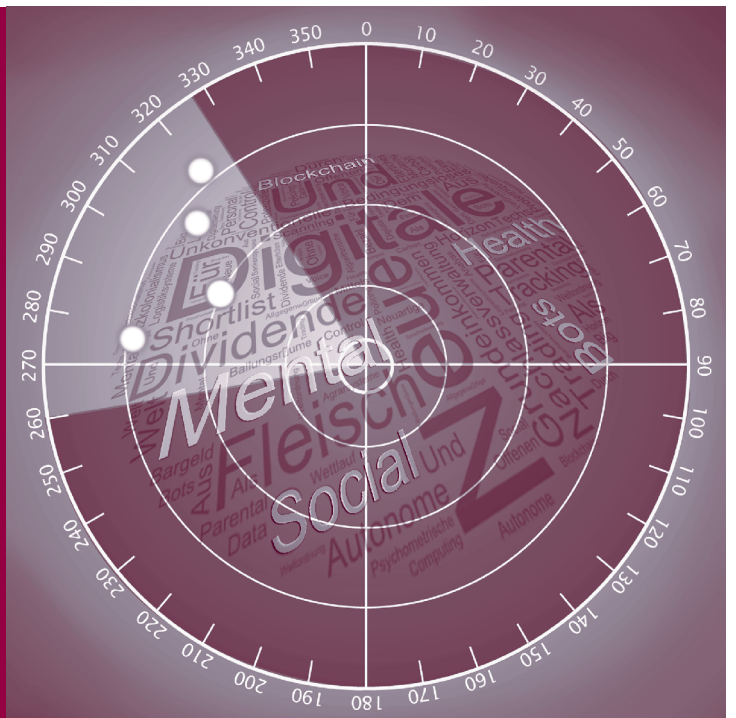




BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG

Kai Enzweiler
Sonja Kind
Tobias Jetzke

Autonomer Güterverkehr auf Straßen, Schienen und Wasserwegen





Autonomer Güterverkehr auf Straßen, Schienen und Wasserwegen

Kurzdarstellung des Themas

Die Wettbewerbsfähigkeit von Standorten wird maßgeblich durch eine effiziente Logistik von Gütern mitbestimmt. Für Deutschland als Exportnation ist der Warenverkehr von großer Bedeutung, denn mit einem Umsatz von rund 260 Mrd. Euro pro Jahr ist die Logistik der drittgrößte deutsche Wirtschaftszweig. Der weltweite Warenverkehr wird erwartungsgemäß in Zukunft noch weiter zunehmen.

Kostentreiber und Herausforderungen in der Transportbranche sind vor allem Personalkosten, wirtschaftlich ineffiziente Standzeiten durch streng regulierte Lenk- bzw. Fahrzeiten sowie ein zunehmender Personalmangel. Ein automatisierter Güterverkehr verspricht signifikante Kosteneinsparungen sowie die Möglichkeit, einen drohenden Personalmangel zu kompensieren.

Aktuell gibt es eine Zunahme von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten besonders im Bereich unbemannter Lkw und Schiffe, während im Bereich Schienengüterverkehr in Deutschland kaum Vorhaben zu verzeichnen sind. Je nach Einschätzung wird der Einsatz autonomer Schiffe und Lkw in den nächsten 10 bis 20 Jahren erwartet.

Eine wesentliche Herausforderung besteht neben technischen Hürden in der Lösung länderübergreifender regulatorischer Fragestellungen, denn vollautonomes Fahren ist auf Straßen und zur See bislang noch nicht erlaubt. Für Forschungszwecke wurde auf der Autobahn A9 im Frühjahr 2018 eine Teststrecke für das sogenannte Platooning (autonome Lkw fahren im Konvoi) eingerichtet; zudem sind laut Bundesregierung Testfelder auch für die autonome Schifffahrt nach dem Vorbild erster Pilotvorhaben in Norwegen in Planung.

Hintergrund und Entwicklung

Beim Güterverkehr geht es um eine Beförderung von Gütern aller Art auf Straße, Schiene, Wasser und in der Luft mit den entsprechenden Verkehrsmitteln Lkw, Güterzug, Binnen- und Seeschiffe oder Frachtflugzeuge. In der Regel erfolgt der Gütertransport über weitere Strecken und die transportierten Waren legen oftmals tausende Kilometer zurück, weil Wertschöpfungsketten in vielen Branchen längst globalisiert sind. Die Wettbewerbsfähigkeit einzelner Standorte wird somit maßgeblich durch eine effiziente Logistik von Gütern mitbestimmt.



