrum
- Absorbierte Wärme wird durch einen Reflektor auf einen Doppeldetektor geleitet
- Messgröße: Absorption → abhängig von der Konzentration

**Für Wasserstoff nicht anwendbar,
keine Absorption im IR-Spektrum**

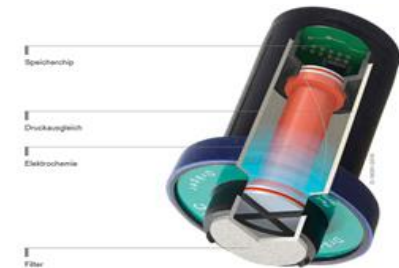


■ Katalytisch

- Zu messendes Gas wird an katalytischer Oberfläche oxidiert (verbrannt)
- Messgröße: Reaktionswärme (Wärmetönung) → abhängig von der Konzentration

■ Elektrochemisch

- Messgröße: Stromfluss durch elektrochemische Reaktion zwischen Messgas und Elektrolyt



Bilder: Dräger



Gasmessung, Querempfindlichkeit

Gerätebaureihen und ihre Reaktion auf Wasserstoff

Gerät	Messprinzip	Auswirkung	Faktor Empfindlichkeit
OLLI Sensorarray	Sensorarray	erhöhte Empfindlichkeit	ca. 1,4 bis 2,5 x Methan
	WL-Sensor	keine (negative) oder erhöhte Anzeige	Undefiniert
OLLI Infrarot	IR-Sensor	keine Anzeige	0
HUNTER	HL-Sensor	deutlich reduzierte Empfindlichkeit	0,1 bis 0,3 x Methan
VibraGAS	HL-Sensor	stark erhöhte Empfindlichkeit	ca. 3 bis 10 x Methan
GOLIATH	HL-Sensor	gleiche Empfindlichkeit	ca. 1,0 x Methan
	IR-Sensor	keine Anzeige	0
SIGI-EX	Sensorarray	leicht erhöhte Empfindlichkeit	ca. 1 bis 2 x Methan
	WL-Sensor	stark erhöhte Empfindlichkeit	ca. 6 x Methan





Störfallbetriebe

- Betriebsbereich der untere Klasse
- Grundlegende Pflichten zur Verhinderung und Begrenzung von Störfällen
 - Konzept zur Verhinderung von Störfällen
- Betriebsbereichen der obere Klasse
 - „erweiterte Pflichten“ zur Verhinderung und Begrenzung von Störfällen
 - Dokumentation in einem Sicherheitsbericht
 - Alarm- und Gefahrenabwehrplan erstellen.



Sicherheitsbericht - Mindestanforderungen

- KAS-55 Leitfaden Mindestangaben im Sicherheitsbericht
 - Mustergliederung
 - Darstellung des SMS
 - Sicherheitsrelevante Anlagenteile
 - Systematische Gefahrenanalyse
 - Szenarien
 - Vernünftigerweise nicht auszuschließende Gefahrenquellen
 - Vernünftigerweise auszuschließende Gefahrenquellen



KAS-63

Betriebsüberdruck P	Rohrleitungen <u>maximal</u> 15 mm Innendurchmesser	Rohrleitungen <u>über</u> 15 mm Innendurchmesser
$P < 100 \text{ bar}$	50 m	80 m
$100 \leq P < 200 \text{ bar}$	70 m	110 m
$200 \leq P < 400 \text{ bar}$	80 m	140 m
$400 \leq P < 600 \text{ bar}$	95 m	150 m
$600 \leq P < 800 \text{ bar}$	100 m	170 m
$800 \leq P \leq 1.000 \text{ bar}$	110 m	180 m

Ob die im KAS-63 festgelegten angemessenen Abstände im neuen KAS-18 beibehalten werden, wird sich noch zeigen.



Zonen - Ausbreitungsrechnungen

- Verschiedene Modelle
 - ProNuSs
 - Effects (DNV)
 - FDS (Fire Dynamics Simulator)
 - OpenFOAM (numerisches Simulationspaket)



Regelwerk Explosionsschutz

Europa (ATEX)	Deutschland
EU-Richtlinie 2014/34 EU Geräte, Schutzsysteme für den Ex-Bereich	11. Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (11. ProdSichV) Nationale Umsetzung 2014/34 EU
EU-Richtlinie 1999/92 EG Gesundheitsschutz und Sicherheit der Arbeitnehmer	Arbeitsschutzgesetz Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) Prüfungen, Prüffristen Technische Regeln für Betriebssicherheit Konkretisierung BetrSichV Chemikaliengesetz Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) Gefährdungsbeurteilung, Explosionsschutzdokument Technische Regeln für Gefahrstoffe Konkretisierung GefStoffV



Regelwerk Explosionsschutz

- **TRGS 720**
Gefährliche Explosionsfähige Atmosphäre, Allgemeines
- **TRGS 721**
Beurteilung der Explosionsgefährdung
- **TRGS 722**
Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre
- **TRGS 723**
Vermeidung von Zündquellen
- **TRGS 724**
Konstruktiver Explosionsschutz
- **TRGS 725**
Explosionsschutz mit Mitteln der MSR-Technik
- **TRGS 727**
Vermeidung von Zündgefahren in Folge elektrostatischer Aufladung
- **TRGS 509**
Lagerung von Gefahrstoffen in ortsfesten Behältern (Füllstellen)
- **TRGS 510**
Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern
- **TRBS 1201 Teil 1 und 3**
Prüfung von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen
- **DGUV-R 113-001**
Beispielsammlung Ex-Zoneneinteilung



Nützliche Links

- www.baua.de

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
TRGS, TRBS, ASR, ArbSchG, BetrSichV, GefStoffV

- www.exinfo.de

Explosionsschutz der DGUV
Fachinformationen zum Explosionsschutz, Links zu Regelwerken,
Ex-Beispielsammlung

- www.gestis.dguv.de/

Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
u.a. explosionsschutztechnische Kenngrößen

- <https://staubex.ifa.dguv.de/>

Datenbank der DGUV mit Brenn- und Explosionskenngrößen von Stäuben



Literatur

- (1) Abschlussbericht zum PTB-Forschungsvorhaben 37056, Ermittlung der Grenzspaltweite von Gasgemischen in Abhängigkeit von Inertgasanteil und Druck im Überdruckbereich, PTB Braunschweig, Juli 2020
- (2) W. Hirsch; E. Brandes „Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Sicherheitstechnische Kenngrößen bei nichtatmosphärischen Bedingungen – Gas und Dämpfe“, PTB 2014
- (3) V. Schröder „Abschlussbericht zum PTB-Forschungsvorhaben 2539, Sicherheitstechnische Eigenschaften von Erdgas-Wasserstoff-Gemischen“, BAM 07.09.2016/2020



Kontaktieren Sie uns:

Dr. Klaus Wörsdörfer

weyer gruppe | horst weyer und partner gmbh
Dipl.-Ing. Verfahrenstechnik | Leiter Consulting
Tel.: +49 (0) 2421 – 69 09-1152
E-Mail: k.woersdoerfer@weyer-gruppe.com
Webseite: weyer-gruppe.com