

Strombasierte Kraftstoffe

Wo E-Fuels für die Mobilität der Zukunft notwendig sind



E-Fuels sind mit erneuerbarem Strom und Kohlenstoffdioxid hergestellte synthetische Kraftstoffe.¹ Theoretisch kann jedes kraftstoffbetriebene Fahrzeug E-Fuels tanken. Das erklärt die „Faszination E-Fuels“ - besonders mit Blick auf den heutigen Fahrzeugbestand. Chemisch entsprechen sie Kraftstoffen wie Benzin, Diesel oder Methan und können konventionell produzierten Kraftstoffen beigemischt werden oder diese ersetzen. Synthetische Kraftstoffe können also neben der Elektromobilität einen weiteren Beitrag zu einem insgesamt klimaschonenderen Mobilitätssektor leisten.

Die Vorschläge der EU-Kommission aus dem Fit-for-55-Paket bedeuten einen faktischen Zulassungsstopp für Straßenfahrzeuge mit Verbrennungsmotoren (ICE) ab 2035, was außerdem den Bedarf an alternativen Kraftstoffen wie Bio- oder E-Fuels, die nicht lokal emissionsfrei sind, begrenzt. Es stellt sich also die Frage, wie sinnvoll die Weiterentwicklung synthetischer Kraftstoffe ist und wo E-Fuels künftig mangels energieeffizienter Alternativen eingesetzt werden sollten.

Der TÜV-Verband setzt sich daher im vorliegenden Positionspapier mit dem möglichen Beitrag synthetischer Kraftstoffe zur Dekarbonisierung des motorisierten Individualverkehrs auseinander. Besonders im Hinblick auf den anzunehmenden jahrzehntelangen Fortbestand der Kraftfahrzeugflotte mit Verbrennungsmotoren² zeigt er außerdem Vor- und Nachteile des Kraftstoffs auf.

¹ Zur Definition von „E-Fuels“ siehe auch S. 9.

² In der EU sind mit Stand 2021 240 Millionen verbrennungsmotorisch betriebene Pkw im Einsatz; weltweit sind es 1,4 Milliarden mit steigender Tendenz. Optimistische Szenarien gehen davon aus, dass 2030 in ca. 50 Prozent der neu zugelassenen Pkw Verbrennungsmotoren verbaut sein werden.

Auswirkungen des europäischen Klimagesetzes auf den Einsatz von E-Fuels

Am 11. Dezember 2019 wurde das sogenannte Europäische Klimagesetz verabschiedet. Darin legt die EU verbindlich fest, bis zum Jahr 2030 die Treibhausgasemissionen um 55 Prozent gegenüber dem Niveau von 1990 zu verringern. Im August 2021 ist in Deutschland, basierend auf den verschärften EU-Vorgaben, eine Änderung des Klimaschutzgesetzes mit einem nationalen Reduktionsziel von 65 Prozent in Kraft getreten. Mit der Anpassung soll sichergestellt werden, dass kurzfristige nationale Ziele durch das Klimaschutzprogramm 2030 erreicht werden. Die Reduktion der Emissionen im Verkehr ist eine der wesentlichen Voraussetzungen zur Erreichung der in Paris ratifizierten Klimaziele, welche eine Begrenzung der Erderwärmung auf deutlich unter 2 °C vorsehen.

Anderthalb Jahre nach der Verabschiedung des Europäischen Klimagesetzes, hat die EU-Kommission am 14. Juli 2021 mit dem Fit-for-55-Paket konkrete Gesetzesvorschläge vorgelegt. Insbesondere für den Verkehrssektor macht das Paket sehr klare Angaben, wie bis 2030 der CO₂-Ausstoß um 55 Prozent gesenkt werden kann. Für die Umsetzung der Gesetzesvorschläge ist ein vollständiges Gesetzgebungsverfahren notwendig und damit auch die Zustimmung der EU-Mitgliedsstaaten.

Das Fit-for-55-Gesetzpaket sieht unter anderem Anpassungen an der Renewable Energy Directive (RED II) vor wie beispielsweise die Nicht-Anrechnung von Bio- und E-Fuels zu den CO₂-Flottengrenzwerten. Es formuliert darüber hinaus strengere Vorgaben zum Aufbau von Lade- und Betankungsinfrastruktur für alternative Antriebe (AFIR) und eine Erweiterung des Emissionshandelssystems der EU um Straßen, Gebäude und Seeverkehr. Perspektivisch werden fossile Kraftstoffe durch eine bereichsübergreifende CO₂-Bepreisung (EU-ETS) bzw. den Wegfall von Subventionen (ETD) teurer.

