clean power net

Brennstoffzellen in Industrie und Business

PLANUNGSLEITFADEN – BRENNSTOFFZELLEN FÜR UNTERBRECHUNGSFREIE STROMVERSORGUNG (USV) UND NETZERSATZANLAGEN (NEA)

www.cleanpowernet.de

Technische Beschreibung und rechtliche Rahmenbedingungen für USV und NEA mit Brennstoffzellen

Benedikt Eska
Marcel Corneille
Mario Kräft

Keine lokalen Emissionen

Keine Lärmentwicklung

Keine Vibrationen

Lange Überbrückungszeit

Lange Lebensdauer

Hohe Zuverlässigkeit

Stationär oder mobil

Modular und erweiterbar

Erstellt für NOW GmbH – Nationale Organisation
Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
Fasanenstraße 5, 10623 Berlin

Teil 1: Technische Beschreibung
Technology Management SK
Münchener Straße 35a
85748 Garching
Autoren
Benedikt Eska
Marcel Corneille

Teil 2: Rechtliche Rahmenbedingungen
Ex.CE.L Unternehmensberatung und Arbeitsschutz
Ingenieur- und Sachverständigenbüro
Romanshorner Weg 92
13407 Berlin
Autor
Mario Kräft

Herausgeber
Clean Power Net (CPN)

© Clean Power Net 2018

PLANUNGSLEITFADEN – BRENNSTOFFZELLEN FÜR UNTERBRECHUNGSFREIE STROMVERSORGUNG (USV) UND NETZERSATZANLAGEN (NEA)

Technische Beschreibung und rechtliche Rahmenbedingungen für USV und NEA mit Brennstoffzellen

Benedikt Eska
Marcel Corneille
Mario Kräft

Präambel

Zwei Kernaufgaben des 21. Jahrhunderts sind eng miteinander verbunden: Die Digitalisierung der Gesellschaft und die Energiewende. Die Digitalisierung erfordert eine sichere Stromversorgung bei Netzausfall und die Energiewende den Einsatz alternativer Technologien wie bspw. der Brennstoffzelle. Diesel-Generatoren werden hierbei zunehmend von Brennstoffzellen-Anlagen abgelöst, da sie technische, ökologische und ökonomische Überlegenheit bieten.

Die Bereitstellung von Ersatzstromversorgung mit Brennstoffzellen sei es als unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) oder Netzersatzanlage (NEA) erfährt insbesondere auf dem Gebiet folgender kritischer Infrastrukturen wachsende Bedeutung:

- BOS Digitalfunk und Mobilfunk (Basisstationen)
- Übertragungs- und Verteilnetzbetriebe (Umspannwerke, Wasseraufbereitung)
- Verkehrsleittechnik (Bahn-Stellwerke, Signalsysteme, Flughafen- und Flugverkehr-Sicherungen)
- Sicherheitstechnik (Baustellenüberwachung, Mess- und Prüfstationen)
- IT-Infrastruktur (Absicherung von Rechenzentren)
- Gesundheitswesen (Krankenhäuser, mobile Krankenstationen)
- Industrieproduktion (Leit- und Steuertechnik).

Dieser zweiteilige Leitfaden soll planenden und beratenden Ingenieuren als praktisches Hilfsmittel dienen und den Einstieg in die Technologie sowie den Planungs- und Genehmigungsprozess für Aufbau und Betrieb von Brennstoffzellen-Anlagen erleichtern.

Der erste Teil „Technische Beschreibung“ bietet einen kompakten Überblick über Planung, Errichtung, Inbetriebnahme und Betrieb von Brennstoffzellen-Ersatzstromversorgung. Im zweiten Teil „Rechtliche Rahmenbedingungen“ werden Produkt- und Betriebssicherheit, Aspekte aus der Bauordnung, Umweltvorschriften und weitere Normen detailliert dargestellt. Für beide Teile des Planungsleitfadens findet sich eine Checkliste im Anhang, die den Planungsprozess vereinfachen hilft.

Der Planungsleitfaden bietet darüber hinaus:

- Eine Darstellung der Vorteile von Brennstoffzellen im Vergleich zu Diesel-Netzersatzanlagen
- Eine Übersicht über verschiedene Brennstoffzellentypen und -lösungen
- Eine Betrachtung netzgekoppelter und netzentkoppelter Systeme
- Eine Auflistung relevanter Gesetze und Normen.

Aktuelle Informationen zur Förderung von Brennstoffzellen-Anlagen sind auf der Website der NOW GmbH (Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie) dargestellt: www.now-gmbh.de

Anbieter von Brennstoffzellen-Lösungen sind mit ihren Leistungsprofilen und Ansprechpartnern auf der Website des Clean Power Net (CPN) zu finden: www.cleanpowernet.de

Wolfgang Axthammer,
Geschäftsführer der NOW GmbH und Clean Power Net Projektmanager.

Inhalt

1 Hintergrund und Motivation ... 8
2 Einführung ... 9
2.1 Vorwort der Autoren ... 9
2.2 Aufbau des Leitfadens ... 10
Teil 1: Technische Beschreibung ... 11
3 Übersicht ... 12
3.1 Brennstoffzellentechnologie – technischer Hintergrund ... 12
3.2 Vorteile von Brennstoffzellen im Vergleich zu Batterie- und Diesel-Netzersatzanlagen ... 15
3.3 Typische Anwendungen ... 19
4 Planung ... 21
4.1 Auslegung der Leistung ... 22
4.2 Laufzeit der ESV und Auslegung des Brennstoffspeichers ... 23
4.3 Elektrotechnische Einbindung ... 25
4.4 Auswahl der Brennstoffzelle und des Brennstoffs ... 28
4.5 Sicherheitskonzept ... 28
4.6 Anlagenbeschreibung und Aufstellungskonzept ... 29
5 Errichten ... 29
5.1 Indoor und Outdoor ... 29
5.2 Baustellenlogistik ... 30
6 Inbetriebnahme ... 30
7 Betrieb ... 30
7.1 Einsatzfall ... 30
7.2 Testbetrieb ... 31
7.3 Wartung & Instandhaltung ... 31
7.4 Brennstofflogistik ... 32
8 Zusammenfassung technische Beschreibung ... 32
Teil 2: Rechtliche Rahmenbedingungen ... 33
9 Einleitung ... 34
10 EU-Rechtssystem Produkt- und Betriebssicherheit ... 34
11 Bereitstellung sicherer Produkte auf dem Markt ... 36
11.1 Konstruktion eines „sicheren Produkts“ und Normung ... 37
11.2 „Geführte Vorgehensweise“ ... 38
11.3 Gestaltung sicherer Brennstoffzellensysteme ... 39
12 Betriebssicherheit ... 40
13 Sicherheitstechnische Vorgehensweise ... 41
14 Rangfolge der Schutzmaßnahmen ... 42

14.1 Umsetzung in der Brennstoffzellentechnologie (Brennstoffhandhabung) 43
14.2 Explosionsgefährdete Bereiche möglichst vermeiden 45
15 Erforderliche Prüfungen 47
15.1 Prüfungen 48
16 Bauordnungsrechtliche Aspekte 50
17 Brennstofflogistik (ADR [34] und Ausnahmen) 50
17.1 Mindermengen für übliche Brennstoffzellen-Brennstoffe 51
17.2 Voraussetzungen vor *jedem* Transport von Druckgasbehältern 52
17.3 Was muss ich bei meinem Fahrzeug beachten? 52
17.4 Ladungssicherung bei Mindermengentransporten 53
18 Beurteilungsgrundlagen für Netzersatzanlagen mit Brennstoffzellen 54
18.1 Gesetze und Verordnungen 54
18.2 Nationale Gesetzgebung 55
18.3 Gefahrgut- und Umweltschutzvorschriften 56
18.4 Technische Regeln 56
18.5 Baurecht 58
18.6 Weitere kostenfreie und offizielle Fundstellen im Internet: 58
A Anhang 59
A.1 Abkürzungsverzeichnis 59
A.2 Glossar 60
A.3 Auslegung 61
A.4 Abbildungsverzeichnis 65
A.5 Checklisten 66
A.6 Autoren 74

1 Hintergrund und Motivation

Elektrische Anlagen sind mitunter so wichtig bzw. funktionskritisch, dass Stromnetzausfälle entweder Gefahren für Leib und Leben oder große wirtschaftliche Schäden zur Folge haben würden. Solche Einrichtungen, auch als kritische Infrastrukturen bezeichnet, werden typischerweise mit einer sogenannten Ersatzstromversorgung (ESV) ausgerüstet, die bei Ausfall der regulären Stromversorgung zeit- und übergangsweise die Weiterversorgung übernimmt. Ersatzstromversorgungen werden grundsätzlich unterschieden in unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) und Netzersatzanlagen (NEA).

Um länger andauernde Netzausfälle überbrücken zu können, werden die meist batteriebetriebenen USV-Systeme typischerweise um NEA erweitert. Dabei setzte man bisher typischerweise auf Dieselgeneratoren mit entsprechend dimensionierten Dieseltanks vor Ort. Ein hoher Bekanntheitsgrad bei Einkäufern, Projektentwicklern und Planern sowie etablierte Vertriebsstrukturen haben bisher eine starke Affinität zu Diesel-NEA hervorgebracht. Und aus der allgemein wahrgenommenen starken Verbreitung von Diesel-NEA wird häufig (unbewusst) auf einen hohen Eignungsgrad der Dieseltechnologie geschlossen. Dabei werden die technologiebedingten Nachteile für den Standby-Betrieb, wie er bei NEA in stabilen Stromnetzen sehr ausgeprägt auftritt, meist übersehen oder zumindest unterschätzt. Degradation bei Brennstoff und Motorenöl sowie Korrosion im Kühlwasserkreislauf lassen das Diesel-Aggregat vor allem im Standby merklich altern und beeinträchtigen die Anlaufverfügbarkeit massiv.

Hingegen machen eine Reihe günstiger Eigenschaften die Brennstoffzellentechnik sehr attraktiv für den Einsatz in ESV:

- Schnelles und sicheres Anlaufen bei Stromnetzausfall
- Niedriger Betreuungsaufwand und geringe Alterungstendenz im Standby
- Modulierbarkeit der Leistung über einen weiten Bereich bei gleichbleibend hohem Wirkungsgrad
- Keine Degradation von Brennstoffen

Vor allem bei hohen Verfügbarkeits- bzw. Umweltanforderungen kann die Brennstoffzellentechnik ihre technologischen Stärken ausspielen.

In mehreren durch das NIP geförderten Projekten konnten inzwischen Eignung und Alltagstauglichkeit bewiesen werden. Obwohl entsprechende Lösungen nunmehr kommerziell verfügbar sind, ist die Nachfrage immer noch sehr zögerlich. Das dürfte wesentlich an der Neuheit der Technologie liegen, wodurch es an standardisierten und allgemein bekannten Genehmigungsprozessen und Planungsunterlagen fehlt.

Dieser Leitfaden soll durch Information und konkrete Handlungsempfehlungen bestehende Wissenslücken schließen und damit Hürden und Berührungsängste abbauen. Er soll ermutigen und praktisch dabei unterstützen, die innovative Brennstoffzellentechnik bei künftigen ESV-Vorhaben verstärkt zu berücksichtigen und damit zur Erreichung von Umwelt- und Klimazielen beitragen. Mit Hilfe einer Checkliste soll die Konzeption neuer BZ-Projekte für Planer vereinfacht werden.

2 Einführung

2.1 Vorwort der Autoren

Der Planungs- und Genehmigungsleitfaden, im Folgenden „Leitfaden“, richtet sich insbesondere an Fachleute mit Erfahrung bei Planung, Errichtung und Betrieb von konventionellen Ersatzstromversorgungen, die an Brennstoffzellenlösungen interessiert sind.

Der Leitfaden geht in kompakter Form auf die Besonderheiten von verschiedenen Brennstoffzellentypen und -lösungen ein. Betrachtet werden netzgekoppelte Systeme wie unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) und Netzersatzanlagen (NEA) sowie netzentkoppelte Systeme (Inselanlagen). In diesem Sinne wird für den Leitfaden der Oberbegriff Ersatzstromversorgungen (ESV) definiert.

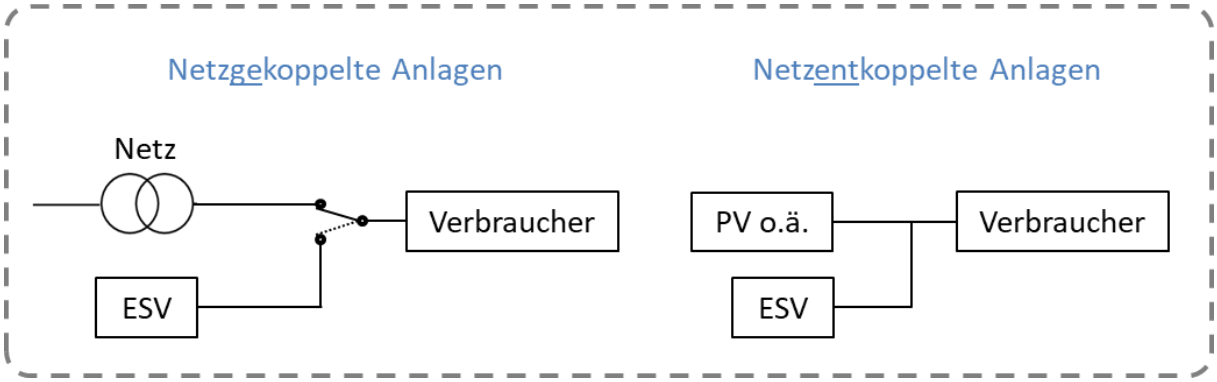


Abbildung 2-1: Unterscheidung der ESV-Anlagen in netzge- und netzentkoppelte Anlagen

Für den Leitfaden wurden die Erfahrungen der letzten Jahre bei Planung, Errichtung und Betrieb von mehreren hundert BZ-ESV, und im kleinen Leistungsbereich unterhalb von 1 kW von mehreren tausend BZ-Lösungen, aufgegriffen. Die Vor- und Nachteile der neuen Technologie werden in Teil 1 "Technische Beschreibung" und die rechtlichen Rahmenbedingungen in Teil 2 "Rechtliche Rahmenbedingungen" dieses Leitfadens betrachtet.

In diesem Sinne ist der Leitfaden als Hilfsmittel bei der Planung von BZ-ESV zu verstehen. Für detaillierte Planungen werden die relevanten Normen sowie die einschlägige Fachliteratur empfohlen. Zur Unterstützung der Planungstätigkeit steht für beide Teile des Leitfadens je eine Checkliste zur Verfügung.

2.2 Aufbau des Leitfadens

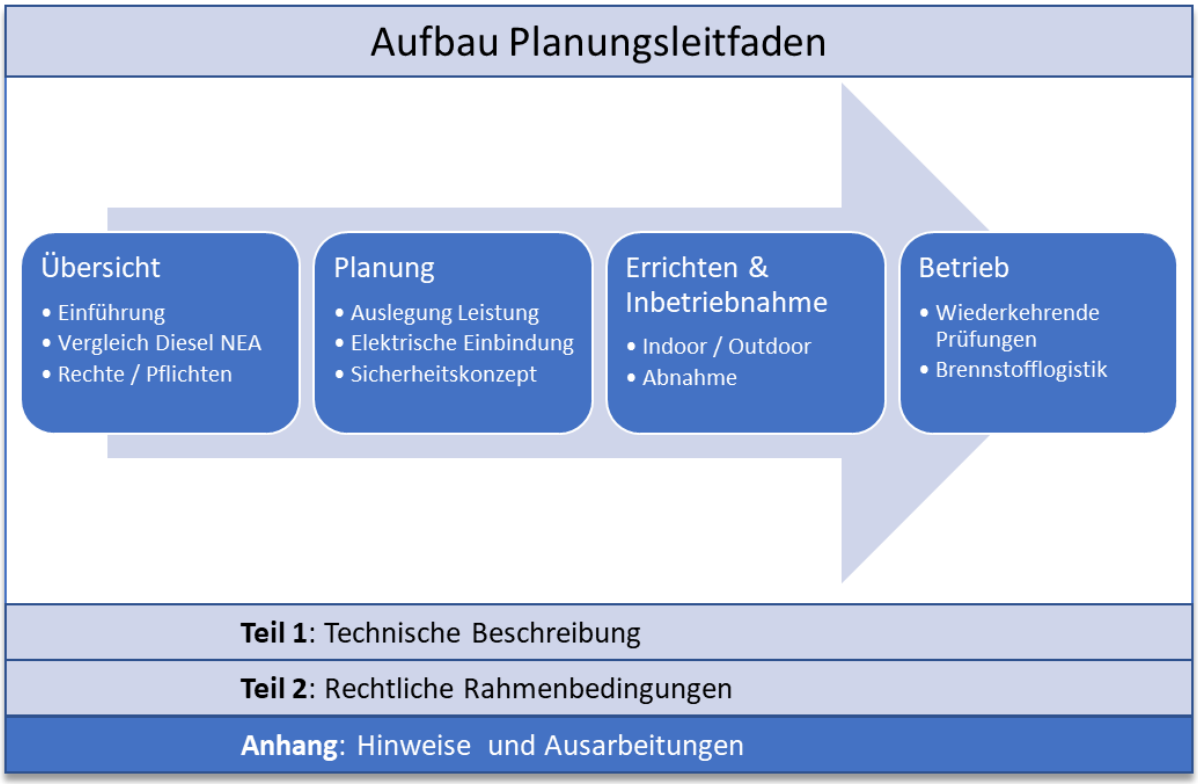


Abbildung 2-2: Übersicht zum Planungsleitfaden

Die unterschiedlichen Aufgaben der an einem Projekt Beteiligten sind in Tabelle 2-1 zusammengefasst. Alle Beteiligten sollten ein Grundverständnis der rechtlichen Rahmenbedingungen entwickeln, um die Realisierung einer sicheren Anlage zu gewährleisten. Inhaltlich kann ein Beteiligter auch mehrere Rollen innehaben, beispielsweise kann der spätere Betreiber die Anlage auch selbst planen.

Die Gesamtverantwortung für die fertige Anlage liegt nach dem Gefahrenübergang formal immer bei dem Betreiber der Anlage, der sich ggf. durch Service Provider, z.B. bei der Wartung, unterstützen lässt. Unter dem Errichter werden zudem in dieser Tabelle bei den rechtlichen Aspekten auch Themen der Hardwarehersteller subsummiert.

Tabelle 2-1: Beteiligte und deren Aufgaben

Wer	Aufgaben	Querverweise auf Teil 1	Querverweise auf Teil 2
Planer	Technische Auslegung, sicherheitstechnische Anforderungen in Abstimmung mit dem Betreiber, Dokumentation	4	11.3; 13; 14; 16; 18
Errichter	Errichtung der Anlage, Produktsicherheit; Baugenehmigung, Erstinbetriebnahme, Dokumentation	5 6	11; 11.3; 13; 14; 14.1; 15.1; 18
Betreiber	Betrieb, Wartung & Instandhaltung, Brennstofflogistik, Betriebssicherheit, Dokumentation	6 7	11.3; 12; 13; 14; 15.1; 17; 18

Teil 1: Technische Beschreibung

3 Übersicht

3.1 Brennstoffzellentechnologie – technischer Hintergrund

Ganz allgemein wandeln Brennstoffzellen die chemische Energie eines Brennstoffes über einen elektrochemischen Prozess direkt in Strom (und Wärme). Diese Umwandlung erfolgt je nach Brennstoff emissionsfrei und es fällt kein Feinstaub an, anders als bei Verbrennungsmotoren.

Eine Brennstoffzelle ist eine Gleichspannungsquelle. Verschiedene Brennstoffzellentypen unterscheidet man nach den eingesetzten Elektrolyten (analog zu Batterien) und den verwendeten Brennstoffen. Dabei können je nach Brennstoffzellentyp unterschiedliche Brennstoffe, wie z.B. Wasserstoff, Methanol oder Flüssiggas (Propan und Butan) eingesetzt werden. **Brennstoffzellentyp und Brennstoff bilden eine Einheit und können nicht separat betrachtet werden.**

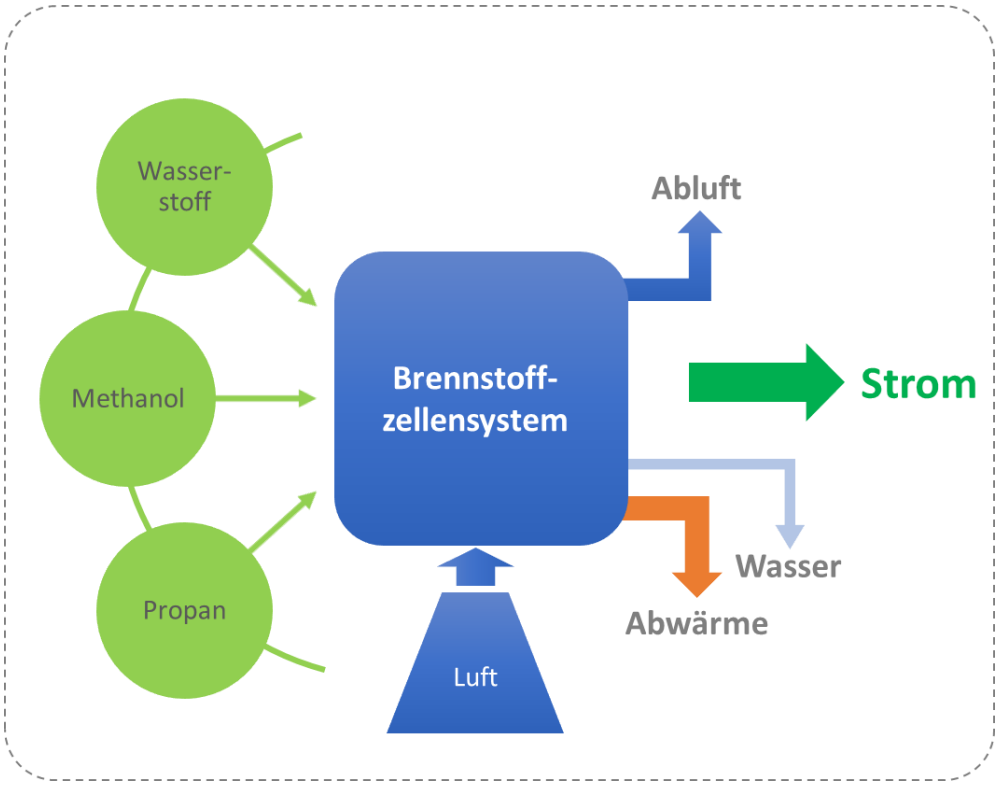


Abbildung 3-1: Prinzipschaltbild Brennstoffzellensystem

Die eigentliche Stromwandlung erfolgt in einer einzelnen Zelle unter Zuführung von Brennstoff und Luft und skaliert mit der Fläche der Zelle. Je größer die Fläche desto höher der Strom. Jede Zelle liefert dabei, je nach Betriebspunkt, eine bestimmte Spannung. Ein typisches Betriebsfenster liegt bei PEM-BZ zwischen 0,8 und 0,6 Volt pro Zelle. Für eine ausreichende Spannung werden die Zellen gestapelt – also elektrisch in Serie geschaltet – zu einem Brennstoffzellenstapel.

Der Brennstoffzellenstapel muss mit Brennstoff und Luft versorgt werden. Zudem muss die entstehende Abwärme entweder über eine Luft- oder Wasserkühlung abgeführt werden. Dafür werden Komponenten wie Ventile, Sensoren und Lüfter zusammen mit dem Brennstoffzellenstapel zu einem Brennstoffzellensystem verschaltet. Die Nebenaggregate werden häufig als Peripherie oder Balance-of-Plant (BoP) bezeichnet.

Der Brennstoff selbst wird in passenden Tanks gespeichert und dem BZ-System über Zuleitungen zugeführt. Je nach Brennstoff gibt es unterschiedliche Gebinde. Die Laufzeit der Gesamtanlage wird durch die Auslegung dieser Gebinde bestimmt.

Je nach Anforderung an die BZ-ESV besteht diese typischerweise aus den folgenden Hauptkomponenten:

- Brennstoffzellensystem
  (inkl. Kühlsystem und ggf. Verdichter-Expander Einheit)
- Brennstoffbevorratung und ggf. Aufbereitung
- ggf. notwendige Wechselrichter
- Steuerungseinheit
- Batterie zur Stützung der Spannung während des Einschaltvorgangs
- ggf. Gehäuse mit ggf. notwendiger Heizung/Klimatisierung

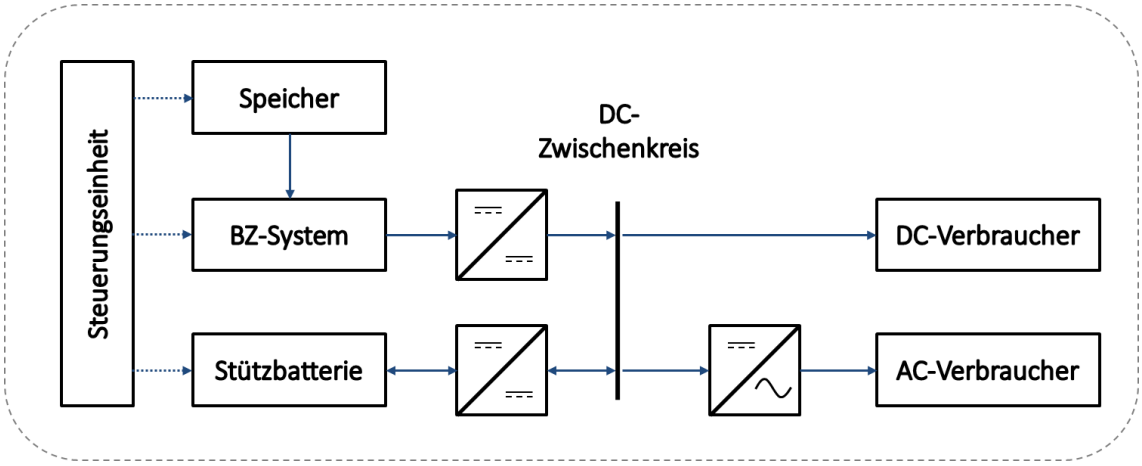


Abbildung 3-2: Prinzipschaltbild einer BZ-ESV

Je nach Konzept der verschiedenen Hersteller, können die Hauptkomponenten in einem oder mehreren Modulen, meist als 19 Zoll Rack, zusammengefasst sein. Viele Hersteller verfolgen einen modularen Ansatz und können so in gewissen Bandbreiten die angebotene Leistung variieren bzw. Redundanz anbieten.

Die am Markt verfügbaren Systeme weisen auf Grund ihrer betrieblichen Eigenschaften bevorzugte Anwendungsgebiete auf. Die folgenden Werte sind Anhaltswerte und unterscheiden sich je nach Anbieter und Konfiguration. Alle betrachteten Konfigurationen enthalten eine Stützbatterie, die je nach Anwendung und System in der Kapazität unterschiedlich ausfällt.

