

DIN CEN ISO/TS 15916:2026-12 (D)

Wasserstofftechnologien - Grundlegende Betrachtungen zur Sicherheit von Wasserstoffsystemen (ISO/TS 15916:2026); Deutsche Fassung CEN ISO/TS 15916:2026

Inhalt	Seite
Europäisches Vorwort.....	8
Vorwort	9
Einleitung	10
1 Anwendungsbereich.....	11
2 Normative Verweisungen	11
3 Begriffe	11
4 Überblick über die Wasserstoffanwendungen	25
4.1 Grundlegende Wasserstoffinfrastruktur	25
4.1.1 Infrastrukturkategorien	25
4.1.2 Herstellung.....	25
4.1.3 Speicherung und Transport.....	25
4.1.4 Endanwendungen von Wasserstoff	27
4.2 Typische Komponenten einer Wasserstoffanlage	27
4.2.1 Allgemeines	27
4.2.2 Speicherbehälter	28
4.2.3 Leitungen, Rohre, Verbindungen und Dichtungen für die Bereitstellung von Fluid	28
4.2.4 Strömungsregler.....	28
4.2.5 Druckentlastungssysteme	28
4.2.6 Verfahren zur Detektion	29
4.2.7 Weitere Komponenten	29
4.2.8 Betrachtungen der Bedingungen außerhalb der Anlage.....	29
4.3 Wasserstoff als Brennstoff	30
4.4 Umweltauswirkungen.....	30
5 Grundlegende Eigenschaften von Wasserstoff	30
5.1 Allgemeine Eigenschaften.....	30
5.1.1 Atomare und molekulare Eigenschaften	30
5.1.2 Aussehen und allgemeine Merkmale.....	31
5.2 Ausgewählte thermophysikalische Eigenschaften	31
5.2.1 Allgemeines	31
5.2.2 Ausgewählte thermophysikalische Eigenschaften von gasförmigem Wasserstoff	31
5.2.3 Ausgewählte thermophysikalische Eigenschaften von tiefkaltem Flüssigwasserstoff	32
5.3 Grundlegende Verbrennungseigenschaften.....	33
5.3.1 Allgemeine Bemerkung zu Sicherheitsmerkmalen	33
5.3.2 Ausgewählte Verbrennungseigenschaften von Wasserstoff	34
5.3.3 Deflagration	34
5.3.4 Detonation	35
5.3.5 Explosionen.....	36
5.3.6 Explosionsgrenzen.....	36
5.3.7 Zündenergie und Mindestzündenergie bei der Deflagration.....	37
6 Sicherheitsbetrachtungen bei der Anwendung von gasförmigem und flüssigem Wasserstoff.....	38
6.1 Allgemeines	38

6.2	Gefährdungen infolge der Eigenschaften von Wasserstoff.....	39
6.2.1	Allgemeines.....	39
6.2.2	Gasförmiger Wasserstoff.....	39
6.2.3	Flüssigwasserstoff.....	40
6.3	Faktoren der Verbrennungsgefährdungen.....	40
6.3.1	Aspekte der Verbrennung.....	40
6.3.2	Verbrennungsprozesse ohne Vormischung.....	41
6.3.3	Explosionen.....	42
6.4	Faktoren der Gefährdungen durch Druck.....	43
6.4.1	Allgemeines.....	43
6.4.2	Speicherung im gasförmigen Zustand.....	43
6.4.3	Flüssigwasserstoff.....	43
6.5	Faktoren der Gefährdungen durch niedrige Temperaturen.....	43
6.6	Faktoren der Gefährdung durch Wasserstoffversprödung.....	44
6.6.1	Wasserstoffversprödung.....	44
6.6.2	Wasserstoffangriff.....	44
6.7	Gefährdungen für die Gesundheit.....	44
6.7.1	Erfrierungen.....	44
6.7.2	Verbrennungen.....	44
6.7.3	Ersticken.....	45
6.7.4	Nebenprodukte der Verbrennung.....	45
7	Minderung und Beherrschung von Gefährdungen und Risiken.....	45
7.1	Allgemeine Minderung und Beherrschung von Gefährdungen und Risiken.....	45
7.1.1	Allgemeines.....	45
7.1.2	Erkenntnisse aus der Vergangenheit.....	45
7.1.3	Umgang mit Gefährdungen.....	46
7.1.4	Minimieren des Schweregrads der Folgen von Gefährdungen.....	47
7.2	Mindern von Gefährdungen und Risiken durch die Gestaltung.....	48
7.2.1	Inhärent sichere Konstruktion.....	48
7.2.2	Überlegungen bei der Auswahl eines geeigneten Konstruktionswerkstoffes.....	48
7.2.3	Überlegungen zu Behältern und Komponenten.....	50
7.2.4	Verhindern von Überdruck.....	51
7.2.5	Überlegungen zu Rohrleitungen, Verbindungen und Anschlüssen.....	51
7.2.6	Überlegungen zur Reinigung.....	52
7.2.7	Überlegungen zu Komponenten.....	52
7.3	Verhindern und Mindern von Gefährdungen und Risiken durch Brand und Explosion.....	54
7.3.1	Allgemeines.....	54
7.3.2	Verhindern von unerwünschten Wasserstoff-Oxidationsmittel-Gemischen.....	54
7.3.3	Identifizierung von Gefährdungsbereichen.....	55
7.3.4	Entzündung.....	55
7.3.5	Deflagration und Detonation.....	57
7.3.6	Anreicherung mit Sauerstoff.....	57
7.4	Überlegungen zur Detektion.....	58
7.4.1	Detektion der Wasserstofffreisetzung.....	58
7.4.2	Branderkennung.....	59
7.5	Überlegungen zu Einrichtungen.....	60
7.5.1	Allgemeines.....	60
7.5.2	Standorte.....	60
7.5.3	Sperrbereiche.....	60
7.5.4	Schutzbarrikaden.....	61
7.5.5	Ausrüstung für die Sicherheitssteuerung.....	61
7.5.6	Entsorgung von Wasserstoff.....	62
7.5.7	Bodenmaterial.....	63
7.5.8	Gebäude.....	64
7.5.9	Lüftung.....	64
7.5.10	Elektrische Bauteile.....	65
7.5.11	Alarm- und Warneinrichtungen.....	65