Die Vorschläge der EU-KOM implizieren, dass ab 2035³ keine Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren (ICE) mehr neu zugelassen werden dürfen. Diverse EU-Mitgliedsstaaten und europäische Automobilhersteller haben aufgrund der regulatorischen Vorgaben bereits angekündigt, aus der Entwicklung bzw. der Neuzulassung vom Verbrennungsmotor auf der Straße in der EU auszusteigen. Entsprechende EU-Gesetze wären nicht nur das Aus für die Nutzung fossiler Brennstoffe in neuen Pkw und leichten Nutzfahrzeugen, sondern auch für alle alternativen Kraftstoffe wie Bio- oder E-Fuels, die nicht lokal emissionsfrei sind.

³ VERORDNUNG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/631 im Hinblick auf eine Verschärfung der CO₂-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge im Einklang mit den ehrgeizigeren Klimazielen der Union, S. 21

Produktion von E-Fuels

Ein zentrales Argument für die Verwendung von E-Fuels im motorisierten Individualverkehr (MIV) ist ihre Nutzbarkeit innerhalb der Bestandsflotte. Synthetische Kraftstoffe sind dann nachhaltig, wenn sie zu 100 Prozent aus erneuerbaren Energien produziert wurden (aus grünem Wasserstoff). Unter diesen Bedingungen könnten E-Fuels im aktuellen Fahrzeugbestand eingesetzt werden und unmittelbar zu einer Reduzierung der CO₂-Emissionen im Verkehr beitragen.

Grüner Wasserstoff für die Produktion von synthetischen Kraftstoffen kann entweder aus erneuerbarem Überschussstrom in Deutschland produziert oder muss importiert werden. Zusätzlich gibt es in Deutschland diverse Quellen, bei denen Wasserstoff als Nebenprodukt anfällt. In jedem Fall konkurriert die Nutzung grünen Wasserstoffs für E-Fuels mit Anwendungen im Industriesektor oder der direkten Verwendung im Brennstoffzellenfahrzeug. Beispielsweise könnte grüner Wasserstoff für eine sauberere Herstellung von Diesel und Benzin in Raffinerien sorgen. Denn beim Herstellungsprozess von Kraftstoffen aus Rohöl werden große Mengen an Wasserstoff benötigt. Aktuell stammt dieser noch zu über 97 Prozent aus Erdgas. Durch eine Substitution könnten die eingesparten Emissionen direkt entlastend auf den Straßenverkehr angerechnet werden.

Der Import grünen Wasserstoffs wird als der wesentliche und stabilste Vektor für die Produktion von synthetischen Kraftstoffen gesehen, ggf. ließen sich die Kraftstoffe sogar bereits am Ort der Wasserstoffproduktion herstellen.⁴ Hierzu eignen sich Standorte mit starkem Nutzungspotenzial von erneuerbar hergestellter Energie, z. B. Solaranlagen in Nordafrika. Zwar können für den Transport des Wasserstoffs bestehende Erdgaspipelines umgerüstet werden, momentan gibt es aber keine freien Pipeline-Kapazitäten zwischen Europa und Nordafrika. Daher ist der Schiffstransport von synthetischem Benzin oder Diesel mit konventionellen Tankschiffen momentan die praktikabelste Option. Wenn geeignete Schiffe für den Transport von Flüssigwasserstoff verfügbar sind, ließe sich auch der grüne Wasserstoff direkt mit dem Schiff nach Europa transportieren.

Strombasierte Kraftstoffe sind wegen ihres aufwendigen Produktionsprozesses um ein Vielfaches kostenintensiver als ihre fossilen Gegenstücke. Das liegt einerseits daran, dass bei der Produktion synthetischer Kraftstoffe große Mengen an erneuerbarer Energie bereitgestellt werden müssen und andererseits muss die Infrastruktur zur Herstellung von E-Fuels für den entsprechend bedarfsgerechten Einsatz erst noch errichtet werden. Eine Preisparität mit fossilen Brennstoffen (Benzin, Diesel) erreichen E-Fuels voraussichtlich erst 2037⁵. Das bedeutet allerdings nicht zwingend, dass bis dahin durch Skaleneffekte E-Fuel-Preise soweit sinken, dass sie sich heutigen Kraftstoffpreisen annähern, sondern, dass fossile Kraftstoffpreise bis dahin aufgrund steigender CO₂-Preise stark gestiegen sein werden.