Die Logistikbranche steht vor diversen Herausforderungen: vielfältige Sicherheitsvorschriften, strenge gesetzliche Regelungen bei Lenk- bzw. Fahrzeiten, Personalmangel, Kosten für Treibstoff und steigende Betriebskosten (Keese et al. 2016). Die Branche steht unter einem hohen Kostendruck und steht darüber hinaus auch unter kritischer Beobachtung, da sie maßgeblich zu Treibhausgasemissionen beiträgt. Ein automatisierter Güterverkehr verspricht gleich mehrere dieser Herausforderungen zu adressieren und damit signifikante Verbesserungen in der Branche herbeizuführen.

Perspektivisch könnte der Verkehr auf den Straßen durch die Automatisierung für alle Verkehrsteilnehmer sicherer und aufgrund weniger Staus gleichzeitig effizienter werden (LKW-fahren.info 2018). Analog wird eine geringere Unfallquote erwartet, weil 90 % der Unfälle durch menschliche Fehler verursacht werden. Daraus könnten sich Einsparungen durch geringere Versicherungskosten ergeben (Keese et al. 2016). Ein weiterer wesentlicher Anteil an den Betriebskosten im Bereich Lkw-Gütertransport sind die Personalkosten für die Fahrer, die rund 30 bis 40 % der Gesamtkosten ausmachen (Keese et al. 2016; Randelhoff 2017). Dieser Anteil kann durch vollständig autonome Lkw stark reduziert werden. Eine effizientere Fahrweise erlaubt darüber hinaus Einsparungen beim Kraftstoff und lässt dementsprechend einen verringerten CO₂-Ausstoß erwarten. Weiterhin könnten, u. a. durch Vermeiden der Lenkpausen, Standzeiten reduziert werden und Lkw dauerhaft im Einsatz sein.

Auch bei autonomen Frachtschiffen treiben vor allem Sicherheits- und Kostenaspekte die Entwicklungen hin zu einer stärkeren Automatisierung. Ähnlich wie im Straßenverkehr ist auch in der Seefahrt ein Großteil der Unfälle auf menschliches Versagen zurückzuführen. Laut einem Bericht der Europäischen Agentur für die Sicherheit des Seeverkehrs (EMSA 2017) wurden von 880 Unfällen, die sich im Zeitraum von 2011 bis 2015 ereigneten, 62 % von Menschen verursacht. Kostensenkungspotenziale können bei der Konstruktion autonomer Schiffe realisiert werden, weil auf bauliche Einrichtungen für das Schiffpersonal verzichtet werden kann (Esche 2017). Im Gegenzug kann der Frachtraum vergrößert werden. Für kleinere Schiffe wird wegen der wegfallenden Technik für die Mannschaft und die Brücke von 10 bis 15 % Ersparnis bei den Treibstoffkosten ausgegangen; bei größeren Schiffen sind noch höhere Einsparungen zu erwarten. Die Treibstoffkosten machen neben den Personalkosten (rund 30 %) den größten Anteil an den Schiffsbetriebskosten aus (Birger 2017; Dilba 2017; Webster 2017). Das Fraunhofer Zentrum für Maritime Logistik und Dienstleistungen hat errechnet, dass autonom fahrende Schiffe 3,4 % der Kosten gegenüber herkömmlichen Schiffen einsparen könnten (Kretschmann et al. 2017).

Beim autonomen Güterverkehr auf der Schiene würden vor allem Einsparungen bei den Personalkosten der Zugführer möglich sein. Projekte und dementsprechend belastbare Aussagen zu den Potenzialen gibt es in Deutschland



jedoch bislang kaum: Ein Entwicklungsvorhaben der Deutschen Bahn AG zielt beispielsweise auf die Entwicklung einer automatischen Rangierlokomotive und das Eisenbahn-Bundesamt hat bislang eine Studie zum autonomen Fahren auf der Schiene veröffentlicht (Flege 2017).

Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen im Bereich fahrerlose Lkw und Schiffe wurden in den letzten Jahren stark intensiviert. Sie verfolgen im Wesentlichen das Ziel, Kostensenkungspotenziale zu ermöglichen. Insbesondere der Lkw-Bereich gilt als Vorreiter bei der Automatisierung des Fahrens (Winterhagen 2018). Autonome Güterzüge stehen hingegen eher nicht im Fokus von Forschung und Entwicklung. Noch weniger trifft dies auf einen autonomen Güterflugverkehr zu, der bislang noch Vision ist und demzufolge auch nicht Teil der Betrachtung in diesem Kurzprofil.

Aktuell befindet sich der autonome Güterverkehr auf der Straße und zu Wasser in einem experimentellen Entwicklungsstadium. Die in den nachfolgend geschilderten Pilotprojekten realisierten Lkw und Frachtschiffe lassen sich auf Level 3 und 4 der üblicherweise verwendeten Skala für den Fahrzeugautomatisierungsgrad verorten. Level 1 »Kaum Automatisierung« bedeutet, dass der Fahrer mit Assistenzsystemen unterstützt wird, Level 5 »Vollständige Automatisierung« impliziert, dass Fahrzeuge auf unvorhergesehene Änderungen der Umgebungsbedingungen selbstständig reagieren können. Eine Überwachung durch einen Fahrer ist dann nicht mehr notwendig. Für die Pilotprojekte bedeutet dies, dass bestimmte Funktionen automatisiert sind bzw. der automatisierte Betrieb unter bestimmten Bedingungen (z. B. auf der Autobahn) gewährleistet ist. Der Fahrer muss aber noch an Bord sein, um im Bedarfsfall die Steuerung übernehmen zu können (Level 3) bzw. hat bei einem Automatisierungslevel 4 während der Fahrt im Normalfall keine Aufgaben, sondern erst wieder, wenn sich die Bedingungen ändern (beispielsweise Wechsel von Autobahn in Stadtverkehr) (Keese et al. 2016; Smith Walker 2013). In den einzelnen Bereichen wurden u. a. folgende Projekte durchgeführt:

- › Erstmalig fuhr ein autonom fahrender Lkw 2016 (mit Fahrer an Bord) im Auftrag des Brauereikonzerns Anheuser-Busch medienwirksam mit einer Lieferung Bierdosen über einen US-amerikanischen Highway. Entwickelt wurde der Lkw vom Fahrdienstvermittler Uber und dessen ehemaligen Tochterunternehmen Ottomotto (LOGISTIK HEUTE 2016). Neben der Google-Tochter Waymo, Tesla und dem Start-up Embark Trucks, ist Uber eines der führenden Unternehmen im Bereich selbstfahrende Lkw in den USA. Seit November 2018 fahren autonome Uber-Trucks auf Autobahnen in Arizona, wobei jedoch immer noch ein Mensch mitfährt (DVZ 2018).

Im April 2016 führten Volvo, Scania, MAN, Daimler, DAF und Iveco erste Feldversuche mit teilweise autonomen Lkw-Platoons durch. Beim Platooning werden bis zu zehn Lkw zu einer Kolonne zusammengeschaltet. Sie



fahren eng gestaffelt im Windschatten hintereinander, Gas-, Brems- und Lenkeingriffe erfolgen im Platoon synchronisiert und nur im vordersten Wagen ist ein Fahrer. Durch das Fahren im Windschatten können bis zu 10 % an Kraftstoff eingespart werden (Nowak et al. 2016; Schweitzer 2016).

Seit Frühjahr 2018 sind in einem Test autonom fahrende Lkw der DB-Tochtergesellschaft Schenker auf der Autobahn A9 zwischen München und Nürnberg dreimal täglich mit verschiedenartigen Beladungen unterwegs (FAZ 2018). Ferner arbeitet Mercedes-Benz mit seinem »FutureTruck« ebenfalls an einem autonom fahrenden Lkw-Konzept und testet ab 2018 in den USA auch das Platooning (Daimler AG 2018; Donath 2017).

- › Besonders in Finnland und Norwegen ist die Entwicklung autonomer Schiffe bereits sehr weit fortgeschritten (Esche 2017). Seit 2013 unterstützt der norwegische Staat die Entwicklung autonomer maritimer Systeme im Rahmen seines geförderten Zentrums für autonome marine Operationen und Systeme an der Universität Norwegen. Zu Testzwecken wurden drei Küstengebiete freigegeben (Zeh 2018). Das Anfang 2018 von der norwegischen Reederei Wilhelmsen und dem Technologiekonzern Kongsberg gegründete Start-up Massterly hat sich als erstes Unternehmen weltweit auf die Entwicklung der notwendigen Infrastruktur und die Bedienung autonomer Schiffe spezialisiert (Zeh 2018). In der zweiten Jahreshälfte 2018 sollte die Testfahrt des Containerschiffs »Yara Birkeland« stattfinden, eines elektrischen Frachtschiffs, das bis 2020 als weltweit erstes Schiff voll autonom agieren soll (Kongsberg Maritime 2018; Matthews 2017; Webster 2017). Parallel dazu entwickelt das norwegische Technikunternehmen DNV GL das autonome Containerschiff »ReVolt« für kurze Strecken. Prototypen werden vor der norwegischen Küste getestet. Weil das Schiff sehr viel langsamer als gewöhnlich fährt, kann zusätzlich zu Personalkosten auch substantiell Energie eingespart werden (DNV GL 2015; manager magazin 2014).

Seit dem Jahr 2015 arbeitet auch der britische Schiffsmotorenhersteller Rolls-Royce an der Entwicklung eines autonomen Frachtschiffes. Das Unternehmen führt ein Forschungskonsortium namens Advanced Autonomous Waterborne Applications Initiative (AAWA) mit Sitz in Finnland an (Rolls-Royce 2016; Schrank 2018).

Auf europäischer Ebene lief zwischen 2012 und 2015 das EU-Projekt »MUNIN« (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks). Das im FP7-Rahmenprogramm geförderte Projekt unter Leitung des Fraunhofer-Centers für Maritime Logistik und Dienstleistungen befasste sich mit dem Thema »Autonome Seeschifffahrt« und entwickelte praktische Lösungsansätze, um die Umsetzung eines autonom fahrenden Schiffes voranzutreiben (Fraunhofer CML 2016).



Auch Asien strebt in Richtung autonome Schifffahrt: Japanische Akteure arbeiten daran, bis zum Jahr 2025 250 Containerschiffe ohne Besatzung über das Meer fahren zu lassen, und China hat mit einem Pilotvorhaben zum autonomen Schiffsverkehr in der Region Zhuhai, Guangdong begonnen (Birger 2017; The Maritime Executive 2018).

- › Auf der Schiene gibt es bereits vollautonome Züge – allerdings nur im Personenverkehr. Bekannt sind die Shuttlezüge an Flughäfen oder selbstfahrende U-Bahnen. Im Jahr 2015 beförderten selbstfahrende Metros in 15 europäischen Städten rund 1 Mrd. Fahrgäste.

In Nürnberg fährt seit 2008 die bislang einzige selbstfahrende U-Bahn Deutschlands (Allianz pro Schiene e. V. 2016). Für den autonomen Gütertransport auf der Schiene gibt es hingegen bislang nur wenige Ansätze. Der australische Bergbaukonzern Rio Tinto setzt beispielsweise zum Eisenerztransport auf fahrerlose Güterzüge. Seit 2014 werden die ersten fahrerlosen Güterzüge getestet. Die Züge binden Eisenerzminen in der Pilbararegion an drei Verladehäfen an und verkehren auf dem etwa 1.500 km langen Schienennetz. Bis Ende 2018 sollen 40 Güterzüge automatisiert im eigenen privaten Schienennetz unterwegs sein (Randelhoff 2018). In Europa arbeitet seit Anfang 2018 das französische Unternehmen Alstom mit dem niederländischen Transportbetreiber Prorail und Rotterdam Rail Feeding zusammen. Es sollen Züge auf einer 150 km langen Route zwischen Rotterdam und Deutschland fahren. Die bislang entwickelten autonom fahrenden Güterzüge haben den Autonomielevel 3 bis 4. Der Zug fährt zwar computergesteuert, der Fahrer ist aber noch mit an Bord und kann notfalls die Steuerung übernehmen (Alstom 2018; Potor 2018). Die Deutsche Bahn hat im Jahr 2016 ebenfalls autonome Züge angekündigt, hat dabei aber nicht speziell auf den Güterverkehr abgehoben (ZEIT ONLINE 2016).

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI 2017b) hat im Rahmen des »Zukunftsforums Schiene Digital« gemeinsam mit der Deutschen Bahn AG und dem Verband der Bahnindustrie in Deutschland e.V. (VDB) eine 5-Punkte-Strategie erarbeitet, die unter anderem auch eine zunehmende Automatisierung und Vernetzung zum Ziel hat. Aktuell sind aber keine spezifischen Projekte zu autonomen (Güter-)Zügen auf der Webseite der Deutschen Bahn beschrieben (Deutsche Bahn AG 2018).

Die Beispiele zeigen zwar eine gewisse Entwicklungsdynamik, dennoch gehen selbst optimistische Schätzungen davon aus, dass erst in ca. 10 Jahren autonome Lkw auf den Straßen fahren könnten. Einschränkend bei diesen Prognosen ist der Umstand, dass sie sich allein auf Autobahnfahrten beziehen, weil die autonome Steuerung von Fahrzeugen innerhalb von Städten sehr viel komplexer zu realisieren ist (Dougherty 2017; Nowak et al. 2016; Schweitzer 2016). Konserva-



tivere Schätzungen gehen deshalb erst von einem späteren Zeitpunkt um das Jahr 2035 aus (IATA 2017, S. 25 f.).

Eine breite Einführung erfordert vor allem technische Weiterentwicklungen in den folgenden Bereichen:

- > Umgebungserfassung, also die Verortung von Objekten im dreidimensionalen Raum, durch eine Kombination aus Short- und Long-Range-Radar zur Ermittlung von Abstand und Geschwindigkeit, Stereokameras zur Ermittlung von Position und Geschwindigkeit und Light Detection and Ranging (LIDAR) zur dreidimensionalen Objekterkennung (Becker 2018; Keese et al. 2016).
- > Bilderkennung, also das Erkennen von Mustern in Bildern, stellt in komplexen, hochdynamischen Umgebungen wie beispielsweise dem Stadtverkehr eine bislang ungelöste Herausforderung dar (Becker 2018; Haist 2016). Eine korrekte Bilderkennung ist erforderlich, um andere Verkehrsteilnehmende zu identifizieren und deren Verhalten mittels Intentionserkennung korrekt antizipieren zu können.
- > Verarbeitung von Informationen über Verkehrssituation, Straßennetz und Umweltbedingungen. Informationsverarbeitende Systeme bedürfen zum einen entsprechender Sensortechnologien, um die erforderlichen Daten überhaupt sammeln zu können, sowie zum anderen vernetzender Technologien (z. B. Funknetze), um Daten übertragen und empfangen zu können. Darauf aufbauend werden datenverarbeitende Algorithmen benötigt, welche die autonome Fahrzeugführung (Geschwindigkeit, Richtung etc.) übernehmen (Flämig 2015).

Vergleichbare Entwicklungshürden existieren gegenwärtig auch im Bereich autonomer Schifffahrt (Rolls-Royce 2016) und sind dementsprechend ebenfalls zu überwinden, ehe von einer breiten Anwendung autonomer Systeme ausgegangen werden kann. Optimistische Schätzungen sehen autonome Frachter schon in 10 Jahren im Einsatz, etwas vorsichtigere Voraussagen erst ab 2035 oder 2040 (Esche 2017).

Gesellschaftliche und politische Relevanz

Für Deutschland als führende Exportnation ist der Warenverkehr von besonders großer Bedeutung. Mit einem Umsatz von rund 260 Mrd. Euro pro Jahr ist die Logistik der drittgrößte Wirtschaftszweig. Über Deutschlands Straßen, Schienen und Wasserstraßen werden jährlich 4,3 Mrd. t Waren bewegt (BMVI 2018). In der Branche arbeiten rund 3 Mio. Menschen (BMVI 2018). Das BMVI (2014) gibt in seiner Verkehrsprognose 2030 an, dass der Güterverkehr in



Deutschland, gemessen in Tonnenkilometer, gegenüber 2010 um 38 % zunehmen wird und damit ein deutlicher Zuwachs bei der Verkehrsleistung zu erwarten ist, der auch die Infrastruktur fordert. Der Güterverkehr auf der Schiene wächst laut dieser Prognose um 43 %, der Güterverkehr auf der Straße etwa gleich viel um 39 % und der Güterverkehr auf dem Wasser um 23 %. Auch weltweit ist von einem stetigen Wachstum auszugehen (Acker 2018). Ein automatisierter Güterverkehr verspricht in diesem Kontext Kostensenkungspotenziale nicht nur für die Wirtschaft, sondern auch für die Konsumenten durch preiswertere Waren.

Das Wachstum des Logistikmarktes bietet Chancen vor allem für kosteneffizient arbeitende Akteure, insbesondere bei einem bleibenden oder gar steigenden Kostendruck auf Logistikunternehmen. Jedoch dürften diese Chancen nicht von allen Marktteilnehmern gleichermaßen genutzt werden können, denn vor allem große Unternehmen mit