

**IFA**

Institut für Arbeitsschutz der  
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

**Trendkategorie:** Klimawandel, Natur- und Ressourcenschutz, Dekarbonisierung

# Alternative Kraftstoffe

*Alternative Kraftstoffe unterteilen sich einerseits in erneuerbare Kraftstoffe und andererseits in die fossilen Energieträger Flüssiggas (Liquefied Petroleum Gas, LPG, d. h. Propan, Butan oder ein Gemisch aus beiden), und Erdgas (Compressed Natural Gas, CNG, Hauptbestandteil Methan) sowie in synthetische flüssige Kraftstoffe auf Basis von Erdgas oder Kohle<sup>z.B. 1; 2</sup>.*



Erneuerbare Kraftstoffe stehen im Fokus dieser Trendbeschreibung. Sie sind organischen Ursprungs (biogen) oder strombasiert. Biogene Kraftstoffe (Biokraftstoffe) können vielfältig eingesetzt werden: als Kraftstoff für Dieselmotoren in Form von Biodiesel aus Fettsäuremethylestern (auch FAME – Fatty Acid Methyl Ester – genannt) oder HVO (Hydrogenated Vegetable Oils)-Diesel aus hydrierten Pflanzenölen, als Kraftstoff für Ottomotoren in Form von Bioethanol als Beimischung zu Benzin (E5, E10), als Biomethan zum Antrieb von Erdgasfahrzeugen, als Schifftreibstoff in Form von Biomethanol und als Flugtreibstoff in Form von HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids)-Kerosin. Biokraftstoffe werden aus Biomasse hergestellt und liegen in flüssiger Form (Biodiesel, HVO-Diesel, Bioethanol, Biomethanol, HEFA-Kerosin) oder gasförmig (Biomethan) vor<sup>2; 3</sup>. Man unterscheidet Biokraftstoffe auch hinsichtlich der Biomasserohstoffe in:

- konventionelle biogene Kraftstoffe auf Basis von Anbaubiomasse (z. B. Gerste, Mais, Raps, Zuckerrohr, Palm- und Sojaöl),
- Kraftstoffe aus genutzten Speiseölen und Tierfetten,
- fortschrittliche biogene Kraftstoffe aus biogenen Rest- und Abfallstoffen (meist aus Stroh und Gülle, aber auch aus Ernteabfällen und biogenem Siedlungsmüll) sowie kultivierten Algen

Aufgrund der Nutzungskonflikte bei der Anbaubiomasse sollen zukünftig vor allem fortschrittliche biogene Kraftstoffe zum Einsatz kommen<sup>4; 5</sup>. Ölpflanzen und Altspeiseöle werden zunächst zu HVO verarbeitet und so zur Kraftstoffherstellung genutzt<sup>3; 6</sup>.

Zu den strombasierten Kraftstoffen (E-Fuels) zählen Wasserstoff und seine Folgeprodukte<sup>7</sup>. Ihnen wird das größte Potenzial zur Einsparung von Treibhausgasemissionen zugeschrieben<sup>8</sup> – auch aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit biogener Kraftstoffe<sup>9</sup>. Sogenannter grüner Wasserstoff entsteht durch Elektrolyse von Wasser mit Strom aus überschüssigen erneuerbaren Energien (EE). Wasserstoff kann direkt als Energieträger dienen (z. B. in Brennstoffzellen) oder in einem Folgeschritt mit Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) mittels Power-to-Liquid (PtL)- bzw. Power-to-Gas (PtG)-Prozess in synthetische Kraftstoffe umgewandelt werden<sup>7</sup>. Diese können in verschiedenen Aggregatzuständen vorliegen: flüssig (E-Benzin, E-Diesel, E-Kerosin, E-Methanol (CH<sub>3</sub>OH)), gasförmig/flüssig (E-Ammoniak (NH<sub>3</sub>)) oder gasförmig/flüssig/verdichtet (E-Methan (CH<sub>4</sub>), Wasserstoff).

Die Herstellung erneuerbarer Kraftstoffe kann auch im Sun-to-Liquid-Verfahren erfolgen. Bei diesem Verfahren im Entwicklungsstadium wird aus Sonnenlicht, Wasser und Luft in einem solar-thermochemischen Prozess derzeit drop-in-fähiges Kerosin hergestellt<sup>10; 11</sup>. Drop-in-Fähigkeit bedeutet eine Kompatibilität mit bestehenden Flotten, ohne dass technische Änderungen der Verkehrsmittel oder gesonderte Infrastrukturen benötigt werden.



## Was beschleunigt, was bremst den Trend?

Größter Treiber einer nachhaltigen Mobilität ist der Klimawandel. Die Europäische Union (EU) hat 2023 in der „RED III“, einer Revision der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED), die in nationales Recht umzusetzen ist, einen Mindestanteil von 29 % EE am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors im Jahr 2030 beschlossen<sup>12</sup>. In Deutschland lag er im Jahr 2023 bei 7,5 %<sup>13</sup>. Die RED III bestimmt einen Anteil von 5,5 % fortschrittlicher Biokraftstoffe und erneuerbarer Kraftstoffe nicht-biologischen Ursprungs (Renewable Fuels of Non-Biological Origin, RFNBOs) am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors, wobei mindestens 1 % auf RFNBOs entfallen muss. Gleichzeitig wird der Einsatz von Biokraftstoffen und Biogas aus gebrauchtem Speiseöl auf 1,7 % und der

von konventionellen Biokraftstoffen zum Schutz von natürlichen Kohlenstoffsinken und Flächen mit hohem Wert für die Biodiversität auf 7 % begrenzt<sup>12</sup>. Bis zum Jahr 2030 sollen mit alternativen Kraftstoffen 10 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden<sup>4</sup>.

Auch der Wunsch nach größerer Resilienz in Bezug auf globale Ereignisse wie Kriege sowie auf aktuelle Spannungen in gewachsenen Wirtschaftsbeziehungen befördert den Aufbau einer nachhaltigen Mobilität. Damit einher geht die Absicht, Rohstoffabhängigkeiten zu verringern und die Versorgungssicherheit zu erhöhen<sup>14; 15</sup>. Der Einsatz alternativer Kraftstoffe kann die Nutzung alternativer Antriebe (Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie)



insbesondere in schwer elektrifizierbaren Bereichen wie Luftfahrt, Schifffahrt und schwerem Straßengüterverkehr sinnvoll ergänzen<sup>4; 5</sup>. Der Einsatz von E-Fuels im Straßenverkehr wird kritisch bewertet, da hier Elektromobilität energieeffizienter und kostengünstiger einsetzbar ist<sup>8; 15</sup>, allerdings könnten sich höhere Beimischungsquoten von Biokraftstoffen realisieren lassen<sup>8</sup>. FAME darf fossilem Diesel derzeit zu maximal 10 %, Bioethanol Benzin zu 5 % (E5) oder 10 % (E10) beigemischt werden. Nur wenige Anbieter auf dem europäischen Markt bieten sogenannte Flexible Fuel Vehicles (FFV) an, deren Motoren speziell für E85 (85% Bioethanol und 15% Benzin) konzipiert wurden; bei nicht-FFV muss der Motor für E85 freigegeben sein<sup>16</sup>. Gleiches gilt für den drop-in-fähigen HVO100-Diesel<sup>17</sup>. Eine Akzeptanz höherer Beimischungsquoten setzt auch voraus, dass die benötigte Biomasse aus nachweislich nachhaltigen Quellen stammt.

Brennstoffzellenfahrzeuge haben große Anwendungspotenziale im Bereich der Schwerlasttransporte, bei Bussen im öffentlichen Nahverkehr und bei Land- und Baumaschinen<sup>18</sup>. Daher wird z. B. ein Infrastruktur-Grundnetz zum Tanken von wasserstoffbetriebenen Lkw entlang des trans-europäischen Verkehrsnetzes in Deutschland aufgebaut und der Ausbau der Tankinfrastruktur für Nutzfahrzeuge an Depots, Logistik-Hubs und Betriebshöfen unterstützt<sup>19</sup>. Um den Markthochlauf alternativer Kraftstoffe zu unterstützen, hat die Bundesregierung 1,54 Milliarden Euro für ein Förderkonzept im Zeitraum von 2021 bis 2024 bereitgestellt<sup>4</sup>.

Im Jahr 2023 verabschiedete die EU die Verordnung über die Nutzung erneuerbarer und kohlenstoffarmer Kraftstoffe im Seeverkehr (FuelEU Maritime). Diese will die Treibhausgasintensität der vom maritimen Schiffsverkehr

verwendeten Kraftstoffe schrittweise verringern – von -2 % im Jahr 2025 auf -80 % im Jahr 2050<sup>20</sup>. So werden in der Seeschifffahrt fossile Kraftstoffe zunehmend durch FAME, HVO, grünen Wasserstoff oder seine Folgeprodukte E-Ammoniak und E-Methanol ersetzt. Letztere gelten als zukunftsfähige Schiffstreibstoffe<sup>z. B. 21; 22; 23</sup>. FAME und HVO eignen sich aufgrund ihrer Drop-in-Fähigkeit als kurzfristiger Ersatz für fossile Brennstoffe<sup>24</sup>.

Um die Produktion von PtL-Kerosin zu fördern und Luftverkehrsunternehmen zu einer Abnahme zu verpflichten, verabschiedete die EU im Jahr 2023 mit der Verordnung zur Gewährleistung gleicher Wettbewerbsbedingungen für einen nachhaltigen Luftverkehr (ReFuelEU Aviation) verpflichtende Beimischungsquoten für nachhaltige Flugkraftstoffe (sustainable aviation fuels, SAF)<sup>25-27</sup>. SAF dürfen derzeit maximal zu 50 % beigemischt werden. Ab dem Jahr 2025 sind bei allen in Europa startenden Flügen 2 % SAF beizumischen, im Jahr 2030 müssen es 5 % sein<sup>25</sup>. Für Kleinflugzeuge oder Regionalflüge eignen sich Brennstoffzellen; Ammoniak hat als Kraftstoff Potenzial bei Mittelstreckenflügen, besonders im Frachtbereich, und in hybrid-elektrischen Flugzeugen. Für beide Energieträger sind jedoch Änderungen der Infrastruktur notwendig (Neukonstruktion von Flugzeugen, Versorgung der Flughäfen mit Wasserstoff und/oder Ammoniak, Betankungsinfrastruktur)<sup>9; 15</sup>.

Trotz dieser Treiber erfolgt aktuell noch keine großtechnische Herstellung fortschrittlicher Biokraftstoffe und strombasierter synthetischer Kraftstoffe, obwohl die Herstellungsverfahren für beide Kraftstoffarten grundsätzlich technisch erprobt sind. Voraussetzung für eine Produktion von E-Fuels in großem Maßstab ist die Verfügbarkeit überschüssiger EE zur Umwandlung in Wasserstoff. Dafür ist ein massiver Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland, Europa und darüber hinaus erforderlich sowie nachhaltige CO<sub>2</sub>-Quellen<sup>4; 5; 15; 26; 28; 29</sup>. Kohlendioxid aus der Atmosphäre oder aus nachhaltigen biogenen Quellen sowie aus derzeit noch unvermeidbaren Prozess-emissionen gilt als nachhaltig, sofern die CO<sub>2</sub>-Nutzung den Dekarbonisierungsprozess nicht bremst<sup>26</sup>. Weitere Voraussetzung ist der Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur und des Wasserstoffmarkts. Daher plant die Bundesregierung zwischen den Jahren 2022 und 2030 eine Erhöhung der Elektrolysekapazität von 57 Megawatt auf 10 Gigawatt<sup>29; 30</sup>. Zudem soll bis 2027/2028 ein Startnetz von 1 800 Kilometern Länge aus umgestellten oder neu gebauten Wasserstoffleitungen aufgebaut und bis 2030 mit EU-Nachbarstaaten verbunden sein. Bis 2032 soll ein 11 000 Kilometer langes deutsches Wasserstoffkernnetz alle großen Wasserstoffeinspeiser mit allen Großverbrauchern verbinden<sup>29</sup>. Das im Mai 2024 vom Bundeskabinett beschlossene Wasserstoffbeschleunigungsgesetz

vereinfacht und beschleunigt Planungs-, Genehmigungs- und Vergabeverfahren zum Aus- und Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur<sup>31</sup>. Unsicherheiten in der Ausbaugeschwindigkeit von EE und der Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff führen zu Unklarheiten, wann eine Marktreife von E-Fuels erreicht sein wird. Dies beeinträchtigt die Produktionsplanung.

Da Deutschland auch weiterhin auf Wasserstoffimporte angewiesen bleibt, sind faire und nachhaltige E-Fuel-Partnerschaften mit Ländern geplant, die (potenziell) über überschüssige EE verfügen<sup>19</sup>. Ammoniak und Methanol eignen sich nicht nur als strombasierte Kraftstoffe für die Schifffahrt, sondern sind zur Überwindung großer Distanzen per Schiff, neben flüssigen Wasserstoffträgern, sogenannten LHC (Liquid Hydrogen Carrier), die wirtschaftlichsten und energieeffizientesten Transportmethoden<sup>32</sup>.

Keine der Möglichkeiten der stofflichen Speicherung ist allerdings unumstritten: Mit LHC und Ammoniak gehen bei Leckagen, Austritten und Havarien Wasser- und Umweltgefährdungen einher<sup>33-35</sup>. Bei Methanol ist die Brandbekämpfung aufgrund der schlecht sichtbaren Flamme, der guten Mischbarkeit mit Wasser und dem niedrigen Flammpunkt besonders herausfordernd<sup>35; 36</sup>.

Weitere entscheidende Faktoren für eine klimaneutrale Mobilität sind neben dem politischen Willen und entsprechender Forschungsförderung auch ein gesellschaftliche Wandel hin zu einer Vorgehensweise, bei der Prozesse ganzheitlich hinsichtlich aller Folgekosten (externe Kosten) – und nicht nur kurzfristig ökonomisch – optimiert werden<sup>37</sup>.



## Wer ist betroffen?

Folgende Branchen sind besonders betroffen: Raffinerien, Mineralölkonzerne, chemische Industrie, Rohstoffproduktion und -import, Abfallwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft, Energiewirtschaft, Maschinen- und Fahrzeugbau, Automobilindustrie inkl. Zulieferung, Werkstätten für Kraft- und Nutzfahrzeuge, Flugzeugindustrie inkl. Zulieferung, Luftverkehr, Schifffahrt und Schiffsbau inkl. Zulieferung, Werften, Hafen/Wasserbau, Bauwirtschaft, Tankstellen, Logistik, Forschungseinrichtungen, Versicherungen, öffentlicher Dienst, Feuerwehr, Rettungs- und Sicherheitskräfte

Alle Menschen profitieren gesundheitlich von verminderten Treibhausgasemissionen durch die Nutzung nachhaltiger erneuerbarer Kraftstoffe, da klimawandelbedingte Gesundheitsgefahren reduziert werden. Zudem verbessert sich die Luftqualität, weil im Vergleich zu fossilen bei der Verbrennung erneuerbarer Kraftstoffe deutlich weniger Schadstoffe freigesetzt werden<sup>38</sup>.



## Beispiele

### Beispiel 1

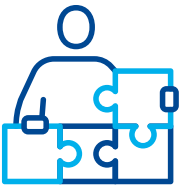
🔗 [Kompakte Technologie für synthetischen Kraftstoff](#)

### Beispiel 2

🔗 [Europas größte Wasserstofftankstelle in Düsseldorf eröffnet](#)

### Beispiel 3

🔗 [Sicherheitstechnik für grünen Wasserstoff](#)



## Welche Veränderungen ergeben sich für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten?

Im Kontext der Defossilisierung steht die Industrie vor der Herausforderung, passende Marktsegmente für den Einsatz erneuerbarer Kraftstoffe zu identifizieren, sehr schnell eine Kompatibilität mit erneuerbaren Kraftstoffen und Energieträgern herzustellen und sichere Lösungen z. B. für deren Transport oder Bunkerung (Aufnahme von Kraftstoff an Bord) zu finden und umzusetzen<sup>39</sup>. So werden beispielsweise neue Schiffe derzeit vor allem mit Dual-Kraftstoff-Verbrennungsmotoren für Ammoniak oder Methanol und Diesel oder mit Multi-Kraftstoff-Verbrennungsmotoren gebaut. Gleichzeitig versucht man, bestehende Motoren auf Ammoniak oder Methanol umzurüsten. Kraftstofftankhersteller entwickeln geeignete Tanks; Zulieferer passende bordseitige Kraftstoffversorgungssysteme. Nach- und Umrüstungen der Flotten gehen mit hohem Aufwand und Kosten einher, Erfahrungswissen mit den neuen Systemen muss erworben werden<sup>36; 39</sup>. Teils müssen auch kurzfristig umfassende neue Infrastrukturen aufgebaut werden, so z. B. Wasserstoffimportterminals an den deutschen Küsten. Bis zum Jahr 2030 stehen Importe per Schiff im Fokus; danach soll der Schwerpunkt auf dem pipelinebasierten europäischen Import liegen. Dafür sind leistungsfähige neue Pipelines oder umgerüstete, nicht mehr benötigte Erdgaspipelines in Betrieb zu nehmen<sup>29</sup>.

Auch Mineralölkonzerne befinden sich im Wandel: Sie müssen die Energieversorgung ihrer Produktion auf EE umstellen, Innovationen vorantreiben und ihre erneuerbaren Kraftstoffe gemäß den geltenden gesetzlichen Vorgaben weiterentwickeln. Um den Anforderungen der RED III zu entsprechen, benötigen Biokraftstoffhersteller geeignete Rohstoffe. Die Anforderungen an die Rückverfolgbarkeit der Rohstoffe und die Dokumentation steigen. Um Falschdeklarierungen importierter fortschrittlicher Biokraftstoffe vorzubeugen, sind Registrierungspflichten und Zulassungsverfahren für Produzenten und behördliche Kontrollen angedacht<sup>40</sup>. Im Sinne der Kreislaufwirtschaft muss die Abfallwirtschaft hiesige biogene Reststoffe und Abfälle verstärkt sammeln, sortieren und einer Verwertung durch Raffinerien und Bioproduktionsanlagen zugänglich machen.

Tankstellenbetreiber müssen ihr Kraftstoffportfolio breit und zunehmend emissionsärmer aufstellen<sup>41</sup>. Neue Risiken für die Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit scheinen weder durch neu entwickelte Ottokraftstoffe mit höheren Ethanolanteilen (z. B. E20) noch durch Kraftstoffe für Dieselmotoren mit höheren Beimischungsquoten zu entstehen. Teils nehmen Risiken sogar ab: HVO100-Diesel

besitzt z. B. einen höheren Flammpunkt als fossiler Diesel und ist daher weniger leicht entzündbar<sup>17</sup>.

Die Notwendigkeit, sich technologieoffen und breit aufzustellen, geht in den betroffenen Branchen mit Arbeitsverdichtung und Qualifizierungsbedarf einher. Dabei spielt auch der Fachkräftemangel entlang der Wasserstoffwertschöpfungskette eine wesentliche Rolle – insbesondere beim Aufbau von Elektrolyseuren, Leitungen und Produktionsanlagen und perspektivisch beim Transport von Energieträgern per Schiff<sup>42</sup>.

In der Biodieselherstellung kommen technisch hergestellte Nanomaterialien, einschließlich Kohlenstoffnanoröhrchen (CNT), zum Einsatz<sup>43</sup>. Einige CNT führen bei hoher Dosierung in Tierversuchen zu entzündlichen Veränderungen der Lunge oder erweisen sich als kanzerogen<sup>44</sup>. Verbesserte Messmethoden zur Abklärung von möglicherweise gesundheitsgefährdenden Expositionen gegenüber CNT sowie weitere Forschung zu möglichen Freisetzungsszenarien bei CNT-Anwendungen im beruflichen Kontext sind wünschenswert<sup>z.B. 43</sup>. Auch Gentechnologien kommen, beispielsweise zur Ertragssteigerung bei der Produktion innovativer Biokraftstoffe auf Basis von Algenöl, zum Einsatz<sup>38</sup>. Zur Verwendung im Sun-to-Liquid-Verfahren arbeitet man an Trägerstrukturen aus faserverstärkter Keramik für Rohre, die Temperaturen bis zu 1500 °C aushalten können<sup>10</sup>. Bei der Verarbeitung von Keramikfaserprodukten kann es zur Freisetzung von krebserzeugenden Faserstäuben kommen<sup>45</sup>.

Qualifizierungs- und Sensibilisierungsbedarfe ergeben sich in Bezug auf erneuerbare Kraftstoffe vor allem durch die physikalischen und chemischen Risiken durch Kraftstoffe. In Branchen wie der chemischen Industrie sind diese Risiken sowie geeignete Schutzmaßnahmen weitestgehend bekannt und ein Wissenstransfer in



Branchen, die neu betroffen sind, erscheint sinnvoll<sup>42</sup>. Dennoch gibt es auch neue oder verstärkt auftretende Gefährdungen, die im Folgenden beschrieben werden und ggf. weiterentwickelte Schutzkonzepte benötigen:

### Kohlendioxid

CO<sub>2</sub> wird im Prozess der Herstellung der meisten E-Fuels benötigt, sodass Verfahren der CO<sub>2</sub>-Abscheidung und des -Transports in den Fokus des Arbeitsschutzes rücken sollten. Bisher erfolgt die CO<sub>2</sub>-Abscheidung vor allem als Punktabcheidung direkt an industriellen Emissionsquellen mittels verschiedener Verfahren, die auch kanzerogene, mutagene oder reproduktionstoxische (CMR-)Lösemittel oder wässrige Lösungsmittel auf Amin-, Ammoniak- oder Hydroxidbasis einsetzen. Lösungsmittel auf Amin- oder Ammoniakbasis können neben ihrer Toxizität auch kanzerogene Verbindungen wie Nitrosamine bilden<sup>46; 47</sup>.

CO<sub>2</sub> wird i. d. R. komprimiert (d. h. meist flüssig) transportiert. Derzeit ist z. B. ein CO<sub>2</sub>-Pipeline-Netz von Nordrhein-Westfalen bis zur Nordsee in Planung – weltweit eine Neuheit. Risiken beim Transport, denen z. B. durch Regeln zur Reinheit und Beschaffenheit des CO<sub>2</sub> zu begegnen sind, sind Korrosionen infolge von Verunreinigungen durch Stick- oder Schwefeloxide, Wasserdampf oder die Entstehung von gasförmigem Kohlendioxid bei Druckabfall<sup>47; 48</sup>.

### Wasserstoff

Gefährdungen durch Wasserstoff können überall dort auftreten, wo er als Energieträger vorliegt oder weiterverarbeitet wird. Im Wesentlichen besteht Brand- und Explosionsgefahr infolge von Leckagen. Um Risiken im Umgang mit Wasserstoff zu begegnen, gibt es etablierte Arbeitsschutzregeln und Schutzkonzepte<sup>49-52</sup>. Wichtig in diesem Zusammenhang ist eine systematische Gefährdungsbeurteilung an den betroffenen Arbeitsplätzen und im Vorfeld die Analyse von Werkstoff-, Bauteil- und Systembeanspruchungen<sup>46; 49; 53</sup>. Neue Nanomaterialien können helfen, die Arbeitssicherheit zu verbessern, da sie Lecks an Wasserstoffanlagen und -behältern mittels vergrößerter Sensorflächen effizienter aufspüren können<sup>54</sup>. Insbesondere bei flüssigem oder kryogenem Wasserstoff sind die Zündphänomene und Ereignisketten noch nicht vollständig verstanden. Das gilt ebenso für nicht-industrielle Anwendungsbereiche, in denen bestehende Sicherheitskonzepte aus dem industriellen Bereich nicht ohne Weiteres übernommen werden können. Beispielsweise ist der klassische Explosionsschutz auf atmosphärische Bedingungen ausgelegt und muss oft angepasst werden, wenn Wasserstoff verdichtet und/oder kryogen vorliegt<sup>55; 56</sup>. Experimentelle Forschung und 3D-Simulationen sind weiterhin nötig, um Freisetzungsszenarien von Wasserstoff (und seinen Derivaten) zu bewerten<sup>57</sup>.

Zur Kraftstoffversorgung von Brennstoffzellenfahrzeugen erscheint die Direktversorgung von Wasserstofftankstellen mittels stationärer Elektrolyse wirtschaftlich am sinnvollsten<sup>58</sup>. Dadurch können für Beschäftigte an Tankstellen und Logistik-Hubs Qualifizierungsbedarfe zum sicheren Arbeiten an Gasdruckanlagen und zum Explosionsschutz entstehen<sup>18</sup>.

Beschäftigte, die an Brennstoffzellenfahrzeugen nach Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems arbeiten, benötigen Qualifizierungen für die Arbeit an Hochvolt- und Gassystemen; Personen, die Wasserstofffahrzeuge betreiben, Unterweisungen z. B. zu brennbaren und unter Druck stehenden Gasen<sup>18</sup>. Der Arbeitsschutz gibt Hinweise zur Wasserstoffsicherheit in Werkstätten für Brennstoffzellenfahrzeuge und Fahrzeuge mit Wasserstoffverbrennermotoren<sup>59</sup>.

### FAME und HVO

FAME und HVO sind drop-in-fähig, sodass die für fossilen Diesel bestehenden Sicherheitsvorkehrungen für den Transport, für den Umschlag und bei Schiffen für die Bunkerung übernommen werden können<sup>24</sup>. FAME und FAME-Gemische sind hygroskopisch, d. h. sie binden Wasser aus der Umgebung und fördern so das Wachstum von Mikroorganismen. Bei längerer Lagerung können diese Filterverstopfungen und Korrosionen in Tanks verursachen und stellen ein potenzielles Sicherheitsrisiko dar<sup>z. B. 24</sup>. Aufgrund der feuchteren Umgebung, größerer Tankvolumina und längerer Lagerzeiten betrifft dieses Risiko vor allem Schiffe. Umgang mit und Expositionen gegenüber FAME und HVO sind im Arbeitsschutz keine neuen Themen – auf bewährte Schutzkonzepte kann zurückgegriffen werden. Um den Bedarf an marinen Biokraftstoffen zu decken, laufen derzeit Testreihen zu neuen flüssigen Biokraftstoffen und Beimischungen, z. B. auf der Basis von Cashewnuss-Schalen<sup>24</sup>. Für diese neuen Entwicklungen sind nicht nur die Systemkompatibilität und spezifische Eigenschaften zu analysieren, sondern auch deren potentielle Risiken für Beschäftigte.

### Marine E-Fuels und LHC

Ammoniak ist eine der meist produzierten Chemikalien, die als Grundstoff für viele weitere Industrieprodukte dient. Aufgrund seiner Verschiffung als Grundstoff zur Düngemittelherstellung existiert bereits ein globales Netzwerk von Ammoniakterminals und Umschlaganlagen. Eine Infrastruktur zum Bunkern von Ammoniak fehlt jedoch<sup>39</sup>.

Mit der Verschiffung von Methanol als Ladung besteht umfassende praktische Erfahrung; mit Methanol als Kraftstoff fehlt diese zurzeit noch. Standards für die Bunkerung werden aktuell entwickelt, genauso wie technische Lösungen zur Onboard-Umwandlung von Methanol in

Wasserstoff auf Schiffen mit Brennstoffzellenantrieben<sup>36</sup>. Risiken im Zusammenhang mit Ammoniak und Methanol – im Wesentlichen Toxizität, Brand- und Explosionsgefahr – sind prinzipiell bekannt und Schutzmaßnahmen vorhanden. Allerdings sind Ammoniak und Methanol neue marine Kraftstoffe. Aus der mangelnden Erfahrung des Schiffspersonals im Umgang mit diesen Kraftstoffen, die angepasste Sicherheitsmanagementsysteme erfordern, ergeben sich höhere Sicherheitsrisiken und Qualifizierungsbedarfe<sup>60</sup>.

LHC stellen in vielen Fällen selbst „besonders besorgniserregende Stoffe“ (Substances of very high concern, SVHC) dar (z. B. Dibenzyltoluol, Perhydrodibenzyltoluol) oder entwickeln diese als Nebenprodukte (z. B. Benzol, Xylole, Kohlenmonoxid). Einer großflächigen Anwendung von LHC müssen eine realistische Risikoabschätzung und weitere Datenerhebungen und -auswertungen vorausgehen<sup>61</sup>.

### Sustainable aviation fuels (SAF)

Die Anhebung der SAF-Quote kann für Fluggesellschaften die Gefahr minderwertiger SAFs bergen – sei es infolge betrügerischer Aktivitäten aufgrund der höheren Kosten von SAFs oder aufgrund fehlerhafter neuartiger Herstellungsverfahren oder mangelnder Qualität der Biorohstoffe. Strenge Qualitätskontrollen sind essentiell, damit die Betriebssicherheit der Flugzeuge und ihre Leistung nicht beeinträchtigt werden<sup>62</sup>.

Fortschrittlich biogene Kraftstoffe aus biogenen Rest- und Abfallstoffen sind in ihrer Verfügbarkeit begrenzt<sup>9</sup>. Um diese Einschränkung zu mindern, hat ein britisches Unternehmen Kerosin aus menschlichem Kot hergestellt<sup>63</sup>. Für die Kreislaufführung müssten allerdings neue Infrastrukturen geschaffen und mikrobiologische Gefährdungen in der Lieferkette kontrolliert werden.

Bei Reiseflügen könnten die Rußpartikelemissionen durch eine Beimischung von 50 % PtL-Kerosin um 50 bis 70 % reduziert werden. Das mindert die Entstehung von Kondensstreifen, die den gesundheitsschädlichen Treibhauseffekt verstärken und reduziert das Risiko für Atemwegserkrankungen in der Allgemeinbevölkerung und bei Beschäftigten von Flughäfen<sup>26; 64</sup>.





## Was sind Erkenntnisse und Perspektiven für den Arbeitsschutz?

- ❖ Die rasch erforderliche Defossilisierung führt in allen mit dem Hochlauf erneuerbarer Kraftstoffe in Zusammenhang stehenden Branchen zu Handlungsdruck. Arbeitsverdichtung entsteht durch Anpassungsdruck bei gleichzeitigem Mangel an Fachkräften. Planungsunsicherheiten, beispielsweise im Hinblick auf die Verfügbarkeit nachhaltiger Biomasse, EE und erforderlicher Infrastrukturen, können zusätzlich belastend wirken.
- ❖ Der Einsatz von Ammoniak und Methanol als Kraftstoff und Energieträger sowie von LHC rückt die Frage nach dem sicheren Umgang vor allem für die Schifffahrt in den Fokus. Insbesondere im Transport können sich neue Risiken durch die Art der Wasserstoffspeicherung (z. B. in Druckbehältern, kryogen oder durch Umwandlung in sowie Bindung an andere Stoffe) ergeben, die es möglichst präventiv zu analysieren gilt.
- ❖ Sollte sich Methanol zum Transport von Wasserstoff oder als Kraftstoff durchsetzen, wird die Bekämpfung von Methanolbränden eine neue Herausforderung in der Seeschifffahrt und es entsteht der Bedarf expliziter Qualifizierungs- und Trainingsmaßnahmen für Feuerwehren auf See und an Land.
- ❖ Safety-by-Design-Ansätze, die bereits in der Anlagenplanung die spezifischen Eigenschaften erneuerbarer Kraftstoffe und Energieträger berücksichtigen, tragen wesentlich zur sicheren Handhabung von Wasserstoff und seinen Derivaten bei<sup>55; 65</sup>.
- ❖ Wo sinnvoll und ausreichend, empfiehlt sich der Wissenstransfer und die Wissensadaption in Bezug auf Sicherheit und Qualifizierung aus erfahrenen Branchen.
- ❖ Neuentwicklungen im Kraftstoffbereich (z. B. auf der Basis von Cashewnuss-Schalen, menschlichem Kot, genetisch modifizierte Algen und Mikroorganismen) und der Einsatz von Nanomaterialien, neuer Materialien (z. B. innovativer Faserverbundstoffe) sowie neuer Verfahren sind – wie überall sonst auch – möglichst frühzeitig aus Arbeitsschutzsicht zu bewerten und sicher und gesund mitzugestalten, damit es entlang der Wertschöpfungskette einschließlich dem Recycling und der Entsorgung nicht zu Gefährdungen kommt<sup>66; 67</sup>. Dies gilt auch für Innovationen in der CO<sub>2</sub>-Abscheidung und dem CO<sub>2</sub>-Transport in Pipelines. Auch die CO<sub>2</sub>-Speicherung unter der Nordsee kann ein Thema für den Arbeitsschutz werden.
- ❖ Mit der zunehmenden Nutzung ferngesteuerter Systeme z. B. auf Schiffen steigt das Gefährdungspotenzial durch Cyberangriffe [68]; Cybersicherheit und Industrial Security gewinnen im Arbeitsschutz weiter an Relevanz.

### Herausgegeben von:

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.  
(DGUV)  
Glinkastraße 40 · 10117 Berlin  
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen  
Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA),  
Risikoobservatorium der DGUV

**Verfasst von:** Angelika Hauke

### Ausgabe:

September 2025

### Satz & Layout:

Atelier Hauer + Dörfler, Berlin

### Copyright:

Diese Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Die Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung gestattet.

**Bezug:** [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen)

Die **Literaturliste** ist in der Online-Fassung der Trendbeschreibung verfügbar.

❖ [www.dguv.de/ifa](http://www.dguv.de/ifa)  
🔍 risikoobservatorium