⁴ <https://www.efuel-alliance.eu/de/>

⁵ https://www.beuc.eu/publications/beuc-x-2021-040_electric_car_ownership-an_affordable_option_for_all_consumers.pdf (S. 5) - Europäischer Verbraucherschutzverband

Regulativ beschleunigter Umstieg auf Elektromobilität

Die Ankündigungen der Europäischen Union hinsichtlich einer klimagerechten Umgestaltung des Verkehrssektors werden analog von verbindlichen Aussagen namhafter Hersteller wie Volvo, GM, Ford oder VW begleitet, die aus der Entwicklung bzw. dem Vertrieb von Pkw mit Verbrennungsmotoren für den Europäischen Markt aussteigen wollen.⁶ Einzelne Länder wie Norwegen, Großbritannien, Frankreich und Spanien haben bereits ein Enddatum für die Neuzulassung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren (ICE) festgelegt. Strengere CO₂-Emissionsnormen für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge, wie im Fit-For-55-Paket der EU-Kommission angekündigt, werden den Übergang zur emissionsfreien Mobilität beschleunigen. Schließlich müssen die durchschnittlichen jährlichen Emissionen neuer Fahrzeuge ab 2030 mindestens 55 Prozent und ab 2035 mindestens 100 Prozent niedriger sein als 2021. Im Ergebnis müssen alle ab 2035 zugelassenen Neuwagen emissionsfrei sein. Für einen Automobilhersteller wäre die Einhaltung dieser Zielvorgaben nur mit der Produktion von Elektrofahrzeugen möglich. Bis belastbare Kapazitäten an E-Fuels im Umlauf wären, könnten Mitgliedstaaten der EU und damit potenzielle Abnehmer des teuren klimafreundlichen Kraftstoffs also schon den Vertrieb von ICE sukzessive soweit reduziert haben, dass der Bedarf an E-Fuels seine Investitions- und Herstellungskosten nicht mehr deckt.

Total Cost of Ownership (TCO)

Wie hoch der Kaufpreis eines Pkw ist, hat seit jeher bei potenziellen Käufer:innen entscheidenden Einfluss auf die Kaufentscheidung. Für einen zukünftigen Kosten-Nutzen-Vergleich von batterieelektrischen Fahrzeugen (battery electric vehicles/BEV) und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren (internal combustion engines/ICE) sowie daraus resultierenden Kaufentscheidungen gilt es aber nicht nur, den initialen Kaufpreis heranziehen, sondern die „Total cost of ownership“ (TCO) eines Fahrzeugs zu berücksichtigen.

⁶ Ab 2021 werden bei Audi in Europa alle neuen Modelle vollelektrisch angeboten, bei Mercedes Benz ist dies vor 2030 auch der Fall, Opel-Modelle werden in Europa 2028 vollelektrisch angeboten. Die Hersteller General Motors, Ford und Stellantis (Fiat Chrysler, Peugeot Citroën) erklärten gemeinsam, sie strebten an, dass batteriebetriebene Elektroautos wie auch Wagen mit Brennstoffzellen- und mit Hybridantrieb ab 2030 einen Anteil von 40 bis 50 Prozent des Absatzes auf dem US-Markt ausmachen sollen.