7.5.12 Brandschutz und Brandbekämpfung.....	66
7.6 Überlegungen zu Betriebsabläufen	67
7.6.1 Allgemeines.....	67
7.6.2 Arbeitsanweisungen.....	67
7.6.3 Persönliche Schutzausrüstung.....	67
7.6.4 Abkühlen	68
7.6.5 Transport.....	69
7.6.6 Speicher- und Transfervorgänge.....	69
7.6.7 Sicherheitsverfahren.....	70
7.7 Empfohlene Praktiken für Organisationen.....	72
7.7.1 Allgemeines.....	72
7.7.2 Steuerung durch die Politiken und Verfahren der Organisation.....	72
7.7.3 Anwendung von zugelassenen Arbeitsanweisungen und Checklisten	72
7.7.4 Durchführung von entsprechenden Überprüfungen.....	72
7.7.5 Zugelassene Wartungs- und Qualitätslenkungsprogramme.....	72
7.7.6 Ausbildung/Schulung von Mitarbeitern	72
7.7.7 Beurteilung von Gefährdungen und der Einsatzfähigkeit.....	73
Anhang A (informativ) Eigenschaften von Wasserstoff.....	74
A.1 Allgemeines.....	74
A.2 Vergleich mit anderen üblichen Gasen.....	77
A.3 Vergleich mit anderen verflüssigten Gasen.....	78
Anhang B (informativ) Verbrennungsdaten von Wasserstoff.....	79
B.1 Sicherheitsbezogene Verbrennungseigenschaften	79
B.2 Breiten von Detonationszellen im Fall von Wasserstoff-Luft-Gemischen	80
B.3 Vergleich von Wasserstoff mit anderen herkömmlichen Brennstoffen	81
Anhang C (informativ) Werkstoffdaten	83
C.1 Kriterien für die Werkstoffauswahl.....	83
C.2 Wasserstoffversprödung	84
C.3 Einfluss von niedrigen Temperaturen auf Metalle.....	85
C.3.1 Allgemeines.....	85
C.3.2 Niedrigtemperaturversprödung	85
C.3.3 Wärmeschrumpfung.....	86
C.4 Bewertung von Werkstoffen für den Wasserstoffbetrieb	86
C.4.1 Einleitung.....	86
C.4.2 Prüfverfahren zur Bewertung von Werkstoffen für den Wasserstoffbetrieb.....	87
Anhang D (informativ) Weitere Speichermöglichkeiten	89
D.1 Allgemeines.....	89
D.2 Grundlegende Sicherheitsbetrachtungen für chemische Verbindungen.....	89
Literaturhinweise	90

Bilder

Bild B.1 — Breiten von Detonationszellen im Fall von Wasserstoff-Luft-Gemischen bei 101,3 kPa (14,7 psia) [10]	80
--	----

Tabellen

Tabelle A.1 — Ausgewählte sicherheitsbezogene physikalische und thermophysikalische Eigenschaften von normalem und Para-Wasserstoff.....	74
Tabelle A.2 — Thermophysikalische Eigenschaften von herkömmlichen Gasen	77

Tabelle A.3 — Ausgewählte Eigenschaften einiger tiefkalter Fluide bei deren normalem Siedepunkt.....	78
Tabelle B.1 — Sicherheitsbezogene Verbrennungseigenschaften von normalem Wasserstoff.....	79
Tabelle B.2 — Zünd- und Verbrennungseigenschaften von Luftgemischen bei 25 °C und 101,3 kPa mit unterschiedlichen herkömmlichen Brennstoffen.....	82