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