TCO	BEV	ICE
Anschaffungspreis		+
Kraftstoffpreis / 100km	+	
Betriebs-/Wartungskosten	+	
Versicherungskosten	+	
Steuern	+	
Umweltbonus	+	

Tabelle 1 : Vergleich TCO zwischen BEV und ICE in Deutschland. Stand August 2021 („+“ = im Vorteil / günstiger)

Auch wenn bei BEV der Kaufpreis höher liegt als bei einem vergleichbaren ICE-Modell, kann der Stromer dennoch eine geringere TCO aufweisen. Begründet liegt dies in der geringeren Menge an verbauten Verschleißteilen und dadurch langfristig niedrigeren Wartungskosten. Strom ist zudem derzeit günstiger als E-Fuel. Zusätzlich fallen in einzelnen europäischen Staaten für Stromer aufgrund von Subventionen geringere Steuern und Versicherungsbeiträge an. Ein Großteil der Verbraucher:innen wird wegen der finanziellen Aspekte mittelfristig auf E-Mobilität setzen: Bei fossilen Kraftstoffen ist aufgrund des steigenden CO₂-Preises ein deutlicher Preisanstieg absehbar, zumal wenn eine Beimischquote für die deutlich teureren E-Fuels für ICE vorgeschrieben wird. Eine aktuelle Erhebung von Agora Verkehrswende quantifiziert die TCO-Mehrkosten von einem mit E-Fuels betriebenen ICE zu einem BEV auf circa 10.000 Euro oder 43 Prozent⁷.

Ökonomisch und ökologisch sinnvolle Anwendungen von E-Fuels

Die Kompatibilität von E-Fuels mit bestehenden Kraftstoffen wie Diesel oder Benzin machen sie in ihrer Anwendung sehr universell, allerdings muss in den kommenden Jahren noch viel Aufwand in die Errichtung von Produktionskapazitäten gesteckt werden. Der TÜV-Verband spricht sich daher dafür aus, im motorisierten Individualverkehr vorhandenen energieeffizienten und lokal emissionsfreien Optionen den Vorrang zu geben. Hierzu zählen insbesondere batterieelektrische Kraftfahrzeuge. Die Elektrifizierung von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen ist bereits weit fortgeschritten: Für den motorisierten Individualverkehr liegt also mit der batterie-elektrischen Mobilität bereits jetzt eine Technologie vor, die marktreif und verfügbar ist. E-Fuels sind deshalb bevorzugt den Bereichen zuzuordnen, wo die batterie-elektrische (BEV) und/oder Brennstoffzellentechnologie (FCEV) nach heutigem Entwicklungsstand aufgrund ihrer niedrigeren volumetrischen und gravimetrischen Energiedichte an ihre Grenzen stößt. Für Verkehrssegmente wie Luft- und Seeverkehr sind E-Fuels

⁷ https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2021_Efuels_in_cars_briefing.pdf

allerdings kurz- und mittelfristig zur Dekarbonisierung nahezu alternativlos, perspektivisch ist aber auch eine direkte Verwendung von Wasserstoff möglich. Um einen signifikanten Beitrag zur Treibhausgasreduktion zu leisten, müssen sehr große Mengen synthetischen Kraftstoffs produziert werden.

Im Straßenverkehr sind aus Sicht des TÜV-Verbands im Wesentlichen der Schwerlastverkehr und der Transportverkehr auf der Langstrecke sinnvolle Nutzungsszenarien von E-Fuels. Zu beachten ist dennoch, dass trotz ihrer vergleichsweise hohen Energiedichte synthetische Kraftstoffe über einen wesentlich schlechteren well-to-wheel⁸ Wirkungsgrad verglichen zu BEV und FCEV verfügen. Dies würde tendenziell angesichts der derzeit begrenzten Menge erneuerbarer Energien im Strom-Mix gegen die massive Produktion und breitflächige Verwendung von E-Fuels im Individualverkehr sprechen. Auch der Einsatz grünen Wasserstoffs im Brennstoffzellenfahrzeug ist um einiges effizienter als E-Fuels im Verbrennungsmotor. Zudem entstehen bei BEV und FCEV keine lokalen Emissionen wie Stickoxide (NO_x) und Feinstaubpartikel beim Verbrennungsprozess; sie reduzieren die Lärmbelastung aus dem Verkehr und sind somit vor allem im urbanen Bereich von zunehmender Relevanz.

Die Abgasuntersuchung bleibt notwendig

Fahrzeuge, denen E-Fuels im Tank beigemischt wurden, stoßen verglichen zu rein mit fossilen Kraftstoffen betankten Fahrzeugen weniger Schadstoffe wie Feinstaub, CO₂ und NO_x aus. Beim Herstellungsprozess können einzelne Moleküle, die beispielsweise für Ruß im Abgas verantwortlich sind, reduziert werden. Gleichwohl wird die Nutzung von E-Fuels selbst bei klimaneutraler Herstellung das Fahrzeug auf absehbare Zeit nicht lokal emissionsfrei machen können. Mit Blick auf besonders ambitionierte Luftreinhaltepläne einiger Europäischer Städte mindert dies grundsätzlich ihre Attraktivität als alternativer Kraftstoff. Sollten E-Fuels zukünftig breitflächig zum Einsatz kommen, kann die Einhaltung definierter Grenzwerte für Feinstaub oder NO_x im Rahmen der periodischen Abgasuntersuchung effizient überwacht werden. Hierfür müssen entsprechende Vorgaben in der anstehenden Euro 7/VII Regulierung erlassen und in Wechselwirkung mit der periodisch technischen Überwachung von Kraftfahrzeugen referenziert werden.

⁸ „Well-to-wheel“ ist eine Betrachtungs- bzw. Analysemethode im Bereich der Kraftfahrzeuge, bei der die gesamte Wirkungskette für die Fortbewegung von der Gewinnung und Bereitstellung der Antriebsenergie bis zur Umwandlung in Bewegungsenergie untersucht wird.

Konklusion

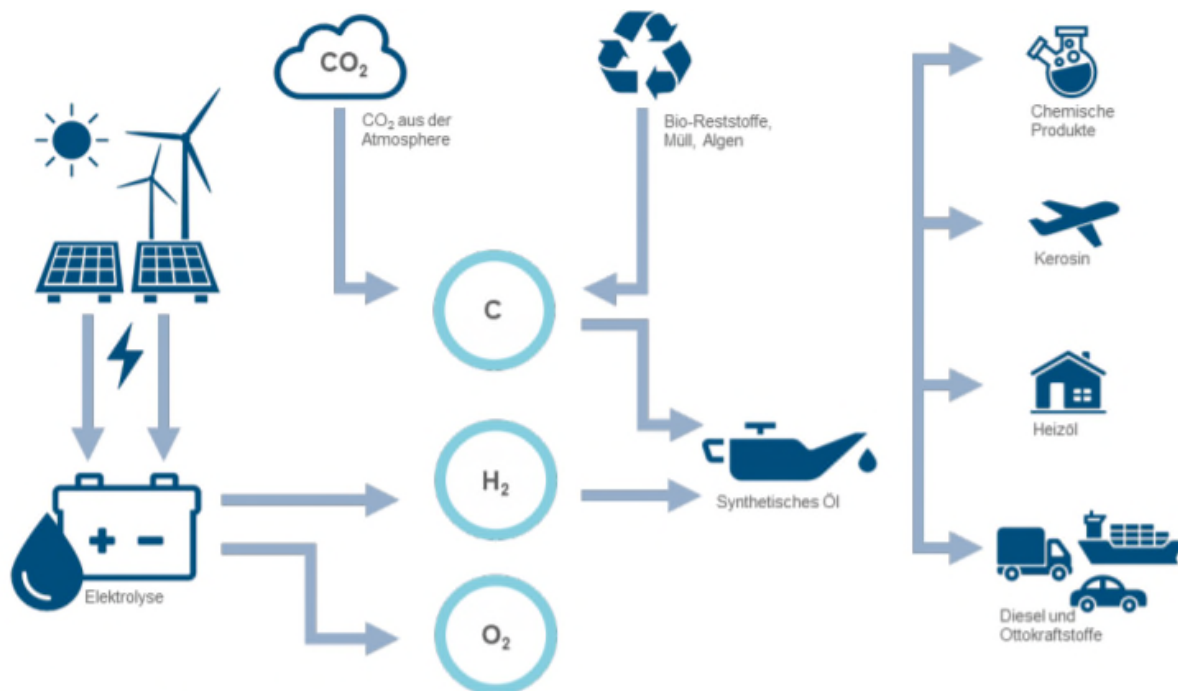
Im Individualverkehr haben E-Fuels keinen Platz. Aus Sicht des TÜV-Verbands sollten sie prioritär dort Anwendung finden, wo sie derzeit alternativlos sind. Das ist zum Beispiel im See-, Schwerlast- und Luftverkehr der Fall. Sinnvoll ist außerdem der Einsatz in denjenigen Produktionsländern, in denen E-Fuels erneuerbar hergestellt werden können. Dort könnten sie einen beträchtlichen Anteil zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors leisten. Diese Vorgehensweise ist ein essenzieller Ansatz, um den Klimaschutz gemäß der Pariser Vorgaben international voranzutreiben. Erst, wenn die lokalen Bedürfnisse gedeckt sind und Überkapazitäten zu den lokal bestehenden Netzen geschaffen werden, können überschüssige Kapazitäten an grünem Wasserstoff zur Dekarbonisierung der Produktion und des Transports von E-Fuels für den Export in den globalen Norden genutzt werden. Solange im globalen Süden produzierte E-Fuels primär in den globalen Norden verschifft werden, wird die Nutzung von E-Fuels in Deutschland noch lange Zeit nur einen sehr geringen Beitrag zum globalen Klimawandel leisten können.

Erneuerbar produzierte E-Fuels, in entsprechender Verfügbarkeit und ohne Nutzungskonflikte in den Herkunftsländern und in anderen Branchen vorausgesetzt, können als ein langfristiger Beitrag zur Dekarbonisierung des Straßenverkehrs angesehen werden. Auf kurze Sicht sieht der TÜV-Verband die Stärke von E-Fuels aber primär auf dem Wasser, auf der Schiene oder in der Luft (E-Kerosin). Zudem ergeben sich klimaneutrale Perspektiven durch die Nutzung von grünem Wasserstoff bei der Herstellung von Batteriezellen, der chemischen Produktion, im Wärmesektor sowie bei der Stahl-, Schwer- und Grundstoffindustrie.

Exkurs „E-Fuels“

E-Fuels sind mit erneuerbarem Strom und Kohlenstoffdioxid hergestellte synthetische Kraftstoffe. Synthetische Kraftstoffe entsprechen chemisch heutigen Kraftstoffen wie Benzin, Diesel oder Methan und können konventionell produzierten Kraftstoffen beigemischt werden oder diese ersetzen.

Für die Herstellung synthetischer Kraftstoffe wird zunächst unter Einsatz von elektrischem Strom Wasserstoff gewonnen. In einem weiteren Prozessschritt kann dann der Wasserstoff mit Kohlendioxid (bspw. aus der Umgebungsluft) zu Methan umgewandelt werden. In der anschließenden Fischer-Tropsch-Synthese wird aus Methan ein Flüssigkraftstoff analog zu Benzin oder Diesel. Stammt der Strom zur Erzeugung synthetischer Kraftstoffe ausschließlich aus erneuerbaren Energien, sind die synthetischen Kraftstoffe bilanziell klimaneutral. Der Prozess zur Herstellung des Wasserstoffs oder synthetischen Methans wird dabei als Power-to-Gas (PtG) bezeichnet. Die Herstellung synthetischer flüssiger Kraftstoffe wie Benzin oder Diesel wird Power-to-Liquid (PtL) genannt. Zusammengefasst werden alle Verfahren zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe unter dem Begriff Power-to-X (PtX).⁹ Der im ersten Prozessschritt gewonnene grüne Wasserstoff kann auch als eigenständiger klimaneutraler Kraftstoff bspw. im Brennstoffzellenfahrzeug verwendet werden.



Quelle: Institut für Wärme und Öltechnik.⁹

Abbildung 1: Herstellungspfade und Einsatzbereiche synthetischer Kraftstoffe

⁹ Zit.n.: BMWi (Hrsg.), Automobile Wertschöpfung 2030/2050, Berlin 2019, S. 38.



Autor und Ansprechpartner

[Jannis Dörhöfer](#)

Referent New Mobility

E-Mail: jannis.doerhoefer@tuev-verband.de

Tel.: +49 30 760095 380

www.tuev-verband.de

Der TÜV-Verband e. V. vertritt die politischen und fachlichen Interessen seiner Mitglieder gegenüber Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Öffentlichkeit. Der Verband setzt sich für technische und digitale Sicherheit bei Produkten, Anlagen und Dienstleistungen durch unabhängige Prüfungen und qualifizierte Weiterbildung ein. Mit seinen Mitgliedern verfolgt der TÜV-Verband das Ziel, das hohe Niveau der technischen Sicherheit in unserer Gesellschaft zu wahren und Vertrauen für die digitale Welt zu schaffen.