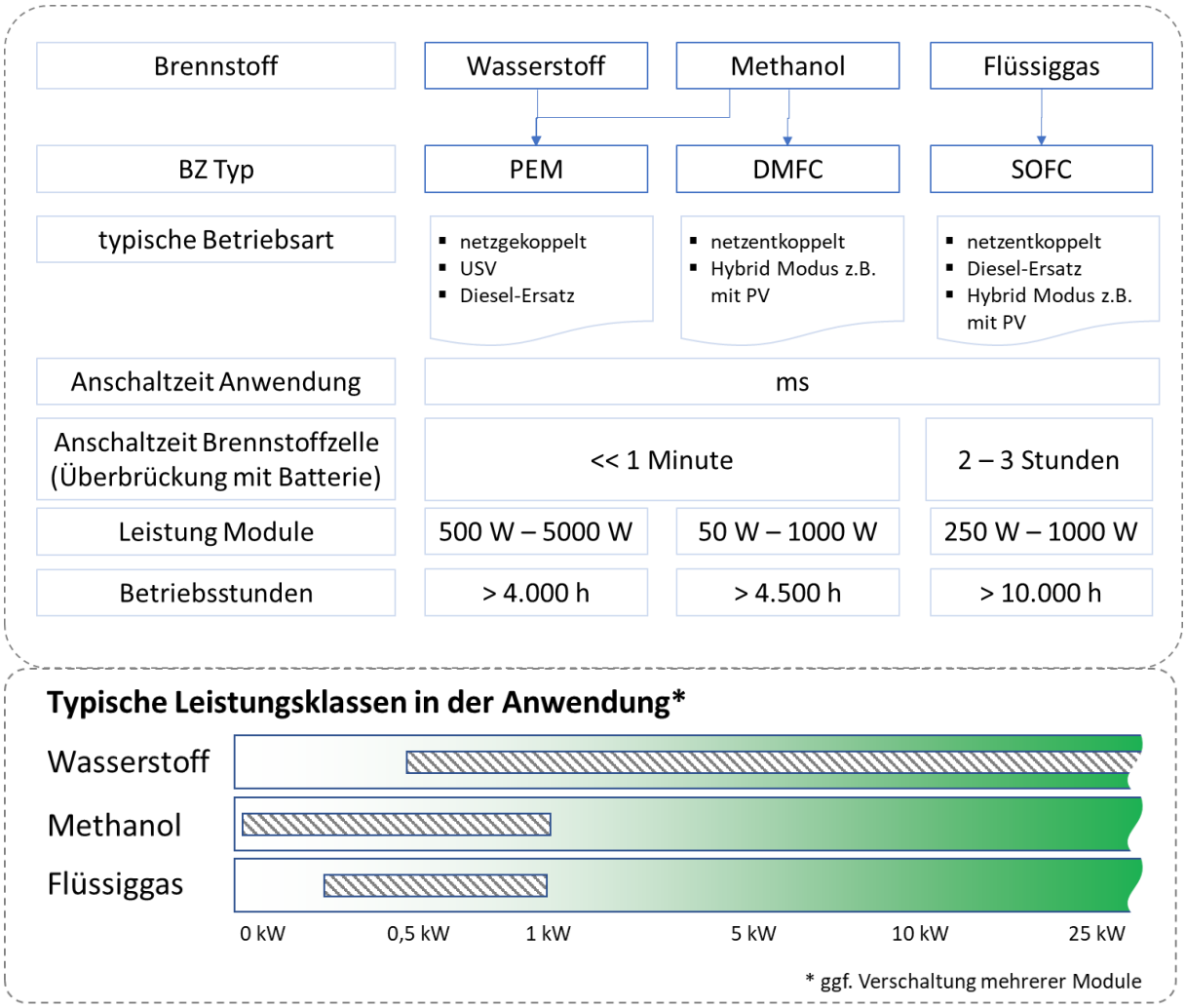


Abbildung 3-3: Typische Kennwerte von kommerziell verfügbaren Brennstoffzellensystemen

Es gilt dabei zu beachten, dass bei Verwendung von Methanol nicht jede PEM BZ geeignet ist.

3.2 Vorteile von Brennstoffzellen im Vergleich zu Batterie- und Diesel-Netzersatzanlagen

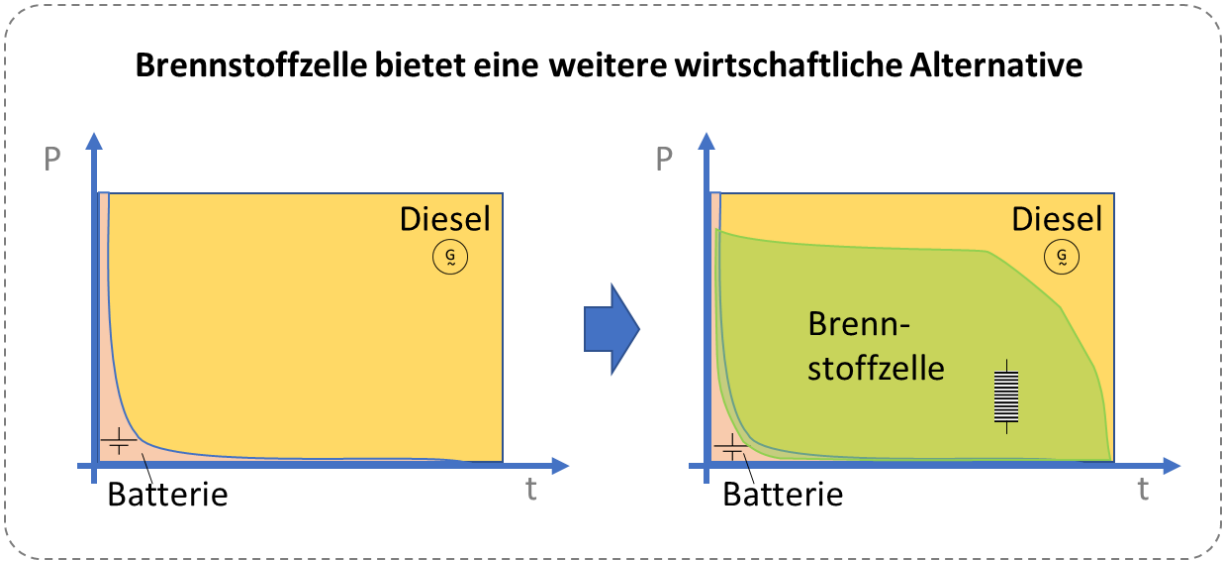


Abbildung 3-4: Brennstoffzellen sind besonders geeignet für lange Überbrückungszeiten

BZ-ESV verbinden die Vorteile von Batterie- und Diesel-Lösungen. Je nach Brennstoff operieren sie emissionsarm oder -frei wie eine Batterie, bieten aber Laufzeiten wie Diesel-Aggregate. Zudem gibt es technisch keine Beschränkung bezüglich der zu installierenden Leistung oder Tankgröße. Das wichtigste funktionale Kriterium – die Verfügbarkeit im Ernstfall (meist sind 72 h spezifiziert) – wurde bereits deutschlandweit in mehreren hundert Anlagen erfolgreich im Feld nachgewiesen.

Entscheidende Vorteile bietet die Brennstoffzelle bei kleinen bis mittleren Leistungen und relativ langer Laufzeit/Überbrückungszeit bei gleichzeitiger Hochverfügbarkeit. Bei einer *total-cost-of-ownership* (TCO) Betrachtung erreicht die Brennstoffzelle, durch die geringeren Wartungskosten, hier nach wenigen Jahren einen Break-Even gegenüber einer Diesel- oder Batterie-NEA.

In Tabelle 3-1 sind verschiedene Kriterien vergleichend dargestellt:

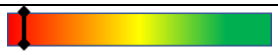
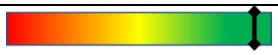
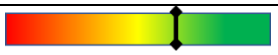
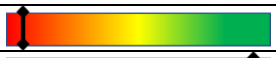
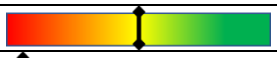
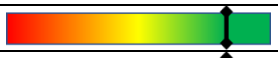
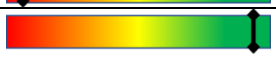
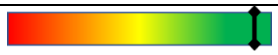
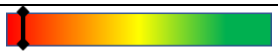
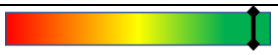
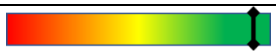
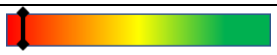
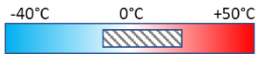
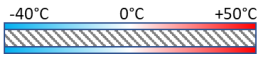
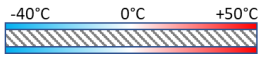
Kriterium	*Batterie-USV*	*Diesel-ESV*	*Brennstoffzellen-ESV*
TCO			
Anlaufverfügbar-keit			
Lebensdauer	 Batterien altern auch im Standby. Der Zustand einzelner Zellen ist nur mit großem Aufwand einzuschätzen; daher werden in kritischen Anwendungen die Batterien z.B. alle 2 Jahre getauscht.	 Bei richtiger Wartung unproblematisch.	 Brennstoffzellen in BZ-ESV sind meist für 4.000 Betriebsstunden ausgelegt. BZ für Dauerbetrieb erreichen auch 60.000 h. Von den Herstellern werden Systemstandzeiten von 15 - 20 Jahre erwartet.
Alterung Standby			
Wartung & Service	 wartungsfrei	 wartungsintensiv	 wartungsfrei bzw. wartungsarm je nach Hersteller und Anwendung
Abgase	 • Emissionsfrei	 • NO_x • CO_2 • CO • Feinstaub	 • Emissionsfrei bei Betrieb mit Wasserstoff • CO_2 bei Betrieb mit Methanol und Flüssiggas
Geräusch	 Geräuschlos	 Je nach Kapselung und Anbieter, typische Werte 65 dB (A) +/- 10% (7m).	 Geräuscharm. Das Geräusch wird durch die Luftansaugung verursacht.
Temperatur (ggf. mit Zusatz-maßnahmen)	 \ Enges Betriebsfenster um Alterung bzw. Kapazitätsverluste der Batterie zu vermeiden.	 \ Bei sehr niedrigen Temperaturen muss ggf. der Diesel vorgeheizt werden.	 \ Je nach Brennstoffzellentyp und Hersteller werden unterschiedliche Temperaturfenster angegeben. Ggf. werden Heizungen in Outdoor-schränken eingesetzt.

Tabelle 3-1: Vergleich von Batterie-USV, Diesel-NEA und BZ-ESV

3.2.1 Eigenschaften der verschiedenen Brennstoffe

Für die zurzeit am Markt verfügbaren BZ-ESV Systeme kommen die drei Brennstoffe Wasserstoff, Flüssiggas und Methanol in Frage. Alle diese Brennstoffe sind in Deutschland gut verfügbar. Die Eigenschaften der Brennstoffe unterscheiden sich wesentlich in Bezug auf Energiegehalt, Speicherform und Gefährdung (siehe auch Abschnitt 14.1):

- Wasserstoff ist gasförmig und wird typischerweise in Druckgasflaschen von 200 bis 300 bar gespeichert. Wasserstoff hat – bezogen auf das Gewicht – eine sehr hohe Energiedichte. Für die Speicherung ist das Gewicht der Druckgasflaschen zu berücksichtigen. Wasserstoff ist für die Umwelt unbedenklich und für Menschen ungiftig.

- Flüssiggas ist unter Umgebungsdruck gasförmig, bei Speicherung unter Druck (typischerweise bei 8 bar in Druckgasflaschen) allerdings flüssig. Es besteht zu veränderlichen Anteilen aus Propan und Butan und variiert dadurch leicht in der Energiedichte. Flüssiggas ist wie Wasserstoff nicht umweltgefährdend oder giftig.

- Methanol ist flüssig und wird drucklos in Tankgrößen von wenigen Litern bis zu 1 m³ gespeichert. Die Umwelteigenschaften (schwach wassergefährdend) schränken den Einsatz in sensiblen Ökosystemen ein. Zudem muss bei der Handhabung beachtet werden, dass Methanol bei direktem Kontakt – allerdings in geringerem Maße als Diesel – gesundheitsschädlich ist.

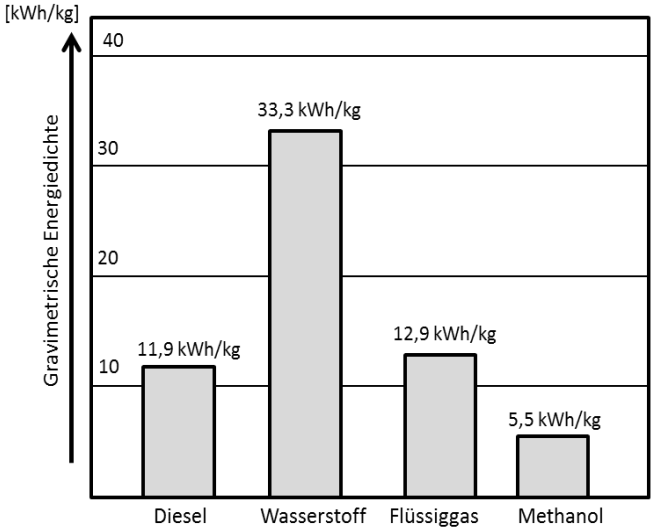


Abbildung 3-5: Gravimetrische Energiedichten verschiedener Brennstoffe

Abbildung 3-5 vergleicht die Energieinhalte der Brennstoffe bezogen auf ihre Masse (gravimetrische Energiedichte). Aus diesem Wert lässt sich die benötigte Brennstoffmasse aus dem Energiebedarf berechnen. Für die Auslegung der dann benötigten Speichergröße ist der Energieinhalt bezogen auf das Volumen (volumetrische Energiedichte) wesentlicher. Diese hängt von der verwendeten Speicherart ab. Flüssige Brennstoffe haben hier deutliche Vorteile, da diese ein geringeres Speichervolumen benötigen.

In ihrer Lagerfähigkeit unterscheiden sich die Brennstoffe stark. Diese spielt in der Praxis besonders bei USV/NEA und Anwendungen mit geringen Betriebsstunden eine Rolle.

Wasserstoff und Flüssiggas sind beliebig lange lagerfähig und für die Anwendung dauerhaft nutzbar.

Bei Methanol hängt es vom Material des Gebindes ab. Direktmethanol-BZ (DMFC) benötigen einen hohen Reinheitsgrad des verwendeten Brennstoffes. Bei Kunststoffgebinden kann es zu Auswaschungen kommen und somit zu einer Überlagerung. Derzeit wird empfohlen, die Gebinde nicht länger als drei Jahre zu nutzen. Meist werden spezielle Kartuschen angeboten, die einen Kontakt mit dem Methanol verhindern und so eine Gefährdung für das Personal ausschließen. Solche Systeme sind beispielweise im Freizeitbereich (Reisemobile, Boote) schon zu Tausenden im Einsatz.

Die Lagerfähigkeit von Diesel ohne Veränderung der Eigenschaften wird mit 90 Tagen angegeben (DIN EN 590:2017). So kann sich beispielsweise der Wasseranteil verändern. Durch Wachstum von Mikroorganismen kann es zur sogenannten „Dieselpest“ kommen. Je nach Stärke der Veränderung führt dies zu Ausfällen der Diesel-NEA. Deshalb muss der Dieselbrennstoff regelmäßig getauscht werden und i.d.R. fallen Entsorgungskosten an.

	Diesel	Methanol	Flüssiggas	Wasserstoff
Lagerfähigkeit	🟠	🟡	🟢	🟢
Energiedichte in der Anwendung	🟢	🟡	🟡	🟠
Umweltverträglichkeit des Brennstoffes	🟠	🟡	🟢	🟢
Umweltverträglichkeit bei Nutzung	🟠	🟡	🟡	🟢
Kennzeichnung				

Tabelle 3-2: Vergleich verschiedener Brennstoffe

→ Weitere Hinweise zu den Speichersystemen gibt Abschnitt 4.2.

3.2.2 Kostentreiber

Folgende Konstellationen treiben die Kosten für BZ-ESV und sollten bei der Planung berücksichtigt werden:

- Überdimensionierung der geforderten elektrischen Leistung: Dies erhöht sowohl das Investment für das BZ-System als auch für die Tankanlage.
- Kurze Ausschreibungsfristen erhöhen das Planungsrisiko für den Hersteller bzw. Errichter. Das Risiko wird über den Preis an den Ausschreibenden zurückgegeben.
- Forderungen nach unnötiger Redundanz.
- Nicht ausreichend durchdachte Sicherheitskonzepte.
- Bisher noch nicht realisierte Konstellationen führen zu erhöhtem Engineeringaufwand:
    - Beispielsweise Forderungen nach speziellen Gehäusen, z.B. hohe Widerstandsklassen, oder
    - die Verwendung bestimmter Komponenten, z.B. spezielle Spannungswandler.
- Die Einbindung in bestehende Softwarearchitekturen für z.B. Fernwartung.

Der frühzeitige fachliche Austausch mit Herstellern, Fachleuten und anderen Betreibern kann helfen, die Kostentreiber bei der konkreten Planung zu identifizieren und die Kalkulation zu optimieren.

3.3 Typische Anwendungen

Die folgenden Anwendungsbeispiele sollen helfen, sich eine Vorstellung von der Umsetzung einer BZ-ESV zu machen. Die Beispiele stellen keine Empfehlung für oder gegen eine Technologie dar. Gewählt wurden Beispiele, die heute in Deutschland mit über hundert Anlagen im Feld sind. Vorgestellt werden eine netzgekoppelte Telekommunikationslösung und eine netzferne Stromversorgung zur Versorgung einer Betriebsdatenerfassung.

Beispiel 1: BZ-USV für einen netzgekoppelten Mobilfunkstandort

Abbildung 3-6: Beispiel für eine wasserstoffbetriebene BZ-USV

Bei Abbildung 3-6 handelt es sich um eine wasserstoffbetriebene PEM-BZ mit luftgekühlten Modulen von je 2,5 kW Leistung. Die BZ-USV besteht aus zwei Outdoor Schränken. Ein Schrank beinhaltet die BZ mit Wandler, Stützbatterie und Steuerelektronik. Dieser Schrank ist separiert von der Wasserstoffversorgung.

Der Wasserstoff ist in einem eigenen Schrank untergebracht und wird bei 300 bar in mehreren 50 Liter Stahlflaschen gespeichert. Die gespeicherte Menge Brennstoff ermöglicht eine Überbrückungszeit von mindestens 72 Stunden.

Die Flaschen sind in zwei unterschiedlich große Versorgungsstränge aufgeteilt, die automatisch umschalten. Dadurch werden beim regelmäßigen, automatischen Testbetrieb nur einzelne Flaschen betrieben und die geforderte Überbrückungszeit über den größeren Versorgungsstrang sichergestellt (siehe auch Abschnitt 4.2).

Die Anlage hat einen Remotezugriff und kann durch Fernwartung überprüft werden. Dies vermeidet Fahrten zu entlegenen Standorten.

Beispiel 2: BZ-ESV für eine netzferne Stromversorgung

Abbildung 3-7: Beispiel einer methanolbetriebenen BZ-ESV

Eine PV-Anlage lädt hier eine Batteriebank. Zusätzlich ist die Anlage mit einem BZ-System gekoppelt, welche die Energieversorgung bei ungünstigen Witterungsverhältnissen sicherstellt. Das System ist in einem kleinen Outdoor-Kabinett untergebracht (Abbildung 3-7).

Im Einsatz ist eine DMFC mit einer Dauerleistung von ca. 100 W. Die beiden Methanoltankpatronen enthalten zusammen 56 Liter. In dieser Hybridkonfiguration und der anliegenden Last ist ein Dauerbetrieb über ein Jahr möglich. In dieser Zeit fährt das BZ-System je nach Bedarf selbstständig an. Das System ist bis auf den Tankpatronenwechsel wartungsfrei. Beim Tausch der Tankpatronen ist ein Kontakt mit dem Methanol ausgeschlossen.

4 Planung

Eine BZ-ESV ist in den meisten Punkten nicht anders zu behandeln als eine konventionelle ESV. Wie bei allen ESV ist das wichtigste Kriterium die elektrische Last und als kritischer Pfad in der Umsetzung gilt auch hier die elektrotechnische Einbindung der ESV.

In die Auswahl des richtigen BZ-Typs - und damit des Brennstoffes – gehen verschiedene Randbedingungen ein. Der Prozess der Auswahl wird meist iterativ durchgeführt.

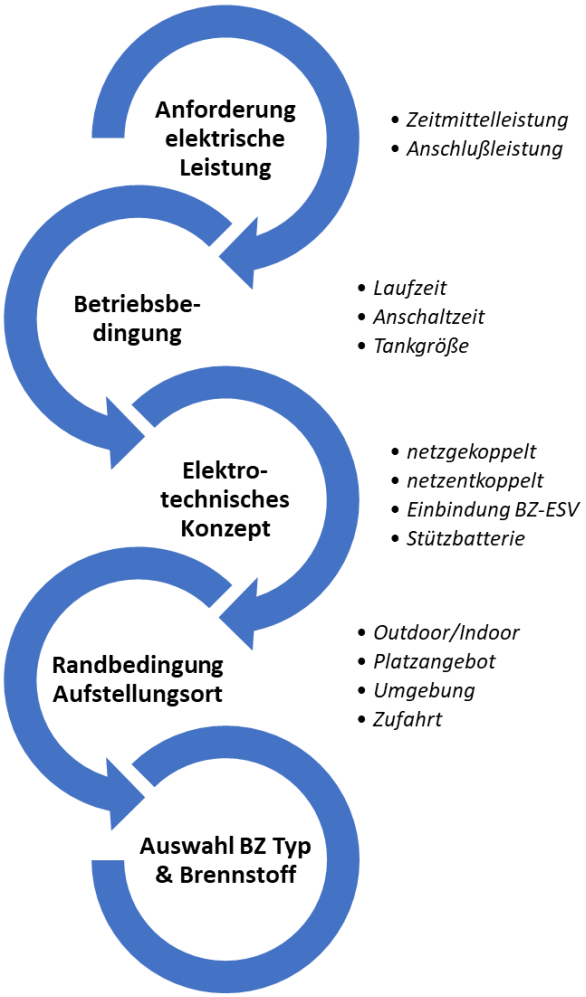


Abbildung 4-1: Auswahl Brennstoffzelle und zugehörigen Brennstoff

Hinweis:
Die Charakteristik einer Brennstoffzelle lässt sich mit einer ständig aufgeladenen Batterie vergleichen. Auch die Brennstoffzelle hat eine entsprechende Strom-Spannungs-Kennlinie (U-I-Kennlinie). Im Unterschied zur Batterie gibt es keine Entladekennlinie über die Zeit, sondern die BZ bleibt lastabhängig an einem bestimmten Arbeitspunkt der U-I-Kennlinie.

4.1 Auslegung der Leistung

Prinzipiell können BZ-ESV für jede benötigte Leistung ausgelegt werden. Ihre Modularität bietet Planern die Möglichkeit, die Leistung je nach Bedarf anzupassen.

Für die Auswahl der geeigneten BZ-Leistung ist generell zu empfehlen, nicht die Peak-Leistung, sondern den zeitlichen Mittelwert der Leistung der Verbraucher zu betrachten (Zeitmittelleistung). Bei Diesel-NEA müssen aufgrund der direkten Koppelung von Dieselmotor und Generator beide Komponenten für die möglicherweise auftretenden Leistungs- bzw. Drehmomentspitzen ausgelegt sein. Bei BZ-ESV müssen ggf. vorhandene Spannungswandler die erforderlichen Lastspitzen liefern können, wobei sie sich dabei primärseitig auf der Batterie abstützen können, weshalb die BZ nicht auf die Spitzenleistung ausgelegt werden muss.

Bei BZ-Systemen skalieren die Investitionskosten in der Regel deutlich stärker mit der Spitzenleistung als bei anderen ESV. Durch eine detaillierte Betrachtung der im Ersatzstromfall zu versorgenden Verbraucher, können die Investitionskosten minimiert werden und somit die TCO Potentiale gehoben werden.

Die Analyse der Verbraucher muss wie bei anderen ESV folgende typische Fragen klären:

- Anzahl und Art der Verbraucher?
- Mindestdauer der Versorgung?
- Sind motorische Drehstromverbraucher zu versorgen?
- Spitzenlast (Anlaufströme?) und Durchschnittslast?
- Welche Verbraucher sollen im Notstromfall versorgt werden und an welche Phasen sind diese angeschlossen?
- Ist eine Redundanz erforderlich?

Einige Betreiber veranlassen eine Messung des tatsächlichen Strombedarfes an dem zu versorgenden Standort. Dabei wird nicht selten festgestellt, dass die berechnete Anschlussleistung bis zu drei Mal höher als der tatsächliche Bedarf ist.

Für die elektrische Auslegung ist der Unterschied zwischen kVA und kW zu beachten (siehe auch ausführlicher im Anhang A.3.1). Formal handelt es sich um die gleiche physikalische Einheit, aber bei der Interpretation ist darauf zu achten, dass im Sprachgebrauch mit kW nur die Wirkleistung und mit kVA die Scheinleistung (Wirkleistung plus Blindleistung) bezeichnet wird. In einem Gleichspannungsnetz und bei reinen ohmschen Verbrauchern sind beide identisch. Brennstoffzellen sind Gleichspannungsquellen und es wird immer die Wirkleistung in kW angegeben.

Müssen elektrische Maschinen, wie z.B. Elektromotoren, versorgt werden, so sind außerdem hohe Anlaufströme zu berücksichtigen. Dadurch kann die Last kurzzeitig auf etwa das 3-fache der Nennlast steigen. Diese Spitzenlast muss durch die ESV-Anlage abgedeckt werden (siehe Abbildung 4-2). Bei BZ-ESV wird diese typischerweise durch die Stützbatterie abgefangen – für die Auslegung der BZ wird die Zeitmittelleistung herangezogen.

→ Weitere Informationen in Anhang A.3.1 und A.3.2

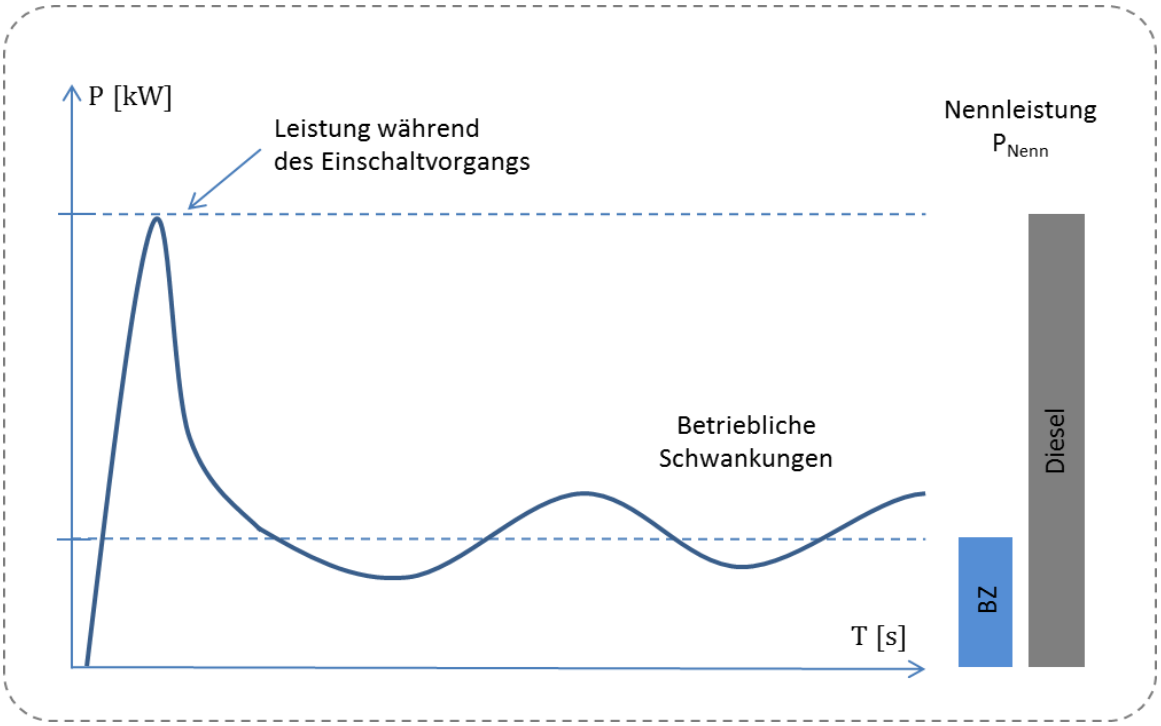


Abbildung 4-2: Schematische Darstellung eines Lastverlaufs und die resultierende Auslegung von BZ- und Diesel-ESV.

4.2 Laufzeit der ESV und Auslegung des Brennstoffspeichers

4.2.1 Ermittlung der Speichergröße auf Basis der ermittelten Leistung

Die Speichergröße des BZ-Systems bestimmt die maximale Laufzeit und kann über die ermittelte mittlere Leistung bestimmt werden.

Die erforderliche Speichergröße ergibt sich aus

- der gewünschten Laufzeit der Anlage und
- dem Verbrauch der Brennstoffzelle bei gewünschter Leistung. Die Verbrauchsdaten der BZ sind den Herstellerangaben zu entnehmen.

Speichergröße = Laufzeit der Anlage · Verbrauch der BZ bei mittlerer Leistung

Beispielhafte Speichergrößen für typische Systeme und Leistungsklassen sind in Tabelle 4-1 dargestellt. Die Berechnungsgrundlage findet sich in Anhang A.3.3.

Es ist zu beachten, dass die berechneten Laufzeiten die mindestens erreichbaren Laufzeiten darstellen. In der Regel wird die erreichbare Laufzeit deutlich höher sein, da hier eine Worst-Case-Betrachtung bei maximaler Lastabfrage zu Grunde gelegt wurde.

BZ-System	Brennstoff	Mittlere Last		Gewünschte Betriebszeit		Verbrauch BZ-System bei mittlerer Last		Benötigte Speichergröße und -anzahl	
PEM	Wasser-stoff	1	kW	24	h	0,06	kg/h	1,4 2	kg Flaschen
DMFC	Methanol (Direkt)	0,1	kW	24	h	0,09	l/h	2,2 1	L Kanister
SOFC	Flüssiggas	1	kW	24	h	0,20	kg/h	4,8 1	kg Flasche

Tabelle 4-1: Berechnung der Tankvolumina für verschiedene beispielhafte BZ-Systeme

Ein detaillierteres Berechnungstool zur Abschätzung der Speichermenge in Abhängigkeit von BZ-Typ, Betriebsdauer und Last ist in der Checkliste Teil 1 zum Leitfaden enthalten (Anhang A.5).

4.2.2 Speicher für den Testbetrieb

Einige ESV-Systeme, insbesondere USV-Anlagen für kritische Verbraucher, führen regelmäßige Selbsttests durch. Die Auslegung des Speichers sollte den Testbetrieb berücksichtigen. So kann beispielsweise ein zweistufiges Tanksystem verwendet werden, das einen kleineren Speicher für den Testbetrieb und einen größeren Speicher für den Notfallbetrieb vorhält. Dadurch wird der Füllstand des Notfallspeichers nicht durch regelmäßigen Testbetrieb belastet. Insbesondere bei Gasspeichern kann auf diese Weise ein vorzeitiger Tausch von teil-entleerten Gebinden vermieden werden. Der Speicher für den Testbetrieb kann dann bei Bedarf befüllt oder ausgetauscht werden. Die Auslegung erfolgt über die mittlere Leistung im Testbetrieb.

In Tabelle 4-2 ist beispielhaft die Auslegung für den Testbetrieb und den ESV-Betrieb einer Wasserstoff-PEM dargestellt. Dabei soll der Test alle 14 Tage für 15 Minuten gestartet werden. Der Speichertank soll bei einer im Testbetrieb vorhandenen mittleren Last von 500 W für eine Projektdauer von 5 Jahren ausreichen. Dafür ist eine 50 l Druckgasflasche (300 bar) ausreichend.

Einsatz des Speichertanks	Mittlere Last		Gewünschte Betriebszeit		Verbrauch Gesamtsystem		Benötigte Speicher-größe und -anzahl	
Testbetrieb	0,5	kW	0,25	h	0,03	kg/h	0,98 1	kg Flasche pro 5 Jahre
Ersatzstromversorgung	2	kW	72	h	0,12	kg/h	8,6 9	kg Flaschen pro Einsatz

Tabelle 4-2: Auslegung der Speicher für den Testbetrieb und für den ESV-Betrieb am Beispiel einer Wasserstoff-PEM

→ Weitere Informationen in Anhang A.3.3

4.3 Elektrotechnische Einbindung

4.3.1 Allgemeines

Alle Richtlinien, die für die Einrichtung und den Betrieb von Ersatzstromversorgungen gelten, sind ebenfalls bei BZ-ESV einzuhalten. Dazu gehört unter anderem

- die Trennung aller Phasen,
- keine Rückspeisung ins Netz oder
- die Vermeidung von Netzparallelbetrieb bei Probebetrieben.

Ebenso ist bei der Einbindung zu beachten, dass die Möglichkeit bestehen muss, am Hauptverteiler alle Anlagenteile – also auch die BZ-Anlage – stromlos zu schalten. Diese Abschaltung ist notwendig, damit alle Arbeiten gemäß den Normen und Richtlinien (siehe Abschnitt 18) durchgeführt werden können.

Für eine optimale Einbindung wird eine enge Absprache mit den Herstellern empfohlen.

4.3.2 Redundanz und Modularität

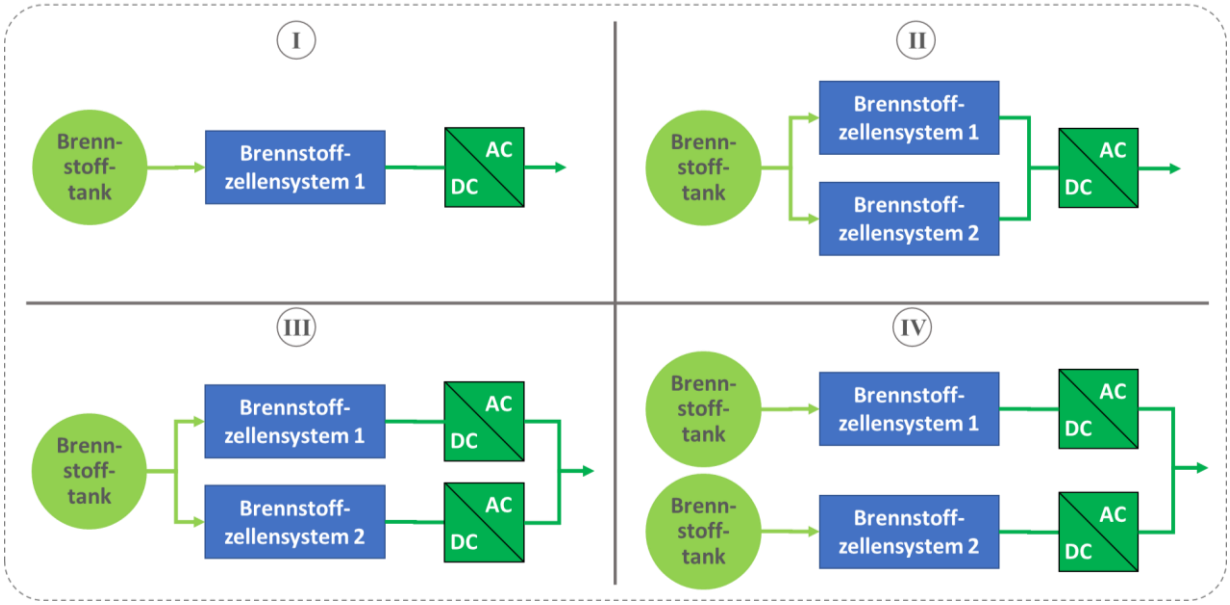


Abbildung 4-3: Unterschiedliche modulare Konzepte

Bei ESV-Anlagen sind Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit entscheidend. Beide lassen sich durch redundante Teilsysteme erhöhen. Ob eine redundante Auslegung Sinn macht, hängt von den Anforderungen des Anwenders ab. Redundanzforderungen sollten immer unter dem Aspekt der gesamten Kette an Abhängigkeiten betrachtet werden. Ist beispielsweise der notwendige Umschalter im Fall IV von Abbildung 4-3 nur einfach ausgeführt und alle nachgelagerten Komponenten (wie Wandler, Schütze, Heizung/Klima) ebenfalls, so wird dieser Teil der Anlage zum schwächsten Glied der Kette. Sinnvoll kann dies nur durch eine gesamtheitliche Betrachtung inklusive Berücksichtigung der Ausfallwahrscheinlichkeiten einzelner Komponenten gelöst werden.

In den meisten Anlagen ist die BZ-ESV bereits das redundante System zum Netzanschluss. Dennoch werden BZ-Systeme häufig modular aufgebaut (Fall II von Abbildung 4-3). Neben der zusätzlichen

Redundanz ergeben sich je nach Anwendung weitere Vorteile aus einem modularen Aufbau:

Wird durch Neuinstallationen auf der Verbrauchsseite die Last erhöht, kann dies durch Hinzufügen eines weiteren BZ-Moduls kompensiert werden. Dafür muss bei der Anlagenplanung die Infrastruktur, wie Gehäusegröße oder Luftzuführung ggf. bereits auf die größere Leistung ausgelegt werden. Folglich können konzeptionell Sicherheitszuschläge für spätere Erweiterungen und damit Kosten für das BZ-System verringert werden.

Modulare Konzepte zeigen zudem Vorteile bei Verbrauchern mit zeitlich stark unterschiedlichen Lastgängen, beispielsweise Sommer- und Winterbetrieb einer Heizung. Beim Einsatz von zwei Modulen muss in diesem Beispiel im Sommer nur ein Modul betrieben werden, wodurch einextremer Teillastbetrieb vermieden und die Anlageneffizienz verbessert werden kann. Die Um- bzw. Zuschaltung einzelner Module erfolgt dabei automatisch, je nach anliegender Last.

4.3.3 Beispiele möglicher Einbindungen von BZ ESV

Die folgenden Darstellungen sind stark vereinfacht und sollen nur einen prinzipiellen Überblick über mögliche Konfigurationen im netzgekoppelten Fall geben.

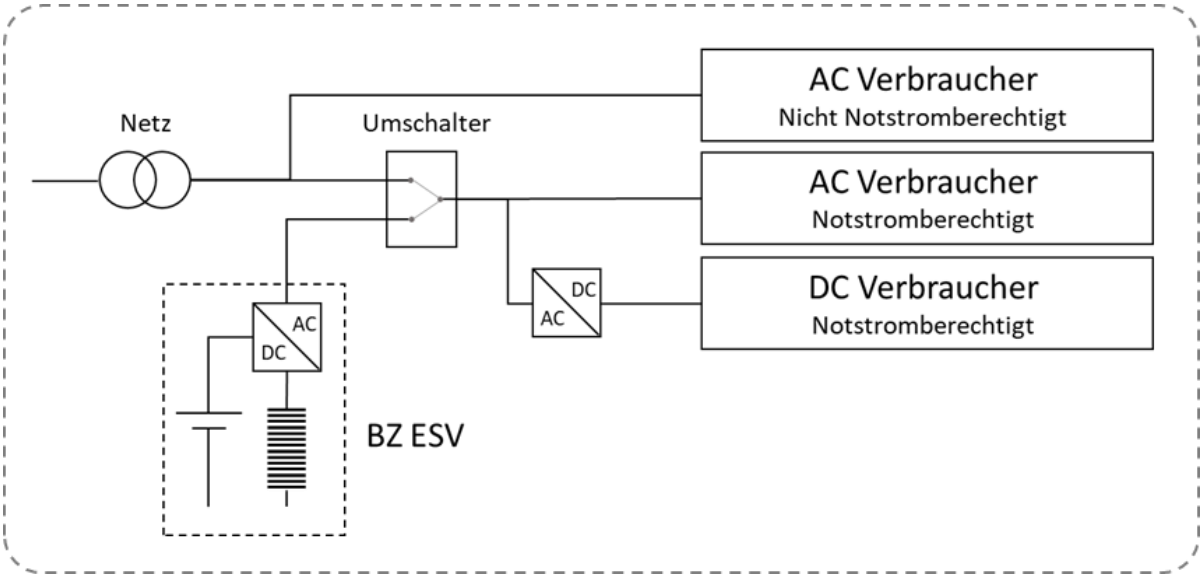


Abbildung 4-4: Beispiel einer Verschaltung zur Versorgung von AC und DC-Verbrauchern

In Abbildung 4-4 ist eine BZ-ESV mit einem DC/AC Wandler dargestellt. Hier wird, analog zu einer Diesel-NEA, ein Umschalter benötigt. Der Startvorgang der BZ-ESV kann zum Beispiel über einen Phasenwächter initiiert werden. Die Batterie stützt während des Startvorganges die Spannung und stellt die unterbrechungsfreie Stromversorgung sicher.

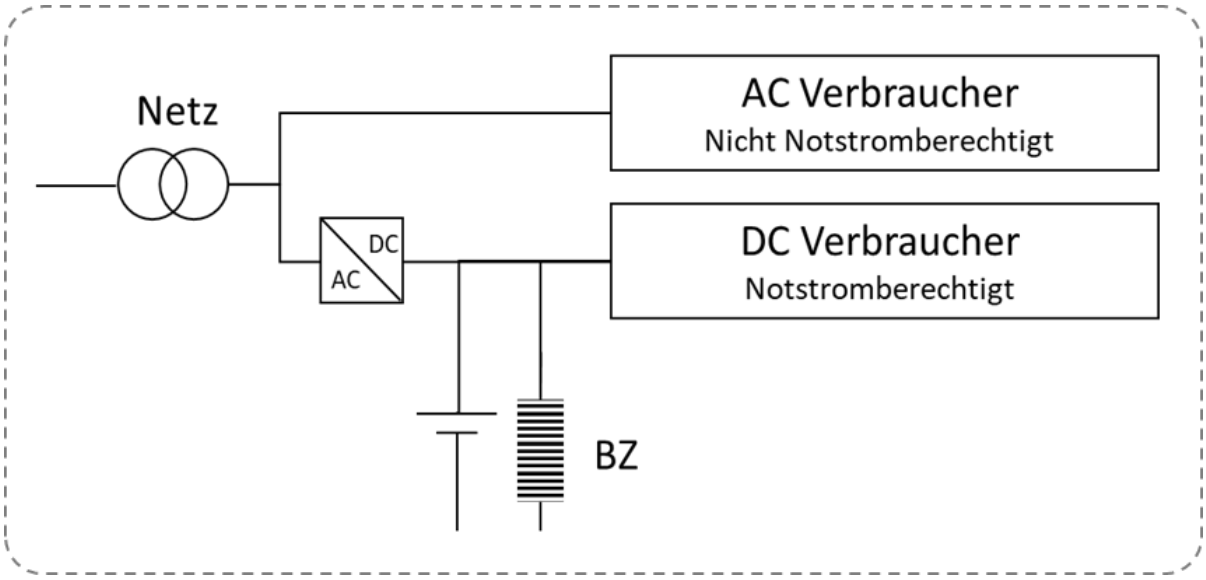


Abbildung 4-5: Beispiel einer Verschaltung zur Versorgung von reinen DC Verbrauchern

Müssen nur DC-Verbraucher versorgt werden, z.B. in Telekommunikationsanwendungen, lässt sich meist ein Wandler einsparen und ein deutlich einfacheres Konzept realisieren. BZ-System und Batterie liegen dann auf DC-Seite, wie in Abbildung 4-5 skizziert.

Die tatsächliche Realisierung ist u.a. von der Ausgangsspannung der Brennstoffzelle abhängig. Es kann auch hier günstiger sein einen zusätzlichen Hoch- bzw. Tiefsetzsteller einzusetzen.

4.3.4 Hinweis für Niederspannungsanwendungen und autarke Lösungen

Die Thematik der elektrischen Einbindung gestaltet sich einfacher – wie bei konventionellen Lösungen auch – wenn die Anlage

- nicht unter die Niederspannungsrichtlinie fällt, da die Nennspannung kleiner als 75 V DC ist oder
- nicht netzgekoppelt ist.

In der Regel sind hier die Anforderungen eher auf Dauerbetrieb und für autarke Lösungen ausgelegt. Die Brennstoffzelle erweitert in diesen Fällen meist eine PV-Anlage, um die Betriebssicherheit auch während Schlechtwetterperioden oder im Winter zu gewährleisten. Diese Brennstoffzellen laufen deutlich mehr Betriebsstunden und weniger zyklisch als in USV-Anwendungen.

4.3.5 Umschalter

Brennstoffzellen müssen – analog zu Diesel-Aggregaten – aktiv eingeschaltet werden. Dafür wird ein Auslöser benötigt. In Anlagen zur unterbrechungsfreien Stromversorgung kann dies z.B. ein Phasenwächter sein oder eine Leistungsentnahme an der Stützbatterie, auf Grund dessen ein Signal an die BZ-Steuerung weitergeleitet wird. Durch das Signal wird die Brennstoffzelle hochgefahren und übernimmt die Stromversorgung.

Soll ein Testbetrieb der BZ-ESV per Fernzugriff möglich sein – wie in den meisten Fällen gewünscht –

ist bei der Verschaltung darauf zu achten, dass das Netz sicher weg- und wieder zugeschaltet werden kann. Ein Netzparallelbetrieb bzw. eine Rückspeisung ins Netz ist analog zu Diesel-ESV nicht zulässig.

Geeignete Umschalter sind als Standardbauteile am Markt verfügbar. Dennoch zeigt die Erfahrung, dass es bei der Umschaltung, je nach Konfiguration der gesamten elektrischen Anlage, wiederholt zu vermeidbaren Fehlern gekommen ist.

4.3.6 Sicherungen

Im Falle eines Kurzschlusses muss sichergestellt sein, dass die Sicherungen zuverlässig auslösen. Der dafür notwendige Kurzschlussstrom I(t) kann nicht bei allen Systemen durch die Brennstoffzelle alleine bereitgestellt werden. Die notwendigen Abschaltströme können durch geeignete Wandler oder durch parallel geschaltete Batterien bereitgestellt werden.

In den Planungs- bzw. Ausschreibungsunterlagen sollten Angaben zu den geplanten Sicherungsautomaten bzw. zu den geforderten Abschaltströmen enthalten sein.

Hintergrund:
Dass der Kurzschlussstrom durch die Brennstoffzelle z.T. nicht bereitgestellt werden kann, liegt an der notwendigen Nachführung der Reaktionsgase, z.B. Luft in der Brennstoffzelle. Die hohen Ströme im Kurzschlussfall lassen die Spannung der Brennstoffzelle i.d.R. kurz einbrechen – ein typisches Abschaltkriterium. BZ Hersteller verwenden meist Strombegrenzer um diesen Vorgang zu vermeiden.

4.4 Auswahl der Brennstoffzelle und des Brennstoffs

Da viele unterschiedliche Kriterien des späteren Betreibers und der geplanten Anlage in die Auswahl eingehen, kann keine allgemein gültige Empfehlung für bestimmte BZ-Brennstoff Kombinationen gegeben werden. Zudem entwickeln die BZ-Hersteller ihre Produkte ständig weiter und zusätzliche kommerziell verfügbare Lösungen kommen auf den Markt. Die Hersteller im Clean Power Net können hier durch weiterführende Informationen unterstützen.

Dennoch gilt, dass auf Basis der benötigten Leistung und der geplanten elektrotechnischen Einbindung i.d.R. eine Vorauswahl von BZ und Brennstoff vorgenommen werden kann.

Kommen hierbei unterschiedliche Brennstoff- und BZ-Lösungen in die engere Auswahl, empfiehlt es sich den Aufwand für Brennstofftank und -logistik zu bewerten. Hierzu müssen auch weitere Randbedingungen des geplanten Aufstellungsortes berücksichtigt werden, unter anderem der verfügbare Platz für den Brennstoff.

4.5 Sicherheitskonzept

Die notwendigen Maßnahmen um eine sichere Anlage bzw. einen sicheren Betrieb zu gewährleisten, werden ausführlich in Teil 2 des Leitfadens behandelt. Die Umfänge der Maßnahmen für die Arbeits- und Betriebssicherheit unterscheiden sich nur unwesentlich von denen bekannter ESV Anlagen mit Diesel- oder Batterieaggregaten.

Generell sind bei allen Anlagen die gesetzlichen Bestimmungen zum Produkt- und Betriebssicherheitsrecht zu beachten (siehe Abschnitt 18).

4.6 Anlagenbeschreibung und Aufstellungskonzept

Für die Realisierung der Anlage ist eine Beschreibung mit allen Lieferschnittstellen und vorhandenen Informationen erforderlich. Das Dokument sollte mindestens folgende Informationen enthalten:

- elektrische Rahmenbedingungen und geplante Einbindung
- Beschreibung des Aufstellungsortes, z.B. vorhandener Platz
- weitere Hinweise wie z.B. Erreichbarkeit, Fernwartung, Naturschutzgebiet oder ähnliches

Die Beschreibung kann zur Kommunikation mit potentiellen Lieferanten genutzt werden und die Planung sukzessive weiter verfeinert werden. Klare Schnittstellen (Lasten- bzw. Pflichtenheft) unterstützen dabei eine kostengünstige Umsetzung.

Hieraus leiten sich dann die Detailplanung und die Aufstellungsplanung in Analogie zu konventionellen ESV ab.

5 Errichten

Grundsätzlich können BZ-ESV sowohl Indoor als auch Outdoor errichtet werden. In Abhängigkeit der äußeren Gegebenheiten müssen beim Errichten eines Brennstoffzellensystems einige Punkte berücksichtigt werden.

5.1 Indoor und Outdoor

Beim Einsatz innerhalb von Gebäuden wird angeraten, das BZ-System durch ein Gehäuse gegen äußere Einflüsse (z.B. Schutz gegen Berühren) zu sichern. Wie bei Batterie- und Diesel-Anlagen, ist für eine ausreichende Belüftung der Räumlichkeiten zu sorgen. Dies ist Teil des Sicherheitskonzeptes und wird in Teil 2 Abschnitt 9 ff. ausführlich behandelt. Je nach Hersteller und System sind ggf. Abluftströme zusätzlich abzuführen.

Bei Outdooranwendungen ist beim Entwurf des Gehäuses die Witterung zu beachten. So muss ein ausreichender Schutz gegenüber Schnee, Regen und Feuchtigkeit berücksichtigt werden. Wird die ESV-Anlage in einer sensiblen Umwelt (z.B. Natur- oder Wasserschutzgebiet) errichtet, sind bei umweltgefährdenden Brennstoffen Maßnahmen für den Fall eines ungewollten Austritts des Brennstoffs zu treffen. Dies kann bei Flüssigbrennstoffen wie Methanol - analog zu Dieselanwendungen - eine Auffangwanne bedeuten. Alternativ kann ein Brennstoff (und das entsprechende System) gewählt werden, der keine umweltgefährdenden Eigenschaften hat.

5.2 Baustellenlogistik

Die Brennstoffzelle erfordert keine gesonderten Maßnahmen für die Baustellenlogistik. Diese wird durch die Randbedingungen wie Gewichte und Maße der größten bzw. schwersten Einzelteile bestimmt.

Sollen entlegene Standorte ausgestattet werden, sind Hinweise auf die Erreichbarkeit für die Umsetzung wichtig - beispielsweise Steigungen im Gebirge oder enge Kehren bei der Zufahrt. Dies unterscheidet sich nicht von konventionellen ESV.

Für die spätere Brennstofflogistik kann es sinnvoll sein, errichtete Baustraßen nicht zurückzubauen.

6 Inbetriebnahme

Wie bei jeder ESV-Installation sind auch bei BZ-ESV besondere Maßnahmen bei der Inbetriebnahme zu beachten. Besonders bei großen und aufwendigen Anlagen bietet es sich an, Anlagenteile separat abnehmen zu lassen.
Um die Funktionalität sicherzustellen, müssen Funktionstests aller Anlagenteile - insbesondere sicherheitsrelevante Funktionen - durchgeführt werden. Zu den notwendigen Prüfungen siehe Abschnitt 15 bzw. Checkliste Teil 2. Dies umfasst z.B.

- die Dichtigkeitsprüfung der Brennstoffanlage oder
- die Umschaltung im Notstromfall.

Gegebenenfalls kann es sinnvoll sein, Brennstoffspeicher vorzubereiten. So können z.B. Tanks oder Flaschen an einem Zentrallager gespült und befüllt werden, so dass nach Montage allenfalls noch eine Dichtheitsprüfung durchgeführt werden muss.

7 Betrieb

Im Folgenden werden die Einzelheiten des Betriebs einer BZ-ESV im Einsatzfall sowie im Testbetrieb erläutert. Zudem werden Hinweise zur Wartung und Instandhaltung sowie zur Brennstofflogistik gegeben.

7.1 Einsatzfall

Bei einem Ausfall der Hauptstromversorgung gewährleistet die Stützbatterie der ESV die unterbrechungsfreie Stromversorgung. Sobald die Brennstoffzelle gestartet ist und die Nennleistung liefert, übernimmt sie die Stromversorgung. Weitere Spitzenlasten werden wiederum durch die Stützbatterie gedeckt. Je nach Gesamtkonzept wird die Batterie entweder direkt aus der BZ oder erst nach erneuter Netzverfügbarkeit aufgeladen. Die Betriebs- bzw. Überbrückungsdauer kann durch die Anpassung der Speichergröße (siehe Abschnitt 4.2) beliebig verändert werden.

Um während des Einsatzes Informationen über die Restlaufzeit bzw. den Restbrennstoff des Systems

abrufen zu können und um gegebenenfalls eine Leistungs- oder Fehlerdiagnose zu ermöglichen, kann die Realisierung eines Fernzugriffes auf die BZ-ESV sinnvoll sein.

Bei Änderungen am System sollte die mittlere Leistung im Betrieb sowie die erforderliche Brennstoffmenge erneut verifiziert werden.

7.2 Testbetrieb

Zur Sicherstellung des zuverlässigen Betriebs sowie zur Erhaltung der Funktionalität werden typischerweise regelmäßig automatisierte Testläufe durchgeführt. Die Testläufe können beispielsweise in einem zeitlichen Abstand von 14 Tagen stattfinden. Während des Tests werden einzelne Komponenten des Systems eingeschaltet und mit Strom aus der Brennstoffzelle betrieben. Der Testbetrieb sollte eine möglichst große Breite von Anwendungsfällen der ESV abdecken. Die Dauer des Selbsttests beträgt üblicherweise einige Minuten. Der Brennstoffverbrauch für den Testbetrieb kann anhand der Überlegungen in Abschnitt 4.2 abgeschätzt werden.

Die Intervalle und die Dauer der Selbsttests unterscheiden sich je nach Hersteller im Rahmen der bestimmungsgemäßen Verwendung.

7.3 Wartung & Instandhaltung

Grundsätzlich:
Bei der Planung ist darauf zu achten, dass die Voraussetzungen für die wiederkehrenden Prüfungen erfüllt sind:
Betreffende Teile sind zugänglich und sichtbar (z.B. Anschlüsse, Verteiler).
Der elektrische Anschluss ist so zu gestalten, dass die regelmäßigen Prüfungen für die Betriebssicherheit (siehe auch Abschnitt 15) möglich sind.

In der Regel bieten die BZ-ESV-Hersteller Vollwartungsverträge an. Damit übernehmen Sie die Verantwortung für die durchzuführenden Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten. Dies kann auch über eine Dienstleistungsgesellschaft erfolgen. Der Anbieter garantiert Reaktions- und Reparaturzeiten und kümmert sich um das Ersatzteilmanagement.

Ist dies nicht der Fall, muss der Betreiber der Anlage für die Einhaltung der wiederkehrenden Prüfungen sorgen. Hierzu sind u.a. zu beachten:

- Festlegung von Serviceintervallen / Prüffristen,
- Beschreibung der durchzuführenden Arbeiten (z.B. Dichtheitsprüfung),
- Notwendige Qualifikation der Servicemitarbeiter,
- ob Teile – und wenn ja, welche – durch eingewiesenes Personal getauscht werden dürfen (z.B. komplette Module)
- Geplante Ersatzteilhaltung

Besteht die Möglichkeit zur Fernwartung kann der Zustand der Anlage remote überwacht werden. Dies umfasst u.a. Füllstände des Brennstoffes, Anfahren zum Testbetrieb und ggf. die Auswertung von Fehlermeldungen.

7.4 Brennstofflogistik

Zum reibungslosen Ablauf der Brennstoffversorgung sind frühzeitig Beschaffungs- und Kommunikationswege zu klären. So sollte ein Lieferplan in Abhängigkeit des durchschnittlichen Verbrauchs und unter Berücksichtigung saisonaler oder betrieblicher Schwankungen (Winter/Sommer) für den Brennstoff erstellt werden.

Nach einer Nutzung der ESV im Stromausfall oder nach Testbetrieb, der über die bisher geplante Dauer hinausgeht, muss der verbrauchte Brennstoff ersetzt werden. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, entleerte Brennstoffgebinde zu tauschen, oder sie vor Ort wieder zu befüllen.

Es ist darauf zu achten, dass die Anlieferung durch geschultes Personal erfolgt, das den Brennstoff nachtanken bzw. Gebinde tauschen darf. Dadurch werden unnötige Fahrten zu Standorten vermieden. Hinweise zum Transport unter rechtlichen Bedingungen finden sich auch in Abschnitt 17.

Die Anlieferung an die einzelnen Standorte erfolgt je nach Erreichbarkeit des zu beliefernden Standortes und wird im Anhang A.3.5 veranschaulicht.

Speziell bei der Lagerung von flüssigem Brennstoff ist eine eventuelle Alterung oder Degradation des Brennstoffs zu berücksichtigen. Dies kann – wie im Fall von Diesel – zu einem erhöhten Aufwand bei der Brennstofflogistik führen.

→ Weitere Informationen in Anhang A.3.3. und A.3.4.

8 Zusammenfassung technische Beschreibung

Eine BZ-ESV unterscheidet sich an vielen Stellen nicht von konventionellen ESV. Letztlich liefert eine BZ-ESV ebenfalls „nur“ elektrische Energie. Die hohe Anlagenverfügbarkeit und die TCO-Vorteile der BZ stellen jedoch eine attraktive und wirtschaftliche ESV-Alternative dar. Zusätzlich kann die BZ bei Umweltaspekten punkten. Die Technologie ermöglicht z.B. den Einsatz in Wasserschutzgebieten ohne aufwändige zusätzliche Schutzmaßnahmen.

Um die TCO Vorteile zu heben, sind eine genaue Analyse der elektrischen Verbraucher und der Standortbedingungen unerlässlich. Eine Auslegung auf die Zeitmittelleistung und nicht wie konventionell auf die Spitzenleistung, kann hierbei zu wesentlichen Kosteneinsparungen führen.

Besonderheiten betreffen häufig den Brennstoff und damit einhergehende technische Regelwerke (siehe Teil 2 des Leitfadens). Praxiserfahrungen zur Umsetzung von BZ-ESV liegen bundesweit bereits hundertfach vor und die Anlagen sind erfolgreich im Betrieb.

Teil 2: Rechtliche Rahmenbedingungen

9 Einleitung

Der Autor weiß, dass es gerade vornehmlich technisch ausgebildeten Menschen in der Regel nicht so leicht fällt, sich mit Gesetzen und Normen zu befassen. Um dem entgegenwirken zu können, soll dieser Teil dazu ermuntern, sich selbst und systematisch ein allgemeines sicherheitstechnisch erforderliches, unternehmerisches Rechtswissen im Überblick, möglichst verständlich aneignen zu können; - und das, ohne alle Vorschriften im Einzelnen selbst gelesen zu haben!

Zugleich unterstützt das Dokument den Anwender dabei potenzielle Fehler vermeiden zu können und, sich ggf. beim weitergehenden Planen und Betreiben in den spezifischen Gesetzen und Normen selbst rechtssicher bewegen zu können.

Der Teil „Rechtliche Rahmenbedingungen“ wird die Bereitstellung der Produkte auf dem Markt (Inverkehrbringen), den Bau (Errichtung) sowie deren sicheren Betrieb, und zwar abgestimmt auf die speziellen Gegebenheiten von Brennstoffzellensystemen umfassen. Daneben sollen Hinweise auf parallel ggf. zu beachtende baurechtliche Belange gegeben werden.

Im Weiteren sollen festzulegende Anlagenprüfungen vor erstmaliger Inbetriebnahme bzw. nach prüfpflichtigen (sicherheitsrelevanten) Änderungen, die Wiederholungsprüfungen sowie die außerordentlichen Prüfungen betrachtet werden.

Anschließend werden transportrechtliche Aspekte dargelegt, die sich mit der Brennstoffversorgung der Systeme befassen.

Den Abschluss bildet eine Checkliste, die dazu beitragen soll, die zugehörigen sicherheitstechnischen Erfordernisse vor der Inbetriebnahmeprüfung hinsichtlich der zu erledigenden Aufgaben möglichst vollständig zu erfassen.

10 EU-Rechtssystem Produkt- und Betriebssicherheit

Das Arbeitsschutzrecht innerhalb der Europäischen Union gliedert sich vertragsgemäß in zwei Bereiche. Einerseits gibt es den Bereich, der dem Abbau von Handelshemmnissen innerhalb der Union dient. So wird die Verwirklichung eines diskriminierungsfreien gemeinschaftlichen Binnenmarktes erreicht. Nationale Markteintrittsbarrieren gibt es nicht mehr. Dieser Bereich umfasst die sogenannten „Binnenmarktrichtlinien“. Diese gemeinschaftlichen Rechtsakte treffen, dem Subsidiaritätsprinzip folgend, verbindliche Regelungen, die inhaltstreu in das jeweilige nationale Recht durch die Legislativorgane der Mitgliedsstaaten des EWR umzusetzen sind. Ermächtigungsgrundlage der EU für den Erlass derartiger Binnenmarktrichtlinien sind die Artikel 288 und 114 AEUV[1] [1]. Diese Richtlinien richten sich als sogenannte „Normadressaten“ vor allem an Hersteller von Produkten.

Der zweite Sektor des sicherheitstechnischen Rechts enthält Sozialstandards, um innerhalb der Union die Zusammenarbeit bezüglich sozialer Fragen zu fördern. Hierzu gehören unter anderem die Rechtsakte der Union, welche die Verbesserung der Arbeitsumwelt und den Schutz der Arbeitnehmer vor arbeitsbedingten Gefahren für ihre Gesundheit und die Sicherheit betreffen. Hierzu zählen die

[1] Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union - Vertrag von Lissabon

Vorschriften, die zum Beispiel das Betreiben von sicheren Produkten regeln, die sogenannten „Betriebsvorschriften“. Derartige Rechtsakte der Union stellen soziale Mindeststandards dar. Die nationalen Legislativorgane haben diese bei der Umsetzung in das Recht des jeweiligen Mitgliedsstaates zu übernehmen. Anders als bei den Binnenmarktrichtlinien können die Mitgliedsstaaten hier jedoch darüber hinausgehende Standards einführen. Das bedeutet: Sie dürfen bessere Rahmenbedingungen im Sinne des Arbeitnehmerschutzes rechtlich verankern. Die Rechtsgrundlage für derartige Rechtsakte bilden derzeit der Artikel 288 und der Artikel 153 AEUV [1]. Normadressaten sind hier die Betreiber oder Benutzer von Produkten, die auch Arbeitsmittel sein können.

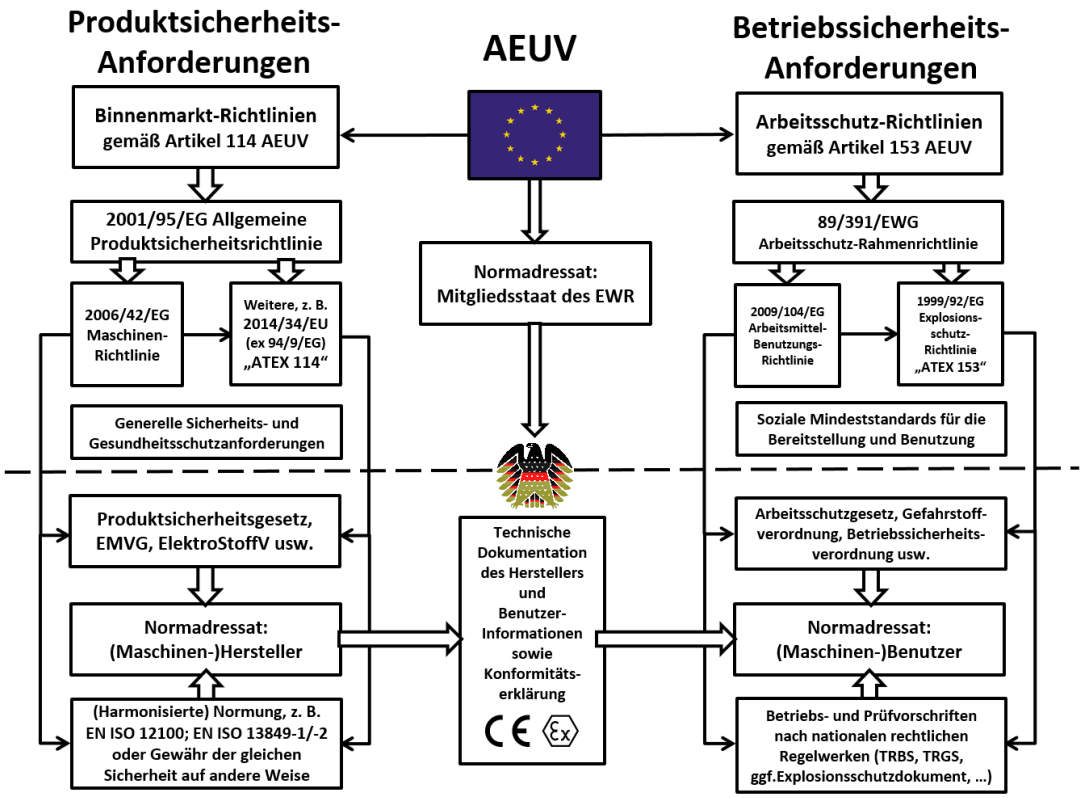


Abbildung 10-1: Rechtssystem der Produkt- und Betriebssicherheit im EWR und in Deutschland (Quelle: Kräft)

Die Umsetzung des EU-Rechts in Deutschland erfolgt auf Grundlage von Artikel 23 GG [16]. Ziel ist der grundgesetzlich garantierte Schutz von Leben und Gesundheit aller Menschen aus Artikel 2 Abs. 2 GG [16].

Hinweis: Im Bereitstellen und Betreiben sicherer Produkte auf dem Markt, ist das maßgebliche sicherheitstechnische Schutzniveau der „Stand der Technik“ (vgl. § 2 Absatz (10) BetrSichV [25]).[2]

[2] Der „*Stand der Technik*“ ist ein sehr hohes Maß an Sicherheit. Es ist nach dem noch höher angesiedelten „Stand von Wissenschaft und Technik“ (z. B. angewendet für Bau und Betrieb von atomrechtlichen Anlagen) der *zweithöchste Sicherheitsstandard*. Die schwächste sicherheitstechnisch standardisierte Form stellt der im Bauwesen oft angewendete „Stand der allgemein anerkannten Regeln der Technik“ dar. *Daher ist auch ein grundrechtlicher Bestandsschutz (Artikel 14 GG [16]) im Rahmen der Produkt- und Betriebssicherheit niemals rechtlich haltbar.* Im Lichte des Grundgesetzes betrachtet, lässt allein die Abstufung zwischen dem allgemeinen Menschenrecht aus

11 Bereitstellung sicherer Produkte auf dem Markt

Die Bereitstellung sicherer Produkte auf dem Markt bedingt als äußeres Erkennungszeichen die „CE-Kennzeichnung“. Geregelt wird das auf Basis des Europarechts nach der in allen Mitgliedsstaaten der EU unmittelbar rechtsverbindlichen Verordnung 765/2008/EG [2] in Verbindung mit dem zugehörigen und ergänzenden Beschluss 768/68/EG [3]. Hiernach soll das äußere Kennzeichen am Produkt, also quasi dessen „Reisepass“ im freien Warenverkehr des EWR das „CE-Zeichen“ nach Artikel 30 in Verbindung mit Anhang II VO 765/68/EG [2] sein.

Die CE-Kennzeichnung am Produkt sowie die zugehörige EU-Konformitätserklärung erklären, durch den Hersteller oder seinen Beauftragten ausgestellt, die Übereinstimmung eines auf dem Markt bereitgestellten Produkts mit allen relevanten Rechtsvorschriften der EU. Es wird daher den Betroffenen dringend angeraten, die Inhalte der EU-Konformitätserklärungen unbedingt zu prüfen und nachzuvollziehen!

Die CE-Kennzeichnung und die EU-Konformitätserklärung dürfen immer nur dann an einem Produkt angebracht werden, wenn auch ein dementsprechender Rechtsakt dies verbindlich für das betreffende Produkt vorschreibt. **In allen anderen Fällen darf diese Kennzeichnung nicht angebracht werden**.

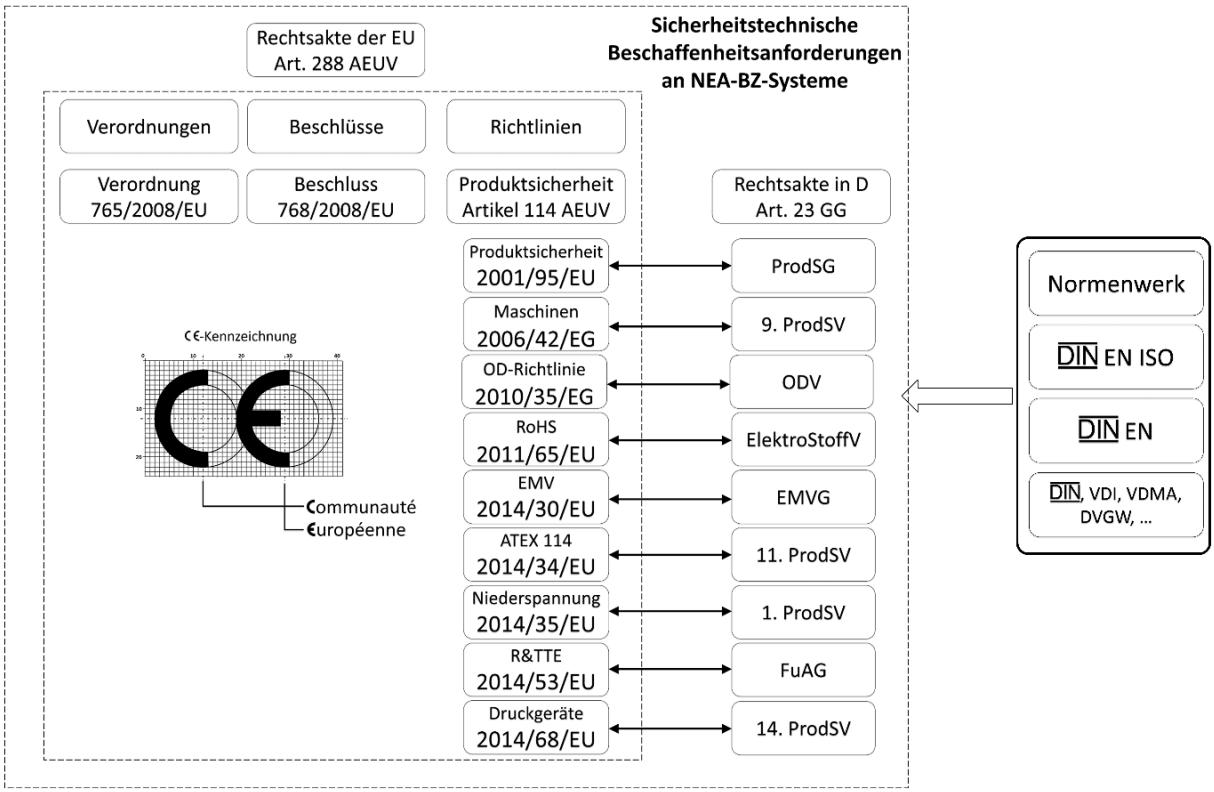


Abbildung 11-1: Überblick aktuelle Rechtsvorschriften - Beschaffenheitsanforderung (Produktsicherheit) nach 18.1 (Quelle: Kräft)

Vorstehende Abbildung gibt den Anwendern dieses Leitfadens in Bezug auf Brennstoffzellenanlagen allgemein eine Übersicht über die für das sichere Bereitstellen derartiger Systeme auf dem Markt ggf.

Artikel 2 Absatz (2) GG zum „Schutz der körperlichen Unversehrtheit" und dem grundgesetzlich geschützten Eigentumsschutz nach Artikel 14 GG lässt erkennen, dass die Sicherheitstechnik keinen nachrangigen Bestandsschutz garantieren kann.

anzuwendenden Rechtsvorschriften. Die jeweils produktbezogenen Vorschriften müssen alle auch in einer EU-Konformitätserklärung in der jeweils zum Zeitpunkt der erstmaligen Bereitstellung des Produktes (definiert als Inverkehrbringen) geltenden Fassung aufgelistet sein. Auch wenn die Benennung der nationalen Umsetzung zur Produktsicherheit inhaltsgleich in allen Mitgliedsstaaten erfolgt, so ist doch die daraus folgende Bezeichnung der Gesetze in allen Mitgliedsstaaten des EWR national unterschiedlich. Daher wird dem Hersteller empfohlen, den jeweiligen EU-Rechtsakt im Rahmen der EU-Konformitätserklärung zu benennen. Werden Rechtsakte nur teilweise angewendet, so ist im Rahmen der Konformitätserklärung zu benennen, welcher Teil Anwendung gefunden hat. So kann es sein, dass Komponenten des Gesamtsystems z. B. geeignet sein müssen, für die bestimmungsgemäße Verwendung in explosionsfähiger Atmosphäre im Sinne der Richtlinie 2014/34/EU [11], weil der Gesetzgeber das so vorgibt (z. B. bei verwendeten Gaswarneinrichtungen, auch wenn diese nicht in einem explosionsgefährdeten Bereich eingesetzt sind). Dann ist das als Bestandteil der Konformitätserklärung auch auszuweisen. Dazu gehört jedoch dann ergänzend, beispielsweise als Fuß- oder Endnote, der Hinweis für welche Komponenten die Anforderungen dieser Rechtsvorschrift gegeben sind, und dass das Gesamtsystem deswegen nicht als solches auch geeignet ist, für den Einsatz in explosionsfähiger Atmosphäre.

Ebenso ist die Anwendung der EG-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG [7] obligat bezüglich herstellerseits vorzunehmender Risikobeurteilung. Insoweit stellt die Maschinenrichtlinie eine gesetzliche Querschnittsnorm dar, zu der andere spezialrechtliche Rechtsakte dann in Bezug auf das Produkt hinzukommen können.

Zu den jeweiligen Rechtsakten der EU, die eine Konformitätserklärung vorsehen, sind im Amtsblatt der Union jeweils zugehörige Listen harmonisierter Normen (EN Normen) veröffentlicht. Der Gesetzgeber leitet daraus ab, dass bei Anwendung dieser Normen bei Konstruktion und Bau des Produkts die Vermutung besteht, dass das resultierende Produkt dann konform zum aktuellen EU-Rechtsstandard ist (sogenannte „Vermutungswirkung“). Wenngleich die Anwendung harmonisierter Normen nicht rechtsverbindlich ist, so ist bei einem Abweichen von der Norm ggf. der Nachweis zu erbringen, dass mindestens die gleiche Sicherheit auf andere Weise erbracht wurde. Im Übrigen bedeutet auch die Anwendung eines harmonisierten Spezialstandards („C-Norm“) nicht, dass eine Risikobeurteilung hierfür entfallen darf.

Alle EU-Rechtsakte können im Übrigen kostenfrei in allen Amtssprachen der Union auf den Webseiten der EU verfügbar und die Inhalte sind für alle Anwender ohne Sprachbarriere unmittelbar übertragbar und verständlich (http://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=de).

11.1 Konstruktion eines „sicheren Produkts“ und Normung

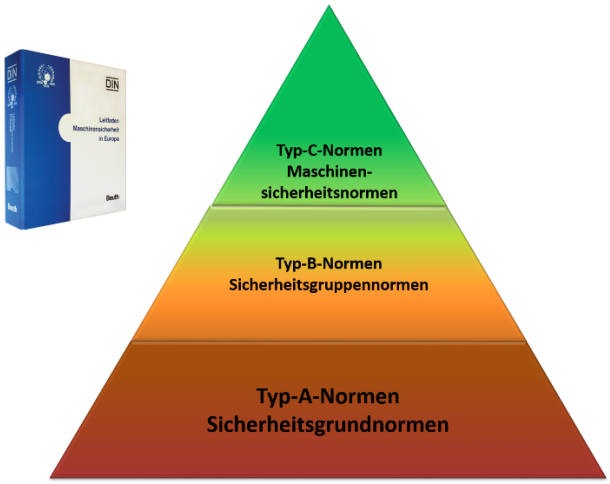
Normen zur Sicherheit von Maschinen und Geräten werden hierarchisch in drei Kategorien eingeteilt:

Die sogenannten **Typ-A-Normen** (Sicherheitsgrundnormen) behandeln Grundbegriffe, Gestaltungsleitsätze und allgemeine Aspekte, die auf alle Maschinen gleichermaßen angewandt werden können („horizontale Normung“).

Typ-B-Normen (Sicherheitsfachgrundnormen, Sicherheits-Gruppennormen) behandeln entweder Sicherheitsaspekte, die eine ganze Reihe von Maschinen betreffen (**Typ-B1-Norm**: z. B. Sicherheitsabstände, Gefahrstoffe, Geräusche, Strahlung, Oberflächentemperatur, ergonomische Gestaltung) oder eine bestimmte Art von Schutzeinrichtungen, die für verschiedene Maschinen verwendet werden können (**Typ-B2-Norm**: z. B. Zweihandschaltungen, Verriegelungseinrichtungen, druckempfindliche Schutzeinrichtungen, trennende Schutzeinrichtungen, Signale und Stellteile, Steuerungen, Zugänge zu/in Maschinen). Falls für eine bestimmte Maschine keine produktspezifische Norm vorhanden ist oder Gefährdungen zu betrachten sind, die darin nicht behandelt werden, dienen die Festle-

gungen entsprechender **Typ-B-Normen** dazu, die grundlegenden Anforderungen an eine besondere Maschine näher zu spezifizieren.

Typ-C-Normen (Maschinensicherheitsnormen, Sicherheits-Produktnormen) behandeln detaillierte Sicherheitsanforderungen an eine bestimmte Maschine oder Gruppe von Maschinen („vertikale Normung“). Üblicherweise verweisen **Typ-C-Normen** soweit wie möglich auf die Festlegungen der hierarchisch übergeordneten Typ-A- und Typ-B-Normen. Darüber hinaus werden maschinenspezifische Festlegungen getroffen.



DIN EN 414

Sicherheit von Maschinen; Regeln für die Abfassung und Gestaltung von Sicherheitsnormen; Deutsche Fassung EN 414:2000 (2000-10)

"**Typ A-Normen** (Sicherheitsgrundnormen) enthalten Grundbegriffe, Gestaltungsleitsätze und allgemeine Aspekte, die für alle Maschinen, Geräte und Anlagen gelten."

"**Typ B-Normen** (Sicherheitsgruppennormen) behandeln einen Sicherheitsaspekt oder eine Art von sicherheitsbedingten Einrichtungen, die für eine ganze Reihe von Maschinen, Geräten und Anlagen verwendet werden können. ...„

- **Typ-B1-Normen: Spezielle Sicherheitsaspekte** (z. B. Sicherheitsabstände, Oberflächentemperaturen, Lärm).
- **Typ-B2-Normen: Sicherheitsbezogene Einrichtungen** (Beispiele: Zweihandschaltungen, Kontaktmatten,trennende Schutzeinrichtungen, Verriegelungseinrichtungen, ...)

"**Typ C-Normen** (Maschinensicherheitsnormen) enthalten detaillierte Sicherheitsanforderungen für eine bestimmte Maschine oder Gruppe von Maschinen. ...

Abbildung 11-2: Normungskonzept der Maschinensicherheit (vgl. Leitfaden Maschinensicherheit in Europa 28. Erg.-Lieferung Juni 2008)

11.2 „Geführte Vorgehensweise“

Abbildung 11-3: Der Weg zum sicheren Produkt (vgl. Leitfaden Maschinensicherheit in Europa 28. Erg.-Lieferung Juni 2008)

Unter dem Begriff Produktsicherheit versteht man die ganzheitliche sicherheitstechnische Betrachtung der Fähigkeiten eines Produkts (einer Maschine), bestimmungsgemäß vorgesehene Funktionen während des gesamten Produktlebenszyklus bei gleichzeitigem Erreichen eines möglichst geringen gesundheitlichen Restrisikos. Ziel des europäischen Regelwerkes für Maschinen und vergleichbare technische Erzeugnisse ist es, Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Minimierung davon ausgehender Gefahren sicherzustellen. Daher existieren in Europa für das Ermitteln, Anwenden und Überprüfen erforderlicher sicherheitstechnischer Maßnahmen neben präzisen Regelungen auch ebenso klare methodische Ansätze.

Hinter der Ausstellung der EU-Konformitätserklärung des Herstellers steht die unmittelbare Übernahme der Produkthaftung (als verschuldensunabhängige Gefährdungshaftung) für die Marktbereitstellung des Produkts seitens des Herstellers und/oder seiner in der EU ansässigen Beauftragten (bei Drittlandsprodukten).

11.3 Gestaltung sicherer Brennstoffzellensysteme

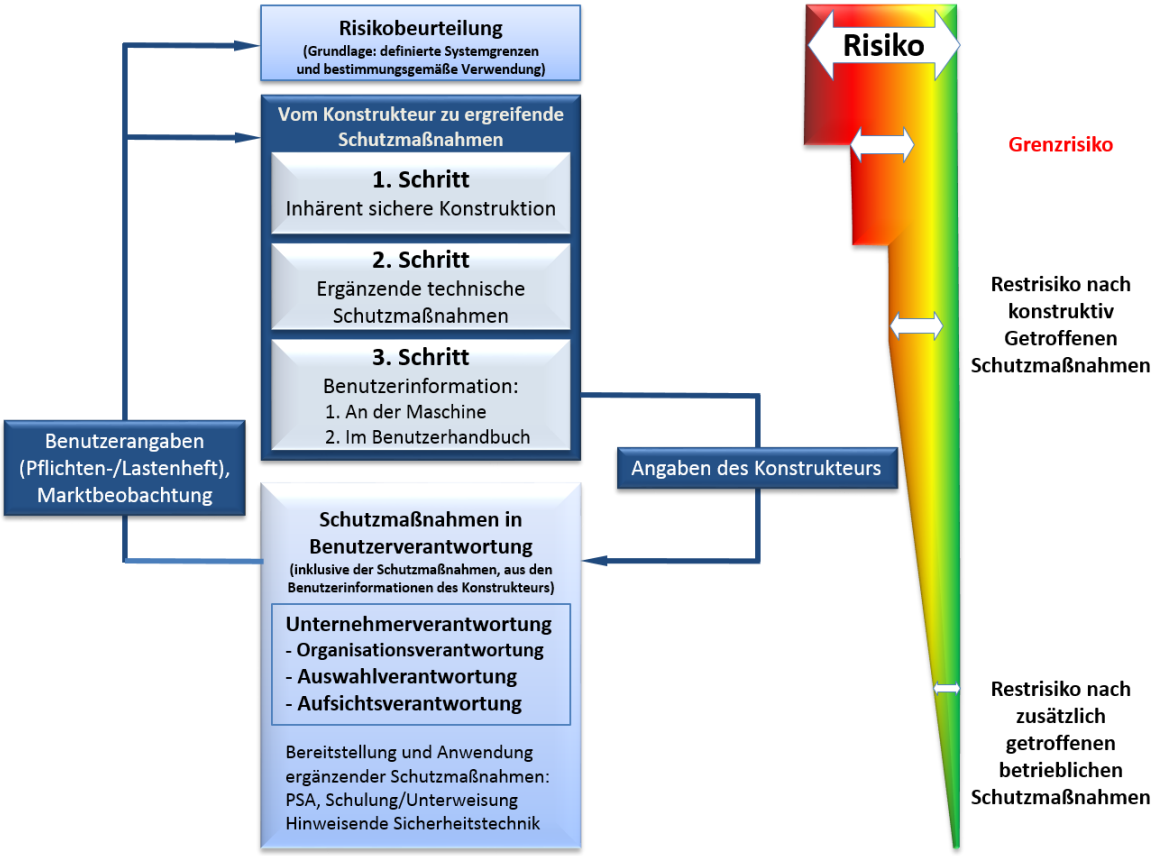


Abbildung 11-4: Produktsicherheit im Zusammenhang zwischen Hersteller und Benutzer zur Risikominderung (Quelle: Kräft, in Anlehnung an DIN EN ISO 12100:2011)

Das sicherheitstechnische Risiko ist als mathematische Funktion definiert (Produkt von Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit). Aus dem Ergebnis der Risikobeurteilung im Sinne der Produktsicherheit werden alle erkannten Gefährdungen über den gesamten Produktlebenszyklus für sicherheitsrelevante Gefahren nach Gefährdungskatalog identifiziert, die zu einer Gefährdung werden können (Hinweis auf DIN EN ISO 12100:2011 in Verbindung mit DIN EN ISO 13849-1:2016 und DIN EN ISO 13849-2:2013 zur funktionalen Sicherheit sicherheitsrelevanter Elemente und deren Vali-

dierung – Stichwort: „Performance Level“ - PL). Eine Gefährdung ist sicherheitstechnisch definiert als das örtliche und zeitliche Zusammentreffen eines Menschen mit einer Gefahr. Dabei sind auch vernünftigerweise erwartbare Fehlbenutzungen zu berücksichtigen.

Die Ziele der Risikobeurteilung des Herstellers sind im Zusammenspiel mit den Nutzern:

- die Ermittlung und Erzielung der sicheren bestimmungsgemäßen Verwendung,
- die Identifizierung sicherheitsrelevanter Steuerungsfunktionen,
- die Festlegung der erforderlichen funktionalen Sicherheit der sicherheitsrelevanten Steuerungsfunktionen (Risikograph nach DIN EN ISO 13849-1:2016),
- die Gewährleistung und Validierung (DIN EN ISO 13849-2:2013) dieser Sicherheitsfunktionen (PL),
- die Erzielung eines möglichst weit unter dem toleranten Grenzrisiko liegenden Restrisikos,
- die Erstellung der erforderlichen Benutzerinformationen inklusive Bedienungsanleitung,
- das Bereitstellen eines sicheren Produktes auf dem Markt.

Der Benutzer hat grundsätzlich keinen gesetzlichen Anspruch darauf, dass ihm die Risikobeurteilung des Herstellers ausgehändigt wird. Jedoch kann dies bereits im Ausschreibungsverfahren mit einfließen lassen, sodass sich hieraus eine Vertragsklausel herleiten lässt (Stichwort: Lasten- bzw. Pflichtenheft[3]). Ein akzeptabler und erprobter Weg für beide Vertragspartner kann die Vorlage eines detaillierten Sicherheitskonzepts des Herstellers während der Ausschreibung sein.

12 Betriebssicherheit

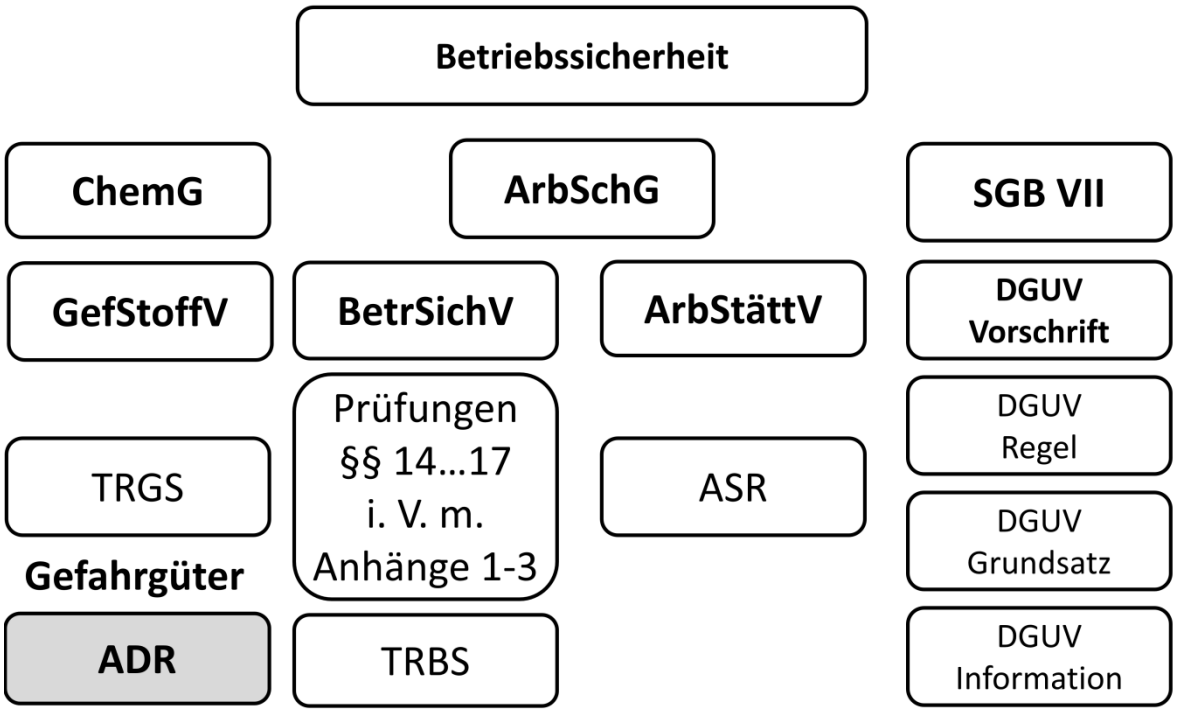


Abbildung 12-1: Rechtsgebiet Betriebssicherheit, vgl. 18.2.3 (Quelle Kräft)

[3] Das Pflichtenheft beschreibt in konkreter Form, wie der Auftragnehmer die Anforderungen des Auftraggebers zu lösen gedenkt – das sogenannte wie und womit. Der Auftraggeber beschreibt vorher im Lastenheft möglichst präzise die Gesamtheit der Forderungen – was er entwickelt oder produziert haben möchte.

Die entscheidende sicherheitstechnische Ergänzung beim Betrieb der auf dem Markt bereitgestellten Produkte bieten die Vorschriften über die Betriebssicherheit. Im Zusammenspiel mit dem Produktsicherheitsrecht, welches dafür Sorge zu tragen hat, dass grundsätzlich nur sichere Produkte auf dem Markt bereitgestellt werden, wird hier durch die auf der Betreiberseite verpflichtenden Maßnahmen zum Schutz Beschäftigter und ggf. Dritter ein zusätzliches Absenken des produktseitig erzielten Restrisikos möglich.

Was für den Hersteller die Risikobeurteilung darstellt, ist für den Anwender auf betrieblicher Seite die Gefährdungsbeurteilung (genauer die „Beurteilung der Arbeitsbedingungen“).

Sie zählt bereits seit 1996 zu den rahmenrechtlich gesetzlich verbindlich verankerten Grundpflichten des Arbeitgebers (§§ 4… 8 ArbSchG [24]), die ebenfalls auf EU-Recht basieren.

Arbeitgeber haben in Ergänzung zur Risikobeurteilung für die zur Verfügung gestellten Arbeitsmittel eine umfassende arbeitsplatz- und tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung vorzunehmen. Das Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung ist – analog zur Risikobeurteilung – zu dokumentieren. Im Ergebnis ist eine Betriebsanweisung zu erstellen, anhand derer die Beschäftigten in einer für sie verständlichen Form zu unterweisen sind.

13 Sicherheitstechnische Vorgehensweise

Abbildung 13-1: Risiko- und/oder Gefährdungsbeurteilung und ggf. Zündquellenanalyse (Quelle: Kräft)

Gefahren und potenzielle Gefährdungen sind zu analysieren, zu bewerten und nach Schutzzielsetzung mit entsprechenden Gegenmaßnahmen, auf ein hinreichendes Restrisiko zu senken. Dabei kommen die oben genannten potenziellen Gefahren in Betracht. Für den Fall, dass aufgrund von verwendeten Brennstoffen bei Brennstoffzellensystemen – in Analogie zu Diesel-NEA - potenzielle

Brand- und Explosionsgefährdungen nicht sicher verhindert werden können, haben die Hersteller und Betreiber das Wirksamwerden von Zündquellen zu vermeiden. Dabei sind alle potenziellen 13 Zündquellen bezogen auf den jeweiligen Brennstoff der Brennstoffzellensysteme zu analysieren, zu bewerten, und sicher zu verhindern.

14 Rangfolge der Schutzmaßnahmen

In beiden Rechtsgebieten, also der Produkt- und der Betriebssicherheit, gilt es dabei, die sogenannte sicherheitstechnische „Rangfolge der Schutzmaßnahmen“ zu realisieren.

Abbildung 14-1: Darstellung der Rangfolge der Schutzmaßnahmen STOP-Prinzip (Quelle: Kräft)

Hiernach hat sowohl der Hersteller als auch der Betreiber von Produkten zunächst Gefährdungen auszuschließen bzw. zu vermeiden. Anlagenseitig ist dies vorrangig vor allen anderen Maßnahmen, durch innewohnende oder inhärente Sicherheit zu realisieren. Im Bereich der Gefahrstoffverwendung gilt hier die Substitution oder der Austausch bzw. die Verwendung weniger gefährlicher Verwendungsformen. Kann das nicht erzielt werden, so ist eine Nachrüstung mit technischen Mitteln (geeignete trennende oder nichttrennende Schutzeinrichtungen) vorzunehmen. Erst wenn das nicht nach dem Stand der Technik zum hinreichend niedrigen Restrisiko führt, sind zusätzliche organisatorische Maßnahmen zu ergreifen. Alle Maßnahmen, die hier beginnen, sind vom menschlichen Verhalten abhängig und somit niemals fehlerfrei und zuverlässig. Der Einsatz von Individualschutzmaßnahmen ist schließlich die letzte und am wenigsten zuverlässigste Methode, um hinreichende Sicherheit gewährleisten zu können. Darunter fällt auch die hinweisende Sicherheitstechnik (Beschilderung).

14.1 Umsetzung in der Brennstoffzellentechnologie (Brennstoffhandhabung)

Unabhängig vom verwendeten Brennstoff (Wasserstoff (H_2), Flüssiggas (LPG, DIN-Propan[4] C_3H_8) oder Methanol (CH_3OH bzw. CH_4O) kann festgestellt werden, dass diese Stoffe für sich in Reinform nicht in der Lage sind explosionsfähige oder brennbare Atmosphären zu bilden. Das gilt natürlich nur, solange es unter anderem an einem Oxidationsmittel oder dem richtigen Dispersionsgrad des Gemisches oder dem Erreichen der Mindestverbrennungstemperatur oder dem Vorhandensein einer geeigneten Zündquelle für das Initiieren der Redoxreaktion fehlt (Verbrennungsfünfeck). Ist eine dieser zur Reaktion erforderlichen Voraussetzungen nicht gegeben oder wird entfernt, so ist ein Brand oder eine Explosion nicht möglich:

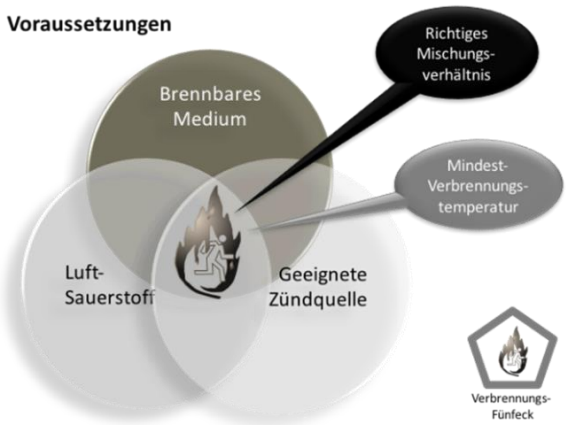


Abbildung 14-2: Verbrennungsfünfeck (Quelle: Kräft)

Man spricht dann vom „Löschen“.

Daher muss, entsprechend der Rangfolge der Schutzmaßnahmen, zunächst einmal dafür gesorgt werden, dass die bereitgestellten Systeme die Bildung explosionsfähiger Atmosphären sicher verhindern können. Erreicht werden kann das durch technische Dichtheit von Brennstoffzellenanlagen. Nur wenn die Gefährdungsvermeidung nach dem Stand der Technik nicht sicher vorgenommen werden kann, sind Maßnahmen des Brand- und Explosionsschutzes erforderlich.

In fast allen Fällen kann aus der betrieblichen Praxis und konstruktiven Erfahrung heraus festgestellt werden, dass bei Brennstoffzellen die Bildung von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre (geA) verhindert werden kann bzw. bis auf ein Minimum reduzierbar ist. Nachvollzogen kann dies für nicht erfahrene Planer und Errichter anhand des Beispiels des Kraftfahrzeuges und seines Motors. Dessen bestimmungsgemäße Verwendung ist, dass durch Zündung von möglichst idealen Brennstoff-/Luft-Gemischen die Arbeit des Motors verrichtet wird, um das Fahrzeug zu bewegen. Deshalb gibt es weder im Motorraum noch in der Fahrgastzelle Gaswarneinrichtungen oder eine Zoneneinteilung, noch ist das Fahrzeug geeignet für den Einsatz in explosionsfähiger Atmosphäre. Diese Betriebsweise entspricht eben der bestimmungsgemäßen Verwendung der erforderlichen Verbrennungskraftmaschine. Das Gefahrstoffrecht sieht zur Vermeidung von Brand und Explosionsgefährdungen analog vor:

Maßnahmen gemäß § 11 in Verbindung mit Anhang I Nr. 1 GefStoffV bei Brand- und Explosionsgefährdungen

Verhinderung der Bildung explosionsfähiger Gemische	Verhinderung der Entzündung explosionsfähiger Gemische	Explosionswirkungen beschränken
- Ersatzstoffeinsatz - Gefahrstoffmengenbegrenzung - Gefahrstofffreisetzung verhindern (Störfallverhinderung) - Vermeidung gefährlicher Zustände (z. B. Über-/Unterdruck, Korrosion, Überfüllung) - Sichere Schnellabschaltung gefährlicher Stoffströme vorsehen - Vermeidung reaktiver Mischungen - Soffaustrittserfassung an deren Quelle vorsehen	- **13 Zündquellen** analysieren/bewerten (TRBS 2151 Teil 3 bzw. DIN EN 1127-1:2011) - **P003** Keine offene Flamme; Feuer, offene Zündquelle und Rauchen verboten - **D-P006** Zutritt für Unbefugte verboten - **Einteilung und Kennzeichnung der Bereiche:** explosionsgefährdete Bereiche in „Zonen“ **(W021)** bzw. in explosivstoffgefährdete „Bereiche“ **(W002)** P003 D-P006 W021 W002	- **Explosionsfeste Bauweise:** - explosionsdruckfest Bauart oder - explosionsdruckstoßfeste Bauart - Geeignete Lösch- oder Explosions-Unterdrückungseinrichtungen vorhalten - Brand- und explosionsgeschützte Arbeitsplatz- und Arbeitsmittelgestaltung - Flucht- und Rettungswege optimieren - Explosionsschutz-Zonen-Pläne erstellen - Auswahl geeigneter Arbeitspersonen - Arbeit unter Sicherheit (AuS) - Regelmäßige Unterweisungen - PSA

Geeignete ständige Überwachung der ausgewählten Maßnahmen
Spezialvorschriften zur Lagerung beachten (z. B. TRGS 509, 510, 520, 800; TRBS 3145, TRBS 3146); Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung vorsehen (ASR A 1.3) W021

Abbildung 14-3: Maßnahmen der Gefahrstoffverordnung bei potenziellen Brand- und Explosionsgefährdungen (Quelle: Kräft)

[4] DIN 51622:1985-12: Flüssiggase; Propan, Propen, Butan, Buten und deren Gemische; Anforderungen

Im Zusammenspiel mit dem Produktsicherheitsrecht ergibt sich das sogenannte integrierte Explosionsschutzkonzept:

Abbildung 14-4: Integriertes Explosionsschutzkonzept (Quelle: Kräft)

Ein weiterer Vorteil die Bildung von geA konsequent nach dem Stand der Technik mittels sogenannter „primären Explosionsschutzmaßnahmen“ zu vermeiden, besteht darin, dass eine Zündquellenvermeidung infolgedessen nicht stattzufinden braucht. Wichtige Hinweise, wie zur Anlagendichtheit, sind z. B. der TRGS 500 [40] zu entnehmen. Nur wenn sich die Bildung von geA nach dem Stand der Technik nicht sicher verhindern lässt, ist es erforderlich, Zündquellenvermeidung konsequent zu betreiben, und zwar für alle dreizehn potenziellen Zündquellen:

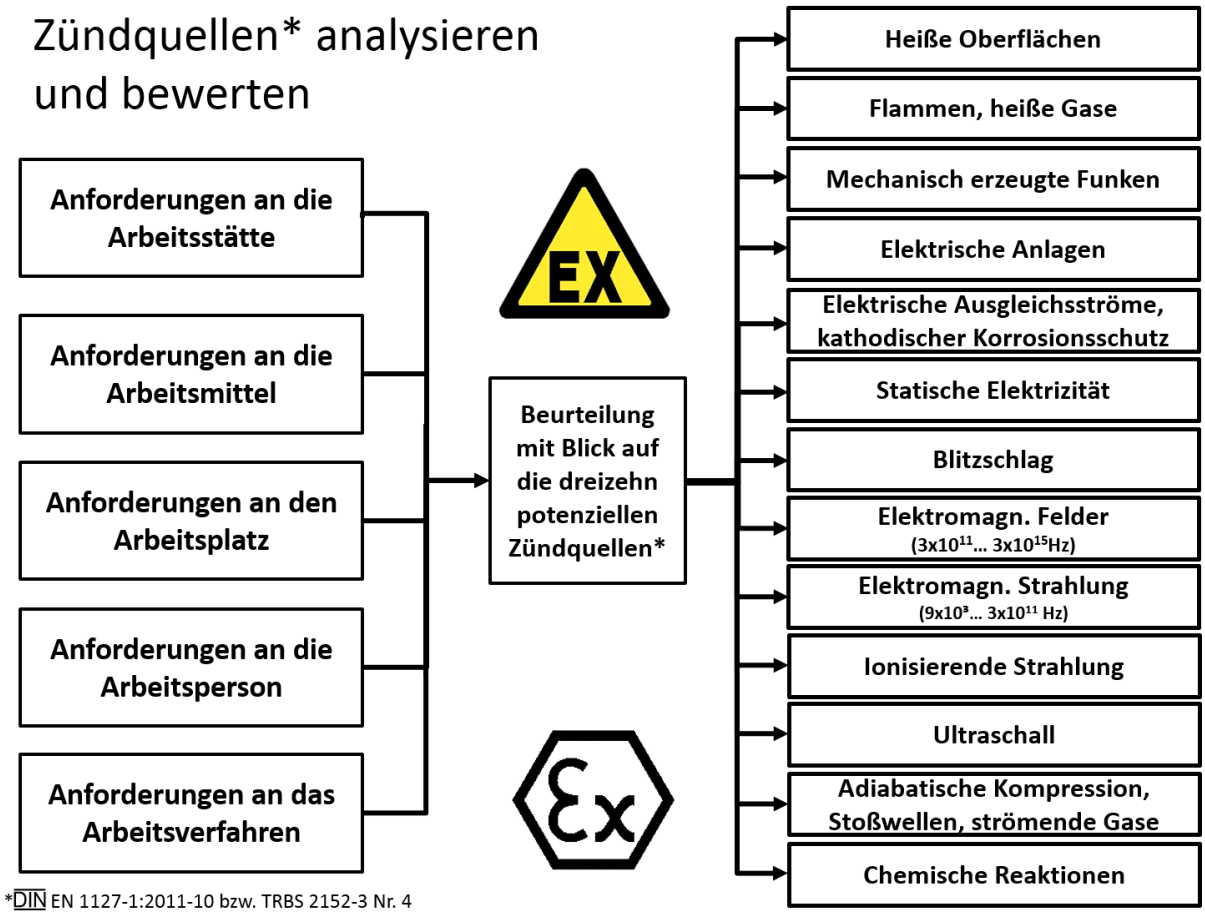


Abbildung 14-5:Zündquellenanalyse und -bewertung zur Zündquellenvermeidung des sekundären Explosionsschutzes (Quelle: Kräft)

Hinzu kommt, dass es sich bei Produkten oder entsprechenden Sicherheits–, Kontroll–- und Regelvorrichtungen im Sinne der Explosionsschutz-Produkte-Richtlinie 2014/34/EU [11] (ATEX 114) oder der 11. ProdSV [22] als deren nationaler Umsetzung in Deutschland, und zwar ausnahmslos, um sogenannte „überwachungsbedürftige Anlagen“ im Sinne von § 2 Nr. 30 lit. f) ProdSG [17] handelt. Diese erfordern eben ständige Prüfmaßnahmen zur Aufrechterhaltung der Funktionssicherheit, sondern schränken die Nutzer im Zweifel auch in Ihrer Arbeitsfähigkeit nicht unerheblich ein. Gerade das darf bei Schutzmaßnahmen aber grundsätzlich nicht der Fall sein.

14.2 Explosionsgefährdete Bereiche möglichst vermeiden

Mit der Novellierung der BetrSichV [25] und der GefStoffV [26] sind nur noch die erforderlichen Arbeitsmittelprüfungen in der BetrSichV [25] verblieben (vgl. §§ 14,… 17 in Verbindung mit Anhang 2 Abschnitte 3 und 4 BetrSichV [25]). Das ist deshalb geändert worden, weil die Explosionsgefährdungen kausal vom Gefahrstoffumgang abhängig sind und nicht vom Arbeitsmittel ausgehen.

Die *Einteilung von Zonen ist seit der Novellierung der GefStoffV [26] keine Mussbestimmung* mehr. Das stellt gegenüber der Umsetzung der zu Grunde liegenden betrieblichen ATEX-153-Richtlinie, hier Artikel 7 der 1999/92/EG [15], eine zulässige Verschärfung des sozialen Mindeststandards dar. Die darin enthaltene Mussbestimmung wurde in Deutschland eine Kannbestimmung. Der Anhang I Nr. 1.6 GefStoffV [26] sieht vor, dass für den Fall, dass geA nicht sicher verhindert werden kann, die Zündquellenfreiheit zu garantieren ist. Das bedeutet jedoch, dass Zündquellenvermeidung dann stets auf dem höchsten Schutzniveau für eine „Zone 0 bzw. 20“ vorzunehmen ist. Verzichtet der Hersteller/Betreiber also auf eine Zoneneinteilung, so dürfen die innerhalb des explosionsgefährdeten Be-

reichs verwendete elektrische und nicht elektrische Arbeitsmittel nur noch als Geräte der Kategorie 1 (bzw. M1 bei Bergwerks-Anlagen) im Sinne der 2014/34/EU [11] (bzw. 11. ProdSV [22]) Verwendung finden. Optional besteht jedoch in Deutschland für die Anwender die Möglichkeit, im Ergebnis der Risiko- bzw. Gefährdungsbeurteilung über den Zwischenschritt einer Einteilung der explosionsgefährdeten Bereiche in „Zonen“ nach Anhang I, Nr. 1.7 GefStoffV [26], vom höchsten Schutzniveau eigenverantwortlich abzuweichen. Hiervon betroffen sind Arbeitsmittel der Kategorien 2, 3 (ggf. M2 im Bergbau), also mit niedrigerem Schutzniveau als das für Zone 0 erforderliche. Dokumentiert wurde das in der bereits angepassten TRGS 727 [47] (Abschnitt 1 Absatz (2)).

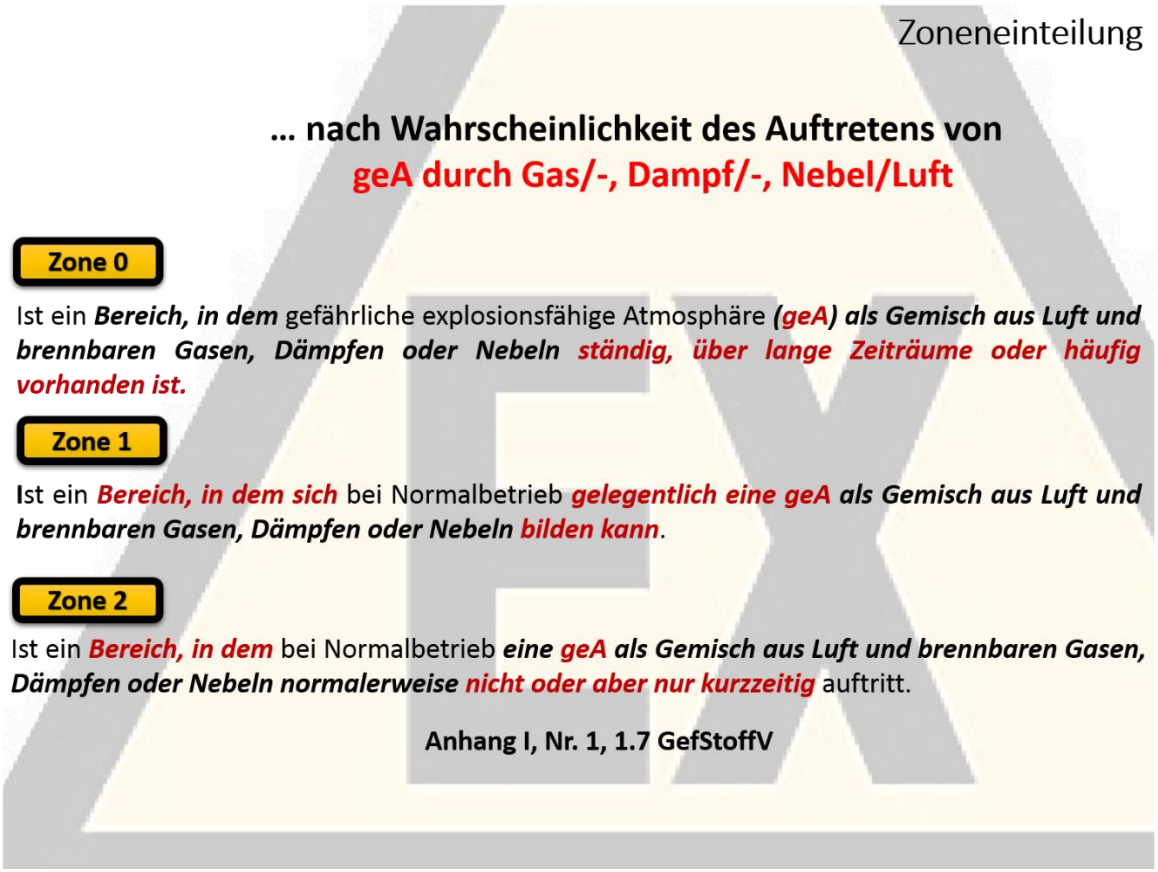


Abbildung 14-6: Zoneneinteilung explosionsgefährdeter Bereiche für Gase, Dämpfe, Nebel nach GefStoffV [26] (Quelle: Kräft)

Hinweis: Anhang 2 Abschnitt 3 Nr. 2. BetrSichV [25] beschreibt ausdrücklich, dass von den Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen auch die für den Explosionsschutz relevanten Gebäudeteile erfasst werden. Das bedeutet, dass auch für Zoneneinteilungen in Gebäuden der Nachweis der Gebäudesicherheit gegenüber dem jeweils zu erwarten Explosionsdruck als außergewöhnliche Belastung im Sinne der DIN EN 1991-1-7:2010 zu erbringen ist.

Damit unterstreicht der Gesetzgeber zugleich die Wichtigkeit der Einhaltung der Rangfolge der Schutzmaßnahmen. Da sollte der Planer bedenken, ob es sich bei den Brennstoffzellensystemen nicht doch nach dem Stand der Technik umsetzen lässt die Bildung von geA[5] sicher zu verhindern.

[5] Mehr als 10 Liter zusammenhängende explosionsfähige Atmosphäre müssen in geschlossenen Räumen unabhängig von der Raumgröße grundsätzlich als gefährliche explosionsfähige Atmosphäre angesehen werden. Auch kleinere Mengen können bereits gefahrdrohend sein, wenn sie sich in unmittelbarer Nähe von Menschen befinden. Auch in Räumen von weniger als etwa 100 m^3 kann bereits eine kleinere

Das kann zum Beispiel geschehen durch Anlagendichtheit (TRGS 500 [40]), Rückschlagventile, geeignete Lüftung, Ableitung der Spülleitung (Purge) sowie Überdruckausblassysteme mit Ableitung in ungefährdete Bereiche ins Freie. Der zu erwartende Explosionsdruck überschreitet brennstoffunabhängig so gut wie immer die erforderliche Widerstandsfähigkeit eines Gebäudes um ein Vielfaches. Ein normales Mauerwerksgebäude ist bereits durch einen schlagartig freigesetzten Überdruck von 200 bis 500 mbar (= hPa) nachhaltig zu beseitigen. Menschen widerstehen selten Mehr als 140 mbar (hPa). Allein daraus folgt, dass es niemals zugelassen werden darf, dass sich Explosionen in eine Arbeitsstätte oder sonstigen für den Aufenthalt von Menschen bestimmten Gebäuden hinein ereignen. Das kann aber nach dem Stand der Technik problemlos auch erreicht werden. Gegebenenfalls wird den Planern und sonstigen Beteiligten dringend angeraten, den Rat geeigneter Fachplaner für Explosionsschutz einzuholen.

15 Erforderliche Prüfungen

Gemäß § 2 Nr. 30 ProdSG [17] sind „***überwachungsbedürftige Anlagen***“, als Teilmenge aller Arbeitsmittel (vgl. Abbildung 15-1), in Deutschland legal definierte ***Anlagen, die durch die besonderen Gefahrenpotenziale Dampf, Druck, Explosion und Absturz gekennzeichnet sind***. Sie bedürfen damit von Gesetzeswegen zur Aufrechterhaltung der Betriebssicherheit besonderer Aufmerksamkeit durch regelmäßige Überwachungsmaßnahmen. Das erfolgt betrieblich durch Prüfungen. Geregelt sind Prüfungen in den §§ 14,… , 17 BetrSichV [25] und zusätzlich für Brand- und Explosionsgefährdungen sowie Druckgefährdungen in Verbindung mit Anhang 2 Abschnitte 3 und 4 BetrSichV [25]. Es gibt erstmalige, wiederholte und ggf. außerordentliche Prüfungen. Diese Prüfungen unterscheiden sich von Prüfungen einfacher Arbeitsmittel gem. § 14 BetrSichV [25] durch die Anforderungen an den erforderlichen Kreis der zur Prüfung befähigten Personen. Erfahrungsgemäß ist es für den Nachweis der unternehmerischen Aufsichtsverantwortung des Betreibers durchaus erforderlich und sinnvoll, auch bei Beauftragung einer ZÜS, erforderliche Befähigungsnachweise (auch des ZÜS-Prüfers) vorlegen zu lassen und nicht bloß auf die Zulassung der Prüforganisation zu vertrauen. **Brennstoffzellensysteme sind als Stromerzeuger Anlagen im Sinne von § 3 Nr. 13 EnWG [30]. Damit sind die druckführenden Komponenten dieser Systeme gemäß § 2 Nr. 30, 2. Halbsatz ProdSG [17] *keine* überwachungsbedürftigen Anlagen, sondern *„normale“* Arbeitsmittel.** Aber auch solche dürfen nur in ordnungsgemäßem Zustand als Arbeitsmittel bereitgestellt und betrieben werden. Sie werden somit formell gemäß
§ 14 BetrSichV [26] ebenfalls regelmäßig geprüft. **Das gilt jedoch nicht für Komponenten mit Eignung für den Einsatz in geA im Sinne der 2014/34/EU [13]. Diese Produkte bleiben uneingeschränkt überwachungsbedürftige Anlagen, selbst wenn Sie nicht in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden, aber zur Explosionssicherheit beitragen, wie z. B. Gaswarngeräte.** Da jedoch im Betrieb aller Arbeitsmittel der „Stand der Technik“ einzuhalten ist, wird dringend angeraten, die Prüfungsmaßstäbe aus Anhang 2 Abschnitt 4 BetrSichV [25] auch für Druckgeräte an BZ-Anlagen anzuwenden. Die (ortsfesten) anlagenbezogenen Druckgeräte selbst brauchen jedoch nicht zwingend einer Prüfung durch eine ZÜS unterzogen werden. Das kann in diesem Fall auch eine zur Prüfung befähigte Person für Druckgeräte im Sinne von § 2 BetrSichV [25] in Verbindung mit Anhang 2, Abschnitt 4 BetrSichV [25] durchführen (vgl. Tabelle **15-1**).

Menge als 10 Liter gefahrdrohend sein. Eine grobe Abschätzung ist mit Hilfe der Faustregel möglich, dass in solchen Räumen explosionsfähige Atmosphäre von mehr als einem Zehntausendstel des Raumvolumens gefahrdrohend sein kann, also z.B. in einem Raum von 80 m^3 bereits 8 Liter. Hieraus darf aber nicht gefolgert werden, dass dann der gesamte Raum als explosionsgefährdeter Bereich gilt. Nur der Teilbereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre auftreten kann, gilt als explosionsgefährdeter Bereich. Die Auswirkungen einer Explosion können jedoch darüber hinaus gehen und sind zu betrachten.

15.1 Prüfungen

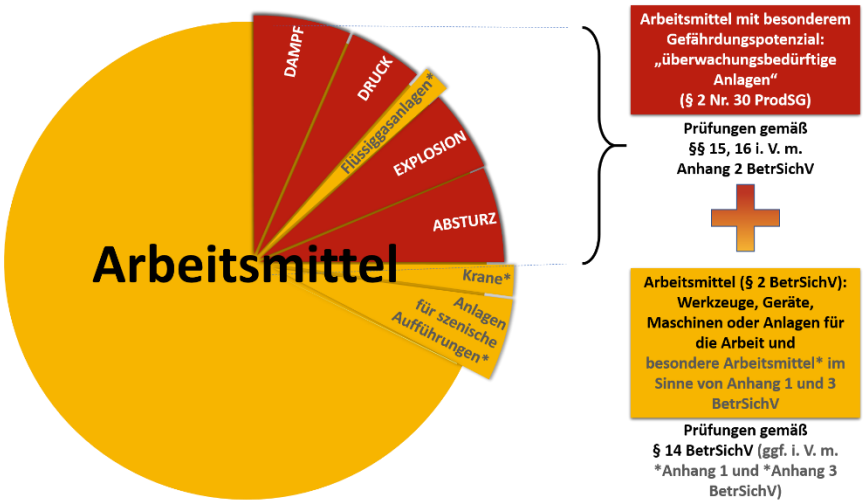


Abbildung 15-1: Arbeitsmittelprüfungen (Quelle: Kräft)

Als Arbeitsmittel werden alle Produkte bezeichnet, die einem Arbeitnehmer (Beschäftigten) vom Arbeitgeber (Unternehmer) im Rahmen seiner beruflichen Tätigkeit zur Verfügung gestellt werden, um seine vertraglich geschuldete Arbeitsleistung im Rahmen der versicherten Tätigkeit erbringen zu können. Das bedeutet eine umfassende Sichtweise. Arbeitsmittel sind demnach etwa der zur Verfügung gestellte Bleistift wie auch die komplexe verfahrenstechnische Anlage oder der Turmdreh- oder Portalkran usw. Überwachungsbedürftige Anlagen sind mithin nur eine Teilmenge aller möglichen Arbeitsmittel, bei denen auch dem Drittschutz eine besondere Rolle zukommt, wie etwa bei der Nutzung einer Aufzugsanlage durch Beschäftigte unmittelbar oder Dritte. Überwachungsbedürftige Anlagen benötigen Arbeitnehmer (bzw. denen Gleichgestellte) für Wartung und Instandhaltung, auch wenn diese von Privatmenschen betrieben werden. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung sind, um Arbeitsmittel sicher nach dem Stand der Technik zu betreiben, hierfür Prüfungen vom Betreiber vorzusehen. Diese Prüfungen sind mit:

- **Prüfanlass** (Erstprüfung vor Inbetriebnahme und nach prüfpflichtiger (sicherheitsrelevanter) Änderung oder Wiederholungsprüfung, außerordentliche Prüfung, vgl. Abbildung 15-1)
- **Prüffrist** (Festlegung der nächsten erforderlichen Prüfung),
- **Prüftiefe** (Prüfumfang Haupt- oder Zwischenprüfung) und
- **Prüfperson** (zur Prüfung befähigte Person oder ggf. zugelassene Überwachungsstelle (ZÜS))

vom Betreiber bzw. Anlagenerrichter festzulegen, zu beauftragen und zu dokumentieren.

Es wird dabei in sogenannte „ordentliche“ und „außerordentliche“ Prüfungen unterschieden:

- Arbeitsmittelprüfungen (§ 14 BetrSichV [25])
- Prüfung vor Inbetriebnahme sowie nach prüfpflichtigen Änderungen (§ 15 BetrSichV [25])
- Wiederkehrende Prüfungen (§ 16 BetrSichV [25])

Hinweis: Die Prüfpersonen in der nachfolgenden Tabelle **15-1** haben folgende Bedeutung:

1. zPbP: Zur Prüfung befähigte Person (§ 2 in Verbindung mit Anhang 2 BetrSichV [25])
2. ZÜS: Zugelassene Überwachungsstelle (Achtung: DARF NICHT BERATEN)

Nach den Anforderungen an zugelassene Überwachungsstellen -ZÜS-RL- dürfen ZÜS, außer unternehmenseigene ZÜS, keine Beratung vornehmen (Unabhängigkeits- und Gleichbehandlungsgrundsatz).

15.1.1 Übersicht über ggf. erforderliche Prüfungen, Prüffristen und Prüfpersonen

Anlagenart	Bezeichnung	Rechtsgrundlage	Prüf-Person	Prüfintervall	Prüfinhalte
Anlagen in explosions-gefährdeten Bereichen	„Ex-Anlage“ (Geräte, Schutzsysteme, Sicherheits- und Kontrolleinrichtungen)	§ 2 Nr. 30 lit. f) **ProdSG [17]** sowie §§ 14, 15 in Verbindung mit Anhang 2 Abschnitt 3 **BetrSichV [25]**	zPbP ZÜS	• Wiederkehrend nach Gefährdungsbeurteilung bzw. Prüffristermittlung, **Maximalfrist 36 Monate**	**Ordnungsprüfung** • **Aufstellungsprüfung** • Montage, Installation, Aufstellungsbedingungen, **Funktionsprüfung** • Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen • Sichere Funktion, • ordnungsgemäßer Betrieb
	„Ex-Anlage“ (Gesamtanlage auf Explosionssicherheit)	§ 2 Nr. 30 lit. f) **ProdSG [17]** sowie §§ 14, 15 in Verbindung mit Anhang 2 Abschnitt 3 **BetrSichV [25]**	zPbP (ZÜS)	• Erstprüfung vor Inbetriebnahme, • nach prüfpflichtiger Änderung, nach Gefährdungsbeurteilung bzw. Prüffristermittlung, **Maximalfrist 72 Monate**	**Ordnungsprüfung** • **Vollständigkeit** der erforderlichen Dokumente • **Aufstellungsprüfung** • Montage, Installation, Aufstellungsbedingungen, **Funktionsprüfung** • Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen • Sichere Funktion, • ordnungsgemäßer Betrieb
Druckgeräte (Betrieb von BZ-NEA-Anlagen)	Druckbehälter, Rohrleitungen, Druckanlagen, Füllanlagen	§ 2 Nr. 30 lit. b), c), d) ProdSG [17], § 3 Nr. 13 EnWG [30] Sowie § 14 in Verbindung mit Anhang 2 Abschnitt 4 BetrSichV [25]	zPbP (ZÜS)	Nach dem Ergebnis der Gefährdungs– Beurteilung gemäß BetrSichV (Maximalfristen gemäß BetrSichV)	
Flüssiggas-Anlagen (Betrieb von BZ-NEA-Anlagen)	Flüssiggaslager-Behälter	BetrSichV [25] (BImSchG) § 2 Nr. 30 lit. b), c), d) ProdSG [17], § 3 Nr. 13 EnWG [31] sowie § 14 in Verbindung mit Anhang 3 Abschnitt 2 BetrSichV [25]	zPbP (SV § 29 BImSchG [32])	• Erstprüfung vor in Inbetriebnahme • nach prüfpflichtiger Änderung	**Ordnungsprüfung** • Vollständigkeit der erforderlichen Dokumente • Aufstellungsprüfung • Montage, Installation, Aufstellungsbedingungen, **Funktionsprüfung** • Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen • Sichere Funktion, • ordnungsgemäßer Betrieb
				• Wiederkehrende Prüfung	**Ordnungsprüfung** • Aufstellungsprüfung • Montage, Installation, Aufstellungsbedingungen, **Funktionsprüfung** • Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen • Sichere Funktion, • ordnungsgemäßer Betrieb
	Ortsveränderliche Flüssiggasanlage			≤ alle 2 Jahre	
	Ortsfeste Flüssiggasanlage			≤ alle 4 Jahre	
Gefahrgut-Transport	IBC	ADR/RID [34], GGVSEB [35]	Notifizierte Stelle (NB) [2]	30 Monate 60 Monate	Erhaltungszustand (innere Prüfung, äußere Prüfung, Druckprüfung), Dichtheitsprüfung, Funktionsprüfung, Ausrüstung
Ortsfest betriebene Druckgasbehälter	Druckbehälter (ortsfest an die Entnahmestelle angeschlossen, nicht entleert)	BetrSichV [25]	Notifizierte Stelle (NB) [2]	Maximal 20 Jahre (Stahlflaschen) Maximal 15 Jahre (Compoundbehälter)	Bei Leihgeräten vom Lieferanten veranlasste Prüfung…

Tabelle 15-1: Übersicht über ggf. erforderliche Prüfungen (Zusammenstellung: Kräft)

16 Bauordnungsrechtliche Aspekte

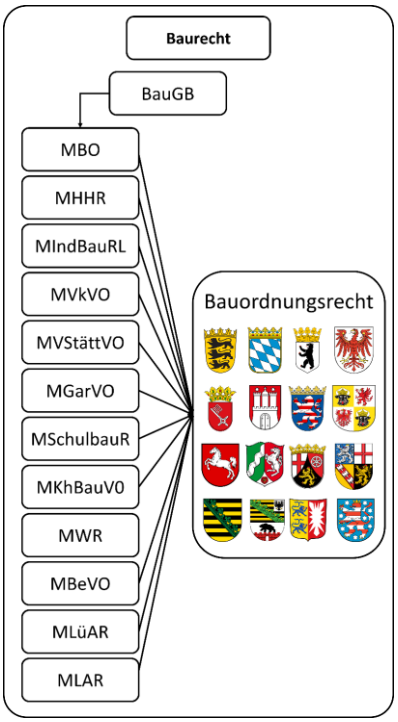


Abbildung 16-1: Standards durch Muster-Bauordnungsrecht zum Landesrecht, vgl. Abschnitt 18.5 (Quelle: Kräft)

Das Baurecht ist in Deutschland Ländersache. Die Musterbauordnung (MBO) [60] ist eine standardisierte Mindestbauordnung. Sie wurde von der Arbeitsgemeinschaft Bau (ARGEBAU), gemeinsam von Sachverständigen und den für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Ministern und Senatoren der 16 Bundesländer ausgearbeitet und verabschiedet. Im Gegensatz zu den Landesbauordnungen ist sie kein Gesetz, sondern dient als Orientierungsrahmen für die Bauordnungsgesetzgebung der Länder.

Hierzu erlassen wurden dann von der Bauministerkonferenz diverse Musterverordnungen und Richtlinien, die ebenfalls den Länderparlamenten bei ihrer Gesetzgebung als Leitfaden dienen sollen.

Es bestehen diverse Gesetze und Verordnungen sowie Richtlinien in den einzelnen Bundesländern, die auch beim Bau und Betrieb von Brennstoffzellen als Anlagen im Sinne des EnWG zusätzlich zum bundesrechtlich basierten Arbeits- und Gesundheitsschutzrecht ggf. beachtet werden müssen.

Des Weiteren greifen technische Anschlussbestimmungen (TAB) des jeweiligen Energieversorgungsunternehmens (EVU). Hier sind diverse „Spielregeln“, zum Beispiel hinsichtlich eines Parallelbetriebes und/oder der Einspeisung bzw. der Trennung vom Netz des EVU zu berücksichtigen. Das gilt immer besonders dann, wenn die Anlagen nicht als „Island-Grid“, also als Inselnetzwerklösung betrieben werden. Selbstverständlich gelten auch hier zusätzlich die Normen aus dem Bereich des VDE.

Aktuelle Vorschriften erhalten Sie über https://bauministerkonferenz.de sowie auf der Internetseite https://www.baunetzwissen.de/.

Die aktuellen EUROCODES sowie weitere technische Baubestimmungen sind seit 2012 im Niedersächsischen Ministerialblatt Nr. 37 und den Anlagebänden 37 a bis 37 q gelistet, und zum kostenfreien Download im Internet bereit unter:

https://www.niedersachsen.de/politik_staat/gesetze_verordnungen/verkuendungsblaetter_vorjahre/niedersaechsisches-ministerialblatt-2012-111891.html

17 Brennstofflogistik (ADR [34] und Ausnahmen)

Es kann vorkommen, dass Brennstoffzellensysteme, z. B. auch aus Umweltschutzgründen oder aufgrund anderer Betriebserfordernisse, an örtlich schwer zugängigen Standorten aufgebaut und betrieben werden. Da kann die Brennstofflogistik mitunter für den Betreiber zu einer Herausforderung werden.

Das gilt vor allem dann, wenn der beauftragte Lieferant nicht einwilligen sollte, eine unmittelbare Belieferung der Anlage und den Brennstoffgebindewechsel (oder je nach systematischem Aufbau die Nachfüllung) vorzunehmen und die Anlieferung an der letzten möglichen Übergabestelle an einer öffentlich zugänglichen Straße endet.

Abbildung 17-1: 1000-Punkte-Regel gemäß Abschn. 1.1.3.6 ADR [34] (Quelle: Kräft)

In diesem Fall kann es erforderlich werden, die Versorgung zumindest der sogenannten „letzten Meile“ in Eigenregie zu organisieren. Da sind Planer gut beraten die Vor- und Nachteile des jeweiligen Brennstoffsystems bereits von Beginn an mit ins Kalkül zu nehmen. Das muss berücksichtigt werden, weil eine Versorgung mittels Flaschenbündel anstelle von Einzelflaschen, allein schon aus Gewichts- und Handhabbarkeitsgründen zu einer Herausforderung werden kann. Gleiches gilt für eine Versorgung solcher Standorte, wenn IBC anstelle von Kanistern mittels Fahrzeug betankt werden müssen oder sollen. Ähnlich problematisch kann es auch beim geplanten Einsatz von Flüssiggas (LPG, DIN-Propan[6]) sein. Hier steht dann ggf. auch die Entscheidung an, zwischen ortsveränderlichen Druckgeräten oder ortsfest betrieben Flüssiggasanlagen zur Versorgung des Systems zu wählen.

Gegebenenfalls müssen die Betreiber in der Lage sein, eine Versorgung selbst vornehmen zu können, und zwar möglichst ohne Spezialfahrzeuge und/oder gefahrguttransportrechtliche Befähigung (sog. „ADR-Schein“). Hierfür sieht das ADR [34] im Abschnitt 1.1.3.6 die sogenannte „1000-Punkte-Regel“ für Mindermengentransporte pro Transporteinheit[7] unter erleichterten Bedingungen vor. Die Fahrzeuge, die für einen Mindermengentransport vorgesehen sind, benötigen nicht die sonst obligate Kennzeichnung mit der Kemlerzahl (Gefahrnummer) und Ausrüstung. Auch eine Gefahrguttransportausbildung des Fahrzeugführers mit einer entsprechenden Bescheinigung ist nicht erforderlich.

17.1 Mindermengen für übliche Brennstoffzellen-Brennstoffe

Beschreibung	Gefahrzettel	Limit gem. 1.1.3.6 ADR [34]; 1000-Punkte-Regel
UN 1049: Wasserstoff verdichtet 2.1 (B/D)		333 Wasser-Liter:= 999 Punkte
UN 1230: Methanol, 3 (6.1), II, (D/E)		333 Wasser-Liter:= 999 Punkte

[6] „DIN-Propan“ im Sinne von DIN 51622: 1985: Flüssiggase; Propan, Propen, Butan, Buten und deren Gemische; Anforderungen

[7] Gemäß Abschnitt 1.1.2.4 ADR [34] ist eine Beförderungseinheit ein Kraftfahrzeug ohne Anhänger oder eine Einheit aus einem Kraftfahrzeug mit Anhänger. Ein Anhänger ist zu keiner Zeit ein selbstständiges Fahrzeug, weshalb er keine Beförderungseinheit darstellen kann; ein PKW, ein Transporter oder LKW hingegen schon.

UN 1965: Kohlenwasserstoffgasgemisch verflüssigt, N. A. G., 2.1 (B/D) (Flüssiggas, LPG, DIN-Propan nach DIN 51622:1985)		333 kg:= 999 Punkte

Tabelle 17-1: Anwendung der 1000-Punkte Regel für BZ-Brennstoffe Wasserstoff, Methanol und Flüssiggas (Quelle: Kräft)

Darüber hinaus sieht § 5 GGVSE [35] für den systemrelevanten öffentlich-rechtlichen Bereich weitgehende Ausnahmemöglichkeiten vor.

17.2 Voraussetzungen vor *jedem* Transport von Druckgasbehältern

1. Der Druckminderer mitsamt Schläuchen ist vom Druckgasbehälter sachgemäß entfernt.
2. Das Flaschenventil des Druckgasbehälters ist dicht verschlossen.
3. Die Verschlussverschraubung des Druckgasbehälters ist auf dem Ventilanschluss aufgeschraubt.
4. Beim Transport des Druckgasbehälters ist das Flaschenventil durch die aufgeschraubte Schutzkappe geschützt. (Vermeidung des Ventilabrisses)
5. Auf dem Druckgasbehälter (der Flasche) muss gut erkennbar sein, was transportiert wird. Der Flaschenaufkleber muss gut sicht- und lesbar sein.

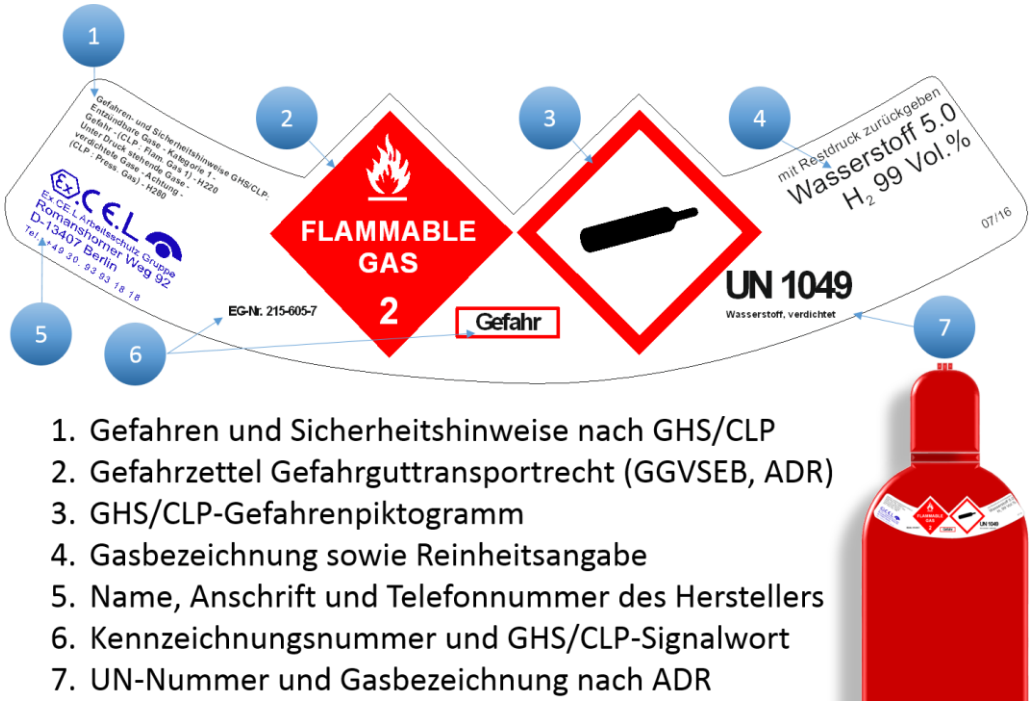


Abbildung 17-2: Druckgasbehälterkennzeichnung (Quelle:Kräft)

17.3 Was muss ich bei meinem Fahrzeug beachten?

1. Es sind möglichst offene Fahrzeuge zu verwenden.
2. Bei geschlossenen Fahrzeugen muss ausreichend für die Be- und Entlüftung gesorgt werden.
3. Lüftungserfordernis bei Druckgas-Flaschen-Transport (stehend oder liegend):
4. Mindestens zwei Lüftungsöffnungen. Dabei ist mindestens je eine Öffnung im Boden- und im Deckenbereich
5. Die Lüftungsöffnungen sind diagonal versetzt im Fahrzeug angeordnet.
6. Der Mindestöffnungsquerschnitt ist 100 cm².

Bei Fahrzeugen ohne grundsätzlich erforderliche Lüftungsöffnungen sind die Türen, **bei einer Mindest-Buchstabenhöhe von 25 mm,** zu kennzeichnen

Abbildung 17-3: Erforderliche Fahrzeugkennzeichnung bei nicht hinreichenden Lüftungsquerschnitten (Bildquelle: Kräft)

17.4 Ladungssicherung bei Mindermengentransporten

Optimale Sicherung des Gefahrguts: Nutzung vorhandener Fahrzeug-Einrichtungen oder am Boden sowie den Seitenwänden befindlicher Verzurrösen.

Damit Gasflaschen bei starkem Bremsen, in Kurven oder bei Unfällen nicht zum Geschoss werden, gilt es, folgendes zu beachten:

- Druckgasbehälter und andere Transportbehälter müssen durch Verzurren gesichert sein.
- Optimal hierfür sind:
    - Fest angebrachte Gestelle an Wagenwänden mit lösbaren Bügeln, Ketten, Antirutschmatten oder Zurrgurte.
    - Ladungssicherungsmittel sind ein "MUSS" eines jeden Fahrzeugführers bei Gefahrguttransporten.

Hinweis: Nicht nur die Gasflaschen, auch Arbeitsmaterialien (Leitern, Kisten, Werkzeuge usw.) müssen vor dem Verrutschen gesichert werden.

18 Beurteilungsgrundlagen für Netzersatzanlagen mit Brennstoffzellen

18.1 Gesetze und Verordnungen

18.1.1 Subsidiäre Rechtsakte der EU (AEUV, Verordnungen)

[1] VERTRAG ÜBER DIE ARBEITSWEISE DER EUROPÄISCHEN UNION (AEUV - KONSOLIDIERTE FASSUNG, Abl. C 326/47 vom 26. 10. 2012)

[2] VERORDNUNG (EG) Nr. 765/2008 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 9. Juli 2008 über die Vorschriften für die **Akkreditierung und Marktüberwachung** im Zusammenhang mit der **Vermarktung von Produkten** und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 339/93 des Rates (Abl. L 218/30 vom 13.8.2008)

[3] BESCHLUSS Nr. 768/2008/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 9. Juli 2008 über einen **gemeinsamen Rechtsrahmen für die Vermarktung von Produkten** und zur Aufhebung des Beschlusses 93/465/EWG des Rates (Abl. L 218/82 vom 13.8.2008)

[4] VERORDNUNG (EG) Nr. 1907/2006 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission (**REACH-Verordnung**, ABl. L 396 vom 30.12.2006, S. 1)

[5] VERORDNUNG (EG) Nr. 1272/2008 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (**GHS-Verordnung/CLP-Verordnung**, Abl. L 353/1 vom 31.12.2008)

18.1.2 Richtlinien nach Art 114 AEUV (Beschaffenheitsanforderungen)

[6] RICHTLINIE 2001/95/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 3.Dezember 2001 über die **allgemeine Produktsicherheit** (Abl. L 11/04 vom 15.1.2002)

[7] RICHTLINIE 2006/42/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 17. Mai 2006 über **Maschinen** und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung, Abl. L 157/24 vom 9.6.2006)

[8] RICHTLINIE 2010/35/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über **ortsbewegliche Druckgeräte** und zur Aufhebung der Richtlinien des Rates 76/767/EWG, 84/525/EWG, 84/526/EWG, 84/527/EWG und 1999/36/EG vom 16. Juni 2010 (ABl. L 165, S. 1)

[9] RICHTLINIE 2011/65/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 8. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (**RoHS-Neufassung**, Abl. L 174/88 vom 1.7.2011)

[10] RICHTLINIE 2014/30/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (**EMV-Neufassung**, Abl. L 96/79 vom 29.2.2014)

[11] RICHTLINIE 2014/34/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (**ATEX-114-Neufassung**, Abl. L 96/309 vom 29.3.2014)

[12] RICHTLINIE 2014/35/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt (**Niederpannungs-Richtlinie** Neufassung, Abl. L 96/357 vom 29.3.2014)

[13] RICHTLINIE 2014/53/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. April 2014 über die Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Funkanlagen auf dem Markt und zur Aufhebung der Richtlinie 1999/5/EG (**R&TTE-Richtlinie**, Abl. L 153/52 vom 22.5.2014

[14] RICHTLINIE 2014/68/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt (**Druckgeräte-Richtlinie** Neufassung, Abl. L 189/164 vom 27.6.2014)

[15] RICHTLINIE 1999/92/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. Dezember 1999 über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können (Fünfzehnte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG)

18.2 Nationale Gesetzgebung

18.2.1 Verfassungsrecht

[16] Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland (**Grundgesetz - GG**) in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 100- 1, veröffentlichten bereinigten Fassung, das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 13. Juli 2017 (BGBl. I S. 2347)

18.2.2 Produktsicherheitsrecht

[17] Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz - **ProdSG**) vom 8. November 2011 (BGBl. I S. 2178, 2179; 2012 I S. 131), zuletzt geändert durch Artikel 435 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)

[18] Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (**Maschinenverordnung - 9. ProdSV**) vom 12. Mai 1993 (BGBl. I S. 704), zuletzt geändert durch Artikel 19 des Gesetzes vom 8. November 2011 (BGBl. I S. 2178)

[19] Ortsbewegliche-Druckgeräte-Verordnung (**ODV**) vom 29. November 2011 (BGBl. I S. 2349), zuletzt geändert durch Artikel 491 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)

[20] Verordnung zur Beschränkung der Verwendung gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten, (**Elektro- und Elektronikgeräte- Stoff-Verordnung - ElektroStoffV**) vom 19. April 2013 (BGBl. I S. 1111), zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 4. Mai 2017 (BGBl. I S. 1042)

[21] Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (**Elektromagnetische-Verträglichkeit-Gesetz - EMVG**) vom 14. Dezember 2016 (BGBl. I S. 2879), zuletzt geändert durch Artikel 3 Absatz 1 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1947)

[22] Elfte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (**Explosionsschutzprodukteverordnung - 11. ProdSV**) vom 6. Januar 2016 (BGBl. I S. 39), ersetzt V 8053-4-14 v. 12.12.1996 I 1914 (11. GSGV)

[23] Erste Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (**Verordnung über elektrische Betriebsmittel - 1. ProdSV**) vom 17. März 2016 (BGBl. I S. 502), ersetzt V 8053-4-1 v. 11.6.1979 I 629 (TechArbmGV 1)

18.2.3 Betriebssicherheit

[24] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz

- **ArbSchG**) vom 7. August 1996 (BGBl. I Seite 1246), zuletzt geändert durch Artikel 427 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)

[25] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung - **BetrSichV**) vom 3. Februar 2015 (BGBl. I S. 49), zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 7 der Verordnung vom 18. Oktober 2017 (BGBl. I S. 3584)

[26] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung - **GefStoffV**) vom 26. November 2010 (BGBl. I S. 1643, 1644), zuletzt geändert durch Artikel 148 des Gesetzes vom 29. März 2017 (BGBl. I S. 626)

[27] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung - **ArbStättV**) vom 12. August 2004 (BGBl. I S. 2179), zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 1 der Verordnung vom 18. Oktober 2017 (BGBl. I S. 3584)

[28] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (**Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung - OStrV**) vom 19. Juli 2010 (BGBl. I S. 960), die durch Artikel 5 Absatz 6 der Verordnung vom 18. Oktober 2017 (BGBl. I S. 3584)

[29] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung - **LärmVibrationsArbSchV**) vom 6. März 2007 (BGBl. I, S. 261), zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 19. Juli 2010 (BGBl. I, S. 960)

[30] Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz - EnWG) vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970, 3621), zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 6 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808)

[31] Siebtes Buch Sozialgesetzbuch (Gesetzliche Unfallversicherung - **SGB 7**) - Artikel 1 des Gesetzes vom 7. August 1996, BGBl. I S. 1254), zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 17. Juli 2017 (BGBl. I S. 2575)

18.3 Gefahrgut- und Umweltschutzvorschriften

[32] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - **BImSchG**) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 18. Juli 2017 (BGBl. I S. 2771)

[33] Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (**AwSV**) , vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 905)

[34] Gesetz zu dem Europäischen Übereinkommen vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (**ADR**) vom 18. August 1969 (BGBl. 1969 II S. 1489), das zuletzt durch Artikel 486 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)

[35] Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, mit Eisenbahnen und auf Binnengewässern (Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt - GGVSEB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. März 2017, zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 7. Dezember 2017 (BGBl. I, S. 3859)

18.4 Technische Regeln

18.4.1 Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR)

[36] **ASR V3:** Gefährdungsbeurteilung, Ausgabe: Juli 2017 (GMBl 2017, S. 390)

[37] **ASR A1.3:** Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung, Ausgabe: Februar 2013 (GMBl 2013, S. 334, zuletzt geändert GMBl 2017, S. 398)

[38] **ASR A2.2:** Maßnahmen gegen Brände, Ausgabe: November 2012, geändert GMBl 2014, S. 286

18.4.2 Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) bzw. Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)

[39] **TRGS 400**: Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, Ausgabe: Juli 2017, GMBl 2017 Nr. 36 S. 638 (08.09.2017)

[40] **TRGS 500**: Schutzmaßnahmen, Ausgabe: Januar 2008, ergänzt: Mai 2008, (GMBl Nr. 11/12 S. 224- 258 v. 13.03.2008)

[41] **TRGS 509**: Lagern von flüssigen und festen Gefahrstoffen in ortsfesten Behältern sowie Füll- und Entleerstellen für ortsbewegliche Behälter, Ausgabe: September 2014, GMBl 2014 S. 1346-1400 [Nr. 66-67] (vom 19.11.2014) zuletzt berichtigt, geändert und ergänzt: GMBl 2017, S. 229 [Nr. 12] (vom 06.04.2017)

[42] **TRGS 510**: Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern, Ausgabe: Januar 2013, GMBl 2013 S. 446-475 [Nr. 22] (vom 15.05.2013), geändert und ergänzt: GMBl 2014 S. 1346 [Nr. 66-67] (vom 19.11.2014), berichtigt: GMBl 2015 S. 1320 [Nr. 66] (vom 30.11.2015)

[43] **TRGS 720/TRBS 2152**: Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Allgemeines (inhaltsgleich: TRGS 720, BAnz. Nr. 103a; BArbBl. 8/9-2006, Seite 36 ff.)

[44] **TRGS 721/TRBS 2152 Teil 1**: Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Beurteilung der Explosionsgefährdung (inhaltsgleich: TRGS 721, BAnz. Nr. 103a; BArbBl. 8/9-2006, Seite 36 ff.

[45] **TRGS 722/TRBS 2152 Teil 2**: Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre (inhaltsgleich: TRGS 722, BAnz. Nr. 103a; BArbBl. 8/9-2006, S. 36 ff.)

[46] **TRGS 725**: Gefährliche, explosionsfähige Atmosphäre - Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen im Rahmen von Explosionsschutzmaßnahmen, Ausgabe Januar 2016, GMBl 2016 S. 238-256 [Nr. 12-17] (vom 26.04.2016), berichtigt: GMBl 2017, S. 229 [Nr. 12] (vom 06.04.2017)

[47] **TRGS 727**: Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen, Ausgabe Januar 2016, GMBl 2016 S. 256-314 [Nr. 12-17] (vom 26.04.2016), berichtigt: GMBl 2016 S. 623 [Nr. 31] (vom 29.07.2016)

[48] **TRGS 800:** Brandschutzmaßnahmen, Ausgabe: Dezember 2010 GMBl 2011 Nr. 2 S. 33-42 (31.01.2011)

[49] **TRGS 900:** Arbeitsplatzgrenzwerte Ausgabe: Januar 2006, zuletzt geändert und ergänzt: GMBl 2012 S. 11 [Nr. 1]

[50] **TRBS 1111**: Gefährdungsbeurteilung und sicherheitstechnische Bewertung (Bekanntmachung des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales vom 15. September 2006; BAnz. 232a vom 9. Dezember 2006, Seite 7)

[51] **TRBS 1151**: Gefährdungen an der Schnittstelle Mensch - Arbeitsmittel - Ergonomische und menschliche Faktoren (GMBl. Nr. 47 vom 27. Oktober 2007, Seite 934ff.)

[52] **TRBS 2152 Teil 3**: Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre (GMBl. Nr. 77 vom 20. November 2009, Seite 1583)

[53] **TRBS 2152 Teil 4**: Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, welche die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken (GMBl. Nr. 26 vom 4. Juli 2008, S. 530)

18.4.3 Sicherheitstechnischen Regel der Kommission für Anlagensicherheit (TRAS)

[54] **TRAS 320**: Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Wind sowie Schnee- und Eislasten, vom 15. Juni 2015 (BAnz AT 16.07.2015 B2)

[55] **TRAS 410:** Erkennen und Beherrschen exothermer chemischer Reaktionen, vom 9. Oktober 2012 (BAnz AT 20.12.2012 B2)

18.4.4 Vorschriften- und Regelwerk der gesetzlichen Unfallversicherer

[56] **DGUV Vorschrift 4:** Elektrische Anlagen und Betriebsmittel mit Durchführungsanweisungen vom Oktober 1999, aktualisierte Ausgabe 2005

[57] **DGUV-Regel 113-001**: BG-Regel Explosionsschutz-Regeln (EX-RL) - Sammlung technischer Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung zur Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche in Zonen, Ausgabe: Juni 2009

[58] **DGUV Information 213-057:** Gaswarneinrichtungen für den Explosionsschutz, Einsatz und Betrieb, Berufsgenossenschaft Chemie, Ausgabe Februar 2016 (T023 BGRCI)

18.5 Baurecht

[59] **Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634)**

[60] MUSTERBAUORDNUNG – **MBO** – FASSUNG NOVEMBER 2002 ZULETZT GEÄNDERT DURCH BESCHLUSS DER BAUMINISTERKONFERENZ VOM 13.05.2016

[61] Muster-Richtlinie über den Bau und Betrieb von Hochhäusern (Muster-Hochhaus-Richtlinie – **MHHR**), Fassung 2008 zuletzt geändert durch Beschluss der Fachkommission Bauaufsicht vom Februar 2012

[62] Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau1 (Muster-Industriebau-Richtlinie – **MIndBauRL**) Stand Juli 2014

[63] Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Verkaufsstätten∗) (Muster-Verkaufsstättenverordnung – **MVkVO**) Fassung September 1995

[64] Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten∗) (Muster-Versammlungsstättenverordnung – **MVStättVO**) Fassung Juni 2005 (zuletzt geändert durch Beschluss der Fachkommission Bauaufsicht vom Juli 2014)

[65] Muster einer Verordnung über den Bau und Betrieb von Garagen (Muster-Garagenverordnung **MGarVO**) Fassung Mai 1993, geändert durch Beschlüsse vom 19.09.1996, 18.09.1997 und 30.05.2008

[66] Muster-Richtlinie über bauaufsichtliche Anforderungen an Schulen (Muster-Schulbau-Richtlinie - **MSchulbauR**) Fassung April 2009

[67] Muster einer Verordnung über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern (Muster-Krankenhausbauverordnung - **MKhBauV0** - Fassung Dezember 1976 -

[68] Muster-Richtlinie über bauaufsichtliche Anforderungen an Wohnformen für Menschen mit Pflegebedürftigkeit oder mit Behinderung (Muster-Wohnformen-Richtlinie – **MWR**) Fassung Mai 2012

[69] Muster-Verordnung über den Bau und Betrieb von Beherbergungsstätten) (Muster-Beherbergungsstättenverordnung - **MBeVO**) - Fassung Dezember 2000, zuletzt geändert durch Beschluss der Fachkommission Bauaufsicht vom Mai 2014

[70] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Lüftungsanlagen (Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie **MLüAR**) Stand: 29.09.2005, zuletzt geändert durch Beschluss der Fachkommission Bauaufsicht vom 11. Dezember 2015

[71] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Leitungsanlagen (Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie **MLAR**) Fassung 10.2.2015 (Redaktionsstand 05.04.2016)

18.6 Weitere kostenfreie und offizielle Fundstellen im Internet:

- Rechtsakte der Europäischen Union: http://eur-lex.europa.eu/TodayOJ
- Rechtsfundstellen des Bundes: https://www.gesetze-im-internet.de
- Technische Regeln, wie TRGS, TRBS usw.: https://www.baua.de
- Regelwerke der DGUV: https://www.arbeitssicherheit.de/schriften.html
- Bauordnungsrecht der Länder auf: http://www.bauordnungen.de

A Anhang

A.1 Abkürzungsverzeichnis

AC	Wechselstrom (Alternating Current)
ADR	Gesetz zu dem Europäischen Übereinkommen vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
BoP	Balance of Plant – Nebenaggregate eines Brennstoffzellensystems, wie z.B. Lüfter, Pumpen, etc.
BZ	Brennstoffzelle
BZ-ESV	Brennstoffzellen Ersatzstromversorgung
cos φ	Wirkleistungsfaktor (auch Wirkfaktor)
CPN	Clean Power Net
DC	Gleichstrom (Direct Current)
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DMFC	Direkt-Methanol-Brennstoffzelle
ESV	Ersatzstromversorgung
geA	Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre
H2	Wasserstoff
IBC	Intermediate Bulk Container
NEA	Netzersatzanlage
NIP	Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
NOW	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
PEM, PEM-BZ,	Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle
ProdSG	Produktsicherheitsgesetz
PV	Photovoltaik
SOFC	Solid-Oxid-Brennstoffzelle / Festoxid-Brennstoffzelle
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TRBS	Technische Regeln für Betriebssicherheit
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
TCO	Total-Cost-of-Ownership / Gesamtkostenbetrachtung
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
zPbP	zur Prüfung befähigte Person
ZÜS	zugelassene Überwachungsstelle

Weitere Abkürzungen in Teil 2 referenzieren auf Abschnitt 18 und die jeweilige Referenz ist der Abkürzung zugeordnet.

A.2 Glossar

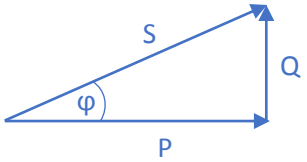
Anschlussleistung	Maximal zur Verfügung stehende Leistung an der Anschlussstelle
Brennstoff	Energieträger für Ersatz-Stromversorgungsanlagen
Brennstoffzellenstapel	In Serie verschaltete Einzelzellen in einem Brennstoffzellensystem, zur Erhöhung der Betriebsspannung
Energiedichte - gravimetrisch	Energie pro Masseneinheit
Energiedichte - volumetrisch	Energie pro Volumeneinheit
Ersatz-Stromversorgung	Anlage zur Versorgung von Installationen mit Strombedarf
Gebinde	Brennstoffbehältnis
Gebindebündel	Zusammenschluss mehrerer Brennstoffbehältnisse gleicher Art
Hybrid Modus	Verschaltung mit einer weiteren Energiequelle. Häufig in Kombination mit einer Photovoltaik Anlage und einer Batteriebank
Netzersatzanlage (NEA)	Anlage zur vorrübergehenden Überbrückung eines Stromausfalls
Notfall	Betrieb der ESV im Strombedarfsfall (Ausfall der regulären Stromversorgung)
Phasenwächter	Sensor zur Überwachung der Netzverfügbarkeit
Pufferbatterie	Batterie zum Ausgleich von Versorgungsschwankungen der primären Stromversorgung
Speichertank	Energiespeicher für Ersatz-Stromversorgungsanlagen (unabhängig von der Brennstoffart. Also sowohl für flüssige als auch gasförmige Brennstoffe)
Spitzenlast	Maximale abgeforderte Leistung durch die zu versorgenden Verbraucher
Stützbatterie	Batterie zur Überbrückung von kurzeitigen Stromausfällen bzw. kurzzeitigen Lastspitzen
Zeitmittelleistung	Durchschnittlicher Leistungsbedarf über einen längeren Zeitraum

A.3 Auslegung

A.3.1 Blindleistung (kVA vs. kW)

Induktive oder kapazitive Verbraucher (z.B. Elektromotoren, Transformatoren, Kondensatoren) in Dreh- und Wechselstromnetzen erfordern grundsätzlich Blindleistungsanteile. Werden mit der ESV solche Verbraucher versorgt, muss als Auslegungsgröße die Scheinleistung S (in kVA) verwendet werden, welche sich aus Wirkleistung P und Blindleistung Q zusammensetzt:

$$S=\sqrt{P^2+Q^2}$$



Die resultierende Wirkleistung P (in kW), die am Verbraucher letztendlich umgesetzt wird, ergibt sich aus der Scheinleistung über den Wirkleistungsfaktor cos φ:

$$P=S\cdot \cos\varphi$$

Der Phasenwinkel φ beschreibt dabei die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom.

Der Wirkleistungsfaktor, und somit der Blindstromanteil, ergibt sich aus den tatsächlichen Induktivitäten der zu versorgenden elektrischen Verbraucher. Vereinfacht kann ein typischer Richtwert von cos φ = 80 % angenommen werden – d.h. die Auslegung einer ESV muss mit einem Zuschlag für die Blindleistungskomponente von typischerweise 25 % erfolgen.

A.3.2 Anlaufströme

Müssen elektrische Maschinen wie z.B. Elektromotoren versorgt werden, so sind außerdem hohe Anlaufströme zu berücksichtigen. Die Anlaufströme erreichen kurzfristig das 6 bis 8-fache des Nennstromes. Dabei sinkt der cos φ allerdings gleichzeitig auf etwa $0{,}5 \cdot \cos\varphi_{\mathrm{Nenn}}$. Für die Leistung beim Anlauf ergibt sich also:

$$P_{Anlauf}=U\cdot I_{Anlauf}\cdot \cos\varphi_{Anlauf} = U\cdot 6\cdot I_{Nenn}\cdot 0{,}5\cdot \cos\varphi_{Nenn} =3\cdot P_{Nenn}$$

Somit muss der Stromerzeuger beim Anlauf eines Elektromotors kurzzeitig etwa die 3-fache Nennleistung aufbringen können.

Im Folgenden wird beispielhaft die Auslegung einer Diesel- und einer BZ-ESV für einen 2,4 kW Elektromotor als Drehstromverbraucher in Sternschaltung (Y) dargestellt und verglichen. Der Anlaufstrom beträgt in diesem Beispiel das 7-fache des Nennstroms.

Beispiel 2,4 kW Elektromotor

Nennstrom	4,3 A
cos φ (Nennstrom)	0,8
Anlaufstrom	30,1 A
Dauer	5s
cos φ (Anlaufstrom)	0,4
3-phasiger Drehstrom	
Spannung	400 V
Verschaltung	Y
Verkettungsfaktor	$\sqrt{3}$

Anlauf des Elektromotors

$$P = \frac{(400V * 30{,}1A * \sqrt{3} * 0{,}4)}{1000} = 8{,}3\ kW$$

$$S = P/\cos\varphi = 8{,}3\ kW/0{,}8 = 10{,}4\ kVA$$

Auslegung Diesel-ESV: **10,4 kVA**

Auslegung BZ-ESV*
Batterie für Anlaufstrom: 0,04 Ah
BZ für Dauerbetrieb: **3,3 kW**

** Wirkungsgrad DC/AC = 0,9*

Abbildung A-1: Unterschiedliche Auslegung einer BZ- und Diesel-ESV für die Versorgung einer induktiven Last mit hohem Einschaltstrom

A.3.3 Beispielrechnung der vorzuhaltenden Menge Brennstoff für Wasserstoff

Im Folgenden wird am Beispiel Wasserstoff eine detaillierte Berechnung der vorzuhaltenden Menge Brennstoff für eine Mindestüberbrückungsdauer T dargelegt.

Die Speicherung von Wasserstoff erfolgt in diesem Beispiel in Form von Druckgasflaschen. Hier wurde mit Blick auf die Wirtschaftlichkeit und eine sichere Infrastruktur auf gängige 50 L Druckgasstahlflaschen mit einem Fülldruck von 250 bar und entsprechende Flaschenbündel gesetzt.

Der nutzbare Brennstoffinhalt $m_{H_2/Flasche}$ ist die Masse an Wasserstoff, die aus der Druckgasflasche entnommen werden kann. Hierzu wird die Wasserstoffmasse m_{H2} in der Flasche mit Volumen V_0 bei Nenndruck (p=250 bar) sowie bei Restdruck (p=10 bar) bestimmt. Zur Abbildung des Realgasverhaltens von Wasserstoff wird der Kompressionsfaktor Z mit tabellierten Parametern verwendet.

$$m_{H_2}(p,V) = \frac{p \cdot V_0}{Z(p)}$$

$$Z\ (250\ bar) = 1{,}201 \qquad Z\ (10\ bar) = 1{,}007$$

$$m_{H_2/Flasche} = m_{H_2}(250\ bar) - m_{H_2}(10\ bar) = 1{,}0\ kg$$

Die zu speichernde Wasserstoffmenge bzw. die Anzahl der vorzuhaltenden Flaschen $n_{Flaschen}$ ergibt sich aus der mittleren Leistung des Standortes $\overline{P}$, der geforderten Betriebsdauer T, dem Wirkungsgrad des Gesamtsystems η, dem Wasserstoffinhalt einer Flasche $m_{H_2/Flasche}$ und dem Heizwert von Wasserstoff ΔH_u:

$$n_{Flaschen} \geq \frac{\overline{P} \cdot T}{\eta \cdot m_{H_2/Flasche} \cdot \Delta H_u}$$

Mit den Parametern:

$$\overline{P} = \frac{\text{Tagesenergiebedarf in kWh}}{24\ h}$$

$$T = T_{Laufzeit} + T_{Testbetrieb}$$

η_{Sys} = Systemwirkungsgrad

$m_{H_2/Flasche}$ = Masse Wasserstoff pro Flasche

ΔH_u = 33,33 kWh/kg

A.3.4 Brennstoffversorgung

Die Brennstoffversorgung bestimmt die mögliche Überbrückungsdauer und erlaubt durch geschickte Auslegung eine Maximierung des wirtschaftlichen Potentials.

Für die Speichergebinde gibt es oftmals die Optionen, sie zu mieten oder zu kaufen. Je nach Anwendungsfall kann die kostengünstigere Alternative gewählt werden. Beim Kauf der Speicher ist der Betreiber für die Wartung verantwortlich.

Bei gasförmigen Brennstoffen gilt es zudem, die Anzahl lösbarer Verbindungen zu minimieren. Nach einem Flaschentausch sind diese jedes Mal auf Dichtigkeit zu prüfen. Konkret heißt dies beispielsweise bei Wasserstoff, dass die Versorgung mit vorkonfektionierten Flaschenbündeln zu bevorzugen ist. Ein Flaschenbündel besteht z.B. aus 12 Einzelflaschen, die fest in einem Rahmen installiert sind. Zur Anlage gibt es dann nur noch eine Verbindung anstelle von 12. Das Logistikkonzept und die Möglichkeiten der Anlieferung (Gewichtsbeschränkungen) können einer solchen Lösung widersprechen.

Hinweis:
Angeschlossene Wechselflaschen dürfen benutzt werden auch wenn die Prüffrist bereits überschritten wurde (kein Tausch voller Flaschen).
Die Maximalfrist bei Stahlflaschen beträgt das Doppelte der Zulässigen Maximalfrist (also max. 20 Jahre), bei Compound-Behältern, das 1,5fache (also max. 15 Jahre).

A.3.5 Versorgungskonzept für eingeschränkt erreichbare Ziele

Über gut befahrbare Wege erreichbare Standorte können direkt per LKW angefahren werden. Für eingeschränkt erreichbare Standorte wird auf noch normal befahrbaren Wegen ein Übergabepunkt vereinbart, an dem ein Umladen der benötigten Flaschen vom Standard-LKW in ein geländegängiges Lieferfahrzeug erfolgt. Dies kann ein geländegängiger Transporter sein, der mit entsprechenden Belüftungen, Verankerungsmöglichkeiten sowie einer gasdichten Trennwand ertüchtigt wurde, um genehmigungsfreie Mengen von Gasflaschen bis direkt zum Standort oder zum nächsten Übergabepunkt zu transportieren. Der ggf. notwendige Transport für stark eingeschränkt erreichbare Standorte kann innerhalb der „letzten Meile“ mit entsprechender Ausrüstung (robuste Sackkarre bzw. Gasflaschentransportwagen) erfolgen.

Abbildung A-2 visualisiert verschiedene Transportkonzepte in Abhängigkeit von der Erreichbarkeit beispielhaft.

Bei der Auswahl der Gaslieferanten sollte somit neben den Kosten und der Reinheit der Gase auch auf die Möglichkeiten der Anlieferung geachtet werden.

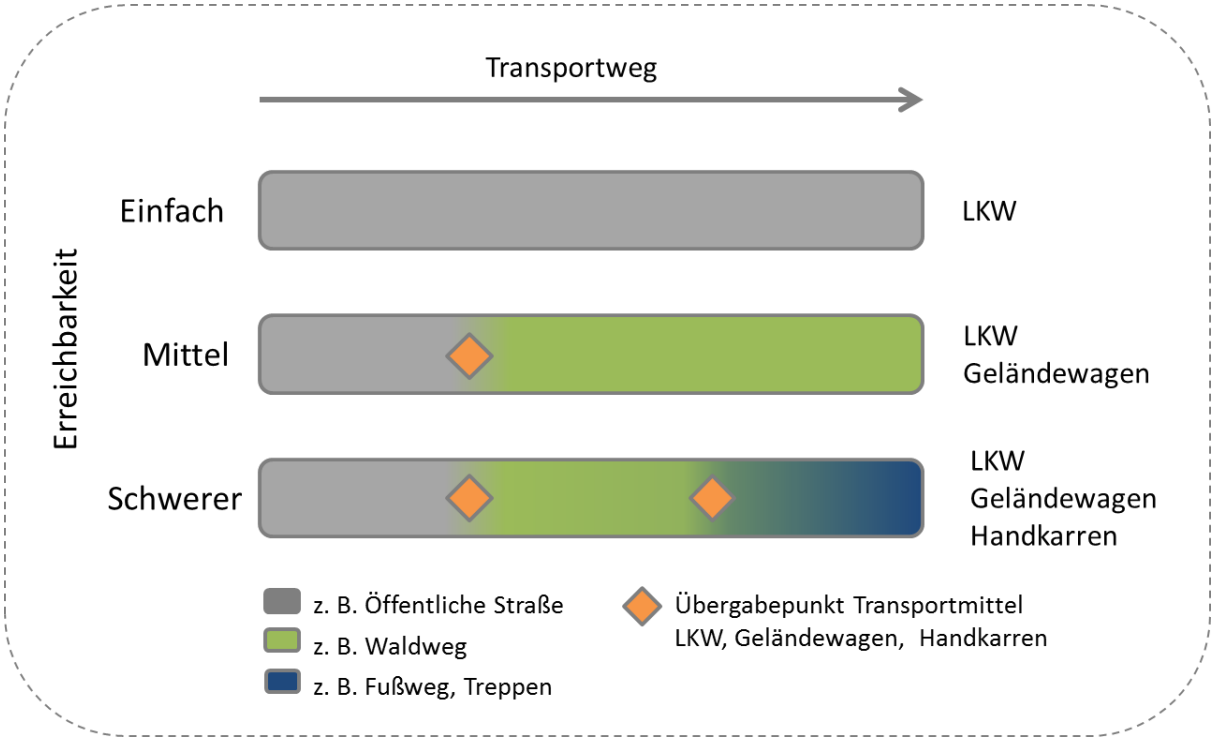


Abbildung A-2: Beispiel für ein Versorgungskonzept je nach Erreichbarkeit des Standorts

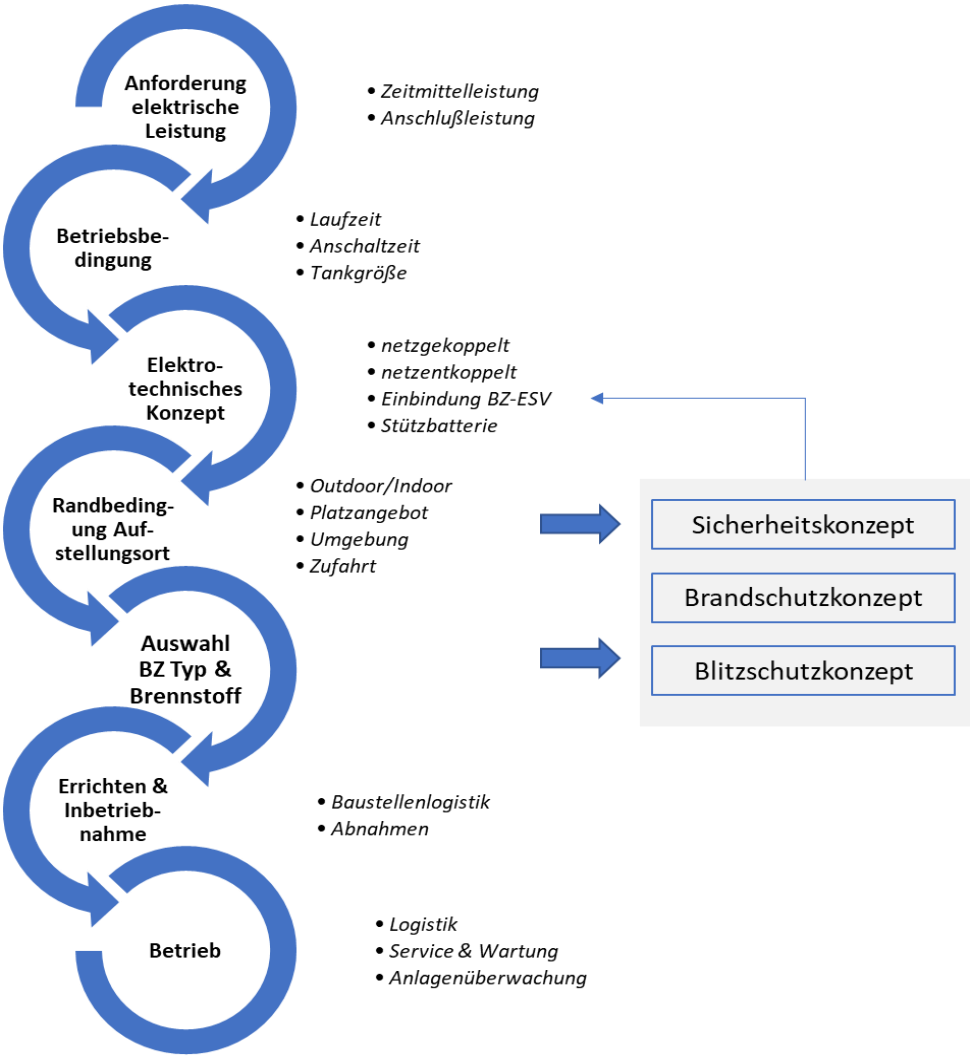
A.4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Unterscheidung der ESV-Anlagen in netzge- und netzentkoppelte Anlagen
Abbildung 2-2: Übersicht zum Planungsleitfaden
Abbildung 3-1: Prinzipschaltbild Brennstoffzellensystem
Abbildung 3-2: Prinzipschaltbild einer BZ-ESV
Abbildung 3-3: Typische Kennwerte von kommerziell verfügbaren Brennstoffzellensystemen
Abbildung 3-4: Brennstoffzellen sind besonders geeignet für lange Überbrückungszeiten
Abbildung 3-5: Gravimetrische Energiedichten verschiedener Brennstoffe
Abbildung 3-6: Beispiel für eine wasserstoffbetriebene BZ-USV
Abbildung 3-7: Beispiel einer methanolbetriebenen BZ-ESV
Abbildung 4-1: Auswahl Brennstoffzelle und zugehörigen Brennstoff
Abbildung 4-2: Schematische Darstellung eines Lastverlaufs und die resultierende Auslegung von BZ- und Diesel-ESV.
Abbildung 4-3: Unterschiedliche modulare Konzepte
Abbildung 4-4: Beispiel einer Verschaltung zur Versorgung von AC und DC-Verbrauchern
Abbildung 4-5: Beispiel einer Verschaltung zur Versorgung von reinen DC Verbrauchern
Abbildung 10-1: Rechtssystem der Produkt- und Betriebssicherheit im EWR und in Deutschland (Quelle: Kräft)
Abbildung 11-1: Überblick aktuelle Rechtsvorschriften - Beschaffenheitsanforderung (Produktsicherheit) nach 18.1 (Quelle: Kräft)
Abbildung 11-2: Normungskonzept der Maschinensicherheit (vgl. Leitfaden Maschinensicherheit in Europa 28. Erg.-Lieferung Juni 2008)
Abbildung 11-3: Der Weg zum sicheren Produkt (vgl. Leitfaden Maschinensicherheit in Europa 28. Erg.-Lieferung Juni 2008)
Abbildung 11-4: Produktsicherheit im Zusammenhang zwischen Hersteller und Benutzer zur Risikominderung (Quelle: Kräft, in Anlehnung an DIN EN ISO 12100:2011)
Abbildung 12-1: Rechtsgebiet Betriebssicherheit, vgl. 18.2.3 (Quelle Kräft)
Abbildung 13-1: Risiko- und/oder Gefährdungsbeurteilung und ggf. Zündquellenanalyse (Quelle: Kräft)
Abbildung 14-1: Darstellung der Rangfolge der Schutzmaßnahmen STOP-Prinzip (Quelle: Kräft)
Abbildung 14-2: Verbrennungsfünfeck (Quelle: Kräft)
Abbildung 14-3: Maßnahmen der Gefahrstoffverordnung bei potenziellen Brand- und Explosionsgefährdungen (Quelle: Kräft)
Abbildung 14-4: Integriertes Explosionsschutzkonzept (Quelle: Kräft)
Abbildung 14-5:Zündquellenanalyse und -bewertung zur Zündquellenvermeidung des sekundären Explosionsschutzes (Quelle: Kräft)
Abbildung 14-6: Zoneneinteilung explosionsgefährdeter Bereiche für Gase, Dämpfe, Nebel nach GefStoffV [26] (Quelle: Kräft)
Abbildung 15-1: Arbeitsmittelprüfungen (Quelle: Kräft)
Abbildung 16-1: Standards durch Muster-Bauordnungsrecht zum Landesrecht, vgl. Abschnitt 18.5 (Quelle: Kräft)
Abbildung 17-1: 1000-Punkte-Regel gemäß Abschn. 1.1.3.6 ADR [34]
Abbildung 17-2: Druckgasbehälterkennzeichnung (Quelle:Kräft)
Abbildung 17-3: Erforderliche Fahrzeugkennzeichnung bei nicht hinreichenden Lüftungsquerschnitten (Bildquelle: Kräft)
Abbildung A-1: Unterschiedliche Auslegung einer BZ- und Diesel-ESV für die Versorgung einer induktiven Last mit hohem Einschaltstrom
Abbildung A-2: Beispiel für ein Versorgungskonzept je nach Erreichbarkeit des Standorts

A.5 Checklisten

Die vorliegende Checkliste soll den Planungsvorgang unterstützen. Alle Referenzen beziehen sich auf den CPN Planungs- und Genehmigungsleitfaden.

<u>Übersicht:</u>



Bei den nachfolgenden beiden Seiten handelt es sich um die beispielhafte Darstellung eines Excel-Tools (unausgefüllt) zur Berechnung der Basisinformationen eines BZ-Systems. Das aktive Tool wird Ihnen auf Anfrage an tobias.koenig@now-gmbh.de kostenlos per Mail zur Verfügung gestellt.

Basisinformationen

Betriebsart		**Auswahlfelder**
Art der Anwendung		**Eingabefeld**
		Berechnung

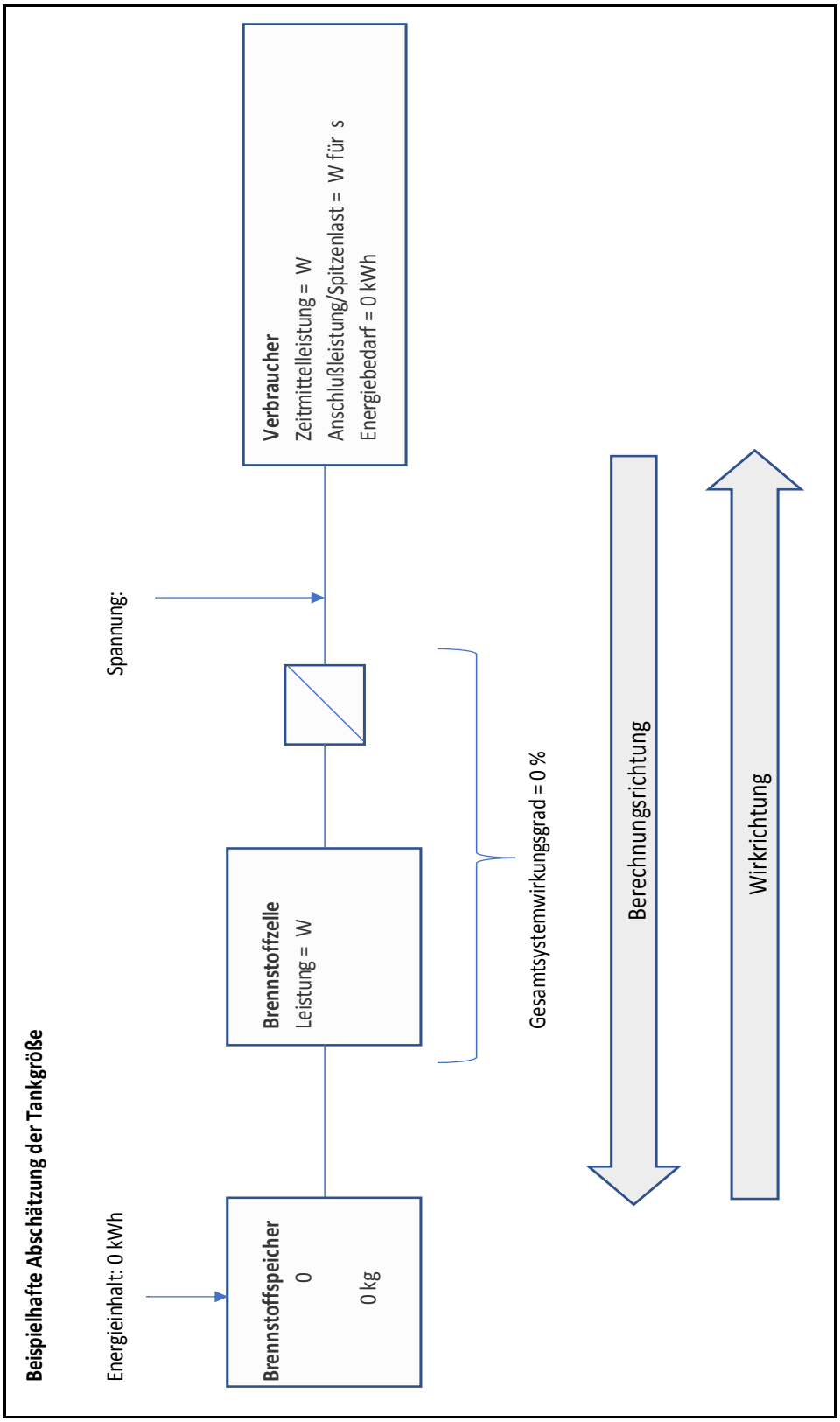
Elektrische Verbraucher

Art der Verbraucher		
Spannungsebene	☐ 48 V DC ☐ 230 V AC	
	sonstige, bitte angeben	
Anschlußleistung/Spitzenlast		**W**
Zeitdauer der Spitzenlast		**s**
Zeitmittelleistung		**W**
erforderliche Betriebsdauer		**h**
==> Energiebedarf der Verbraucher	0	**kWh**

Aus Herstellerangaben

Wirkungsgrad Gesamtsystem inkl. Wandler		**%**
==> Energieinhalt Brennstofftank	0	**kWh**
Auswahl Brennstoff		
Mindestmenge Brennstoff	0	**kg**

Abschätzung Speicher	**Tankgröße**	**Gebinde**
Wasserstoff @ 200 bar	0	Druckgasbehälter mit 50l
Wasserstoff @ 300 bar	0	Druckgasbehälter mit 50l
Flüssiggas @ 5kg/Flasche	0	Druckgasbehälter
Flüssiggas @ 11kg/Flasche	0	Druckgasbehälter
Flüssiggas @ 33kg/Flasche	0	Druckgasbehälter
Methanol (rein)	0	Liter


Beispielhafte Abschätzung der Tankgröße
Energieinhalt: 0 kWh
Brennstoffspeicher
0
0 kg
Brennstoffzelle
Leistung = W
Spannung:
Verbraucher
Zeitmittelleistung = W
Anschlußleistung/Spitzenlast = W für s
Energiebedarf = 0 kWh
Gesamtsystemwirkungsgrad = 0 %
Berechnungsrichtung
Wirkrichtung

Checkliste Planung

Status ankreuzen! X

Nr	Kapitel im Leitfaden Teil 1	Bezeichnung	gestartet	final	freigegeben	
		Planung				
1	4.1.	Auslegung der Leistung: Anschluss- und Zeitmittelleistung, Art der Verbraucher				
2	4.2.	Festlegung Betriebsdauer				
3	4.2.	Abschätzung des Brennstoffbedarfes				
4	4.3.2.	Bewertung von Redundanzanforderungen				
5	4.3.; 4.3.3.; 4.3.5.; 4.3.6.	Konzept zur elektrotechnischen Einbindung				
6	4.4.	Auswahl Brennstoffzellentyp				
7	4.4.	Auswahl Brennstoff				
8	4.4.	Tankgröße / Gebindeart für den Brennstoff festlegen				
9	4.5.	Sicherheitskonzept				
10	4.5.	Einbinden in das Brandschutzkonzept				
11	4.5.	Einbinden in das Blitzschutzkonzept				
12	4.6.	Allgemeine Anlagenbeschreibung mit Definition der Schnittstellen				
		Errichten				
13	4.6.; 5.1.	Festlegung Aufstellungskonzept				
14	5.2.	Klärung der Baustellenlogistik				
		Inbetriebnahme				
15	6	Inbetriebnahme				
		Betrieb				
16	7.2	Festlegung der Intervalle der Selbsttests				
17	7.3	Wartungsplan				
18	7.4	Konzept für die Brennstofflogistik				

Produktsicherheit und Betriebssicherheit

Erfordernisse	JA	Nein	Anmerkungen
Sind alle notwendigen Betriebsparameter für die Anlage erfasst? (hierzu zählen: Raum- bzw. Umgebungstemperaturen, Luftfeuchte usw.)	☐	☐	
Wurden die betrieblich erforderlichen Leistungsdaten der Anlage ermittelt?	☐	☐	
Liegt eine hinreichende Bau- und Betriebsbeschreibung der Anlage vor?	☐	☐	
Gibt es alle notwendigen Pläne (Raum- und Lagepläne mit Schnitten usw.)?	☐	☐	
Ist die bestimmungsgemäße Verwendung definiert?	☐	☐	
Wurde ein Lastenheft für die Ausschreibung erstellt?	☐	☐	
Wurde für die Anlage ein Pflichtenheft vom Hersteller erstellt?	☐	☐	
Existiert für das System ein hinreichendes Sicherheitskonzept?			
Gibt es für das Produkt eine Risikobeurteilung nach DIN EN 1200:2011?	☐	☐	
Gibt es für sicherheitsrelevante Bauteile oder Funktionen ein festgelegtes Performance Level nach DIN EN 13849-1:2016?	☐	☐	
Gibt es zu einem festgelegten Performance Level die erforderliche Validierung nach DIN EN 13849-2:2013?	☐	☐	
Falls nein, durch welche alternative (mindestens gleichwertige) Sicherheitsmaßnahmen wird die funktionale Sicherheit gewährleistet und validiert?	☐	☐	
Liegen für das System alle Benutzerinformationen als Teil der technischen Dokumentation des Herstellers vor?	☐	☐	
EU-Konformitätserklärung(en)	☐	☐	
Bedienungsanleitung	☐	☐	
Sicherheitskonzept	☐	☐	
R- & I-Schemata	☐	☐	
Stromlaufpläne	☐	☐	
Prüfprotokolle (Elektrotechnik)			
Hat die ausführende/prüfende Elektrofachkraft die erforderliche Befähigung und Messtechnik?	☐	☐	

DIN EN 60204-1 VDE 0113-1:2007-06 (Geeignete Messtechnik)	☐	☐	
DIN VDE 0100-600 VDE 0100-600:2017-06 (Geeignete Messtechnik)	☐	☐	
DIN EN 60079-17 VDE 0165-10-1:2014-10 (Geeignete Messtechnik)	☐	☐	
Prüfprotokolle VDMA 4390-1,-2,-3 für Reinstgasversorgungsanlagen mit Druck- und Dichtheitsprüfungen?	☐	☐	
Gibt es ein Explosionsschutzkonzept?	☐	☐	
Wurde das Integrierte Explosionsschutzkonzept verwirklicht (Rangfolge der Schutzmaßnahmen, STOP-Prinzip)?	☐	☐	
Gibt es eine Gefährdungsbeurteilung (GB)?	☐	☐	
Ist die GB arbeitsplatz- und tätigkeitsbezogen?	☐	☐	
Ist die Gefährdungsbeurteilung plausibel (GDA-Leitlinien)?	☐	☐	
Gibt es ein Arbeitsfreigabesystem in der GB?	☐	☐	
Wurden erforderliche Prüfungen, mit Prüfanlass, Prüftiefe, Prüfperson und Prüfintervall festgelegt?	☐	☐	
Gibt es ggf. ein Explosionsschutz-dokument mit den erforderlichen Angaben und Plänen?	☐	☐	
Wurde im Rahmen der Prüfung vor Inbetriebnahme die erforderliche Dokumentation/Prüfbescheinigung durch die Prüfperson erstellt und ausgehändigt?	☐	☐	
Sind die erforderlichen Anlagenunterlagen vollständig mit Prüfdokumentation am Anlagenbetriebsort zur Einsichtnahme Vorhanden?	☐	☐	
Wurde eine Betriebsanweisung zur Anlage nach § 12 BetrSichV vom Betreiber erstellt?	☐	☐	
Wurde eine Betriebsanweisung zur Anlage nach § 14 GefStoffV in Verbindung mit TRGS 555 vom Betreiber erstellt?	☐	☐	
Wurden die Beschäftigten anhand der Betriebsanweisungen unterwiesen?	☐	☐	
Gibt es die erforderliche Unterweisungsdokumentation?	☐	☐	
Sind hinreichend geeignete Löschmitteleinheiten oder Löschanlagen vorhanden?	☐	☐	

Ist die Brennstofflieferung gesichert? (Zuwegungen und Erreichbarkeit innerhalb der Anlage)	☐	☐	
Ist die Anlagenaufstellung standsicher?	☐	☐	
Sind keine anlagenfremden Komponenten im Betriebsraum der Anlage vorhanden?	☐	☐	
Ist für eine hinreichende Be- und Entlüftung gesorgt?	☐	☐	
Ist der Zugriffschutz durch Unbefugte hinreichend gewährleistet (Angriffhemmung)?	☐	☐	
Gibt es ein Not-Halt für das System (DIN EN ISO 13850:2016-05	☐	☐	
Ist der Wiederanlaufschutz des Systems nach Auslösen der Sicherheitskette gewährleistet?	☐	☐	
Sind *alle* vorhandenen Sicherheitsfunktionen auch nachvollziehbar überprüft worden?	☐	☐	
Werden eventuell auftretende Überdrucke durch hinreichend dimensionierte Überdruck-Ausblasleitungen sicher ins Freie abgeführt?	☐	☐	
Wurde explosionsfähige Atmosphäre dabei sicher ausgeschlossen?	☐	☐	
Gibt es dabei explosionsfähige Atmosphäre?	☐	☐	
Falls geA nicht sicher verhindert werden kann, sind im explosionsgefährdeten Bereich alle Zündquellen sicher vermieden?	☐	☐	
Wohin werden Purgegase sicher in ungefährdete Bereiche abgeführt?	☐	☐	
Wurde explosionsfähige Atmosphäre dabei sicher ausgeschlossen?	☐	☐	
Falls geA im Purge nicht sicher verhindert werden kann, sind im explosionsgefährdeten Bereich alle Zündquellen sicher vermieden?	☐	☐	
Wurde bei Anlagenplanung und Errichtung erforderliche Abstände und Bewegungsflächen für erforderlich Instandhaltungsmaßnahmen berücksichtigt (ArbStättV, ASR)?	☐	☐	
Wurden alle erforderliche baurechtlich ggf. erforderlichen Erlaubnisse oder Nutzungsänderungsanträge gestellt und bewilligt?	☐	☐	
Wurde ggf. die erforderliche Kennzeichnung an der Anlage	☐	☐	

dauerhaft angebracht (Kennzeichnung nach ASR A1.3)			
Ggf. Flucht- und Rettungsplan (DIN 14095:2007) erstellt und ausgehängt?	☐	☐	
Ggf. Brandschutzordnung erstellt bzw. eine vorhandene evaluiert? (DIN 14096:2014)	☐	☐	
Ggf. Explosionsschutz-Zonenplan (DIN EN 60079-10-1:2016) erstellt und ausgehängt	☐	☐	
Raum für individuelle Eintragungen			
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	

A.6 Autoren

Benedikt Eska (Firma Technology Management SK):

- 2009 Gründung von Technology Management SK als Beratungsunternehmen mit Fokus auf Brennstoffzellentechnologie
- erstes Projekt im Bereich Brennstoffzelle 1999
- 2014 – 2017 Interim Geschäftsführer Startup im Bereich „Strom aus Wärme“
- 2011 - 2014 Lehrauftrag für Energietechnik an der Hochschule München
- 9 Jahre in leitender Funktion eines deutschen Brennstoffzellenunternehmens und Vorstand der englischen Holding.
- mehr als 10 Jahre Erfahrung als Unternehmensberater
- Abschluss als Diplom-Physiker, TU München
- mehrere Projekte im Bereich USV Systeme für kritische Infrastrukturen inkl. Vermessung von Standorten und Erstellung der technischen Spezifikation für Ausschreibeunterlagen

Marcel Corneille (Firma EMCEL GmbH):

- Gründung EMCEL GmbH in 2012, Geschäftsführer
- Gründung Ingenieurbüro EMCEL in 2009
- 10-jährige Berufstätigkeit bei
    - DaimlerChrysler AG,
    - Ballard Power Systems AG und
    - XCELLSIS GmbH
- Dipl.-Ing. (FH) Maschinenbau
- mehrere Projekte im Bereich Planung von BZ-USV Systemen und Wasserstofftankstellen, sowie normgerechter Entwicklung

Mario Kräft (Firma Ex.CE.L Unternehmensberatung und Arbeitsschutz)

- 1977-1987 Beamter der Bundeszollverwaltung in Berlin
- 1984-1988 Abendgymnasium
- 1988-1992 Studium Maschinenbau-Sicherheitstechnik in Berlin
- 1991-1993 Bundesanstalt für Materialforschung und -Prüfung (BAM) in Berlin (Explosionsschutz, Chemische Sicherheitstechnik)
- 1993 Autor: Explosionsschutz mit Flammensperren, 2. Aufl.: ISBN 13: 9783926535535
- 1993-1995 Selbständiger Sicherheitsingenieur
- 1995-2002 Staatlich geprüfter technischer Gewerbeaufsichtsbeamter im Land Berlin
- Seit 1997 Sachverständiger für Explosionsschutz (zur Prüfung befähigte Person für Explosionsgefährdungen)
- 1999 Gründung Ex.CE.L Unternehmensberatung und Arbeitsschutz (Inhaber)
- 1999 Studium Wirtschaftsingenieurwissenschaften in Berlin
- Seit 2005 diverse private und öffentlich-rechtliche Aufträge und Projekte in Sachen Produktsicherheit sowie Anlagenplanung
- 2006 Gründung von Ex.CE.L Arbeitsschutz e. V. (seither Vorstandsvorsitzender)
- 2006 Dozent im Arbeitsschutz (Ausbildungsberechtigung der BAuA/DGUV für die FASi-Ausbildung)
- 2006 Beratender Ingenieur Baukammer Berlin
- Seit 2014 Fachgebietsverantwortlicher und Lehrbeauftragter für Maschinen- und Anlagensicherheit an der TH Wildau
- Seit 2015 Co-Autor für 7 sicherheitstechnische Fachbücher beim Forum Verlag Herkert

Clean Power Net (CPN) wird durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur gefördert und von der Nationalen Organisation für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW GmbH) koordiniert.

Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

nip
Nationales Innovationsprogramm
Wasserstoff- und
Brennstoffzellentechnologie

NOW
Nationale Organisation Wasserstoff-
und Brennstoffzelltechnologie

www.cleanpowernet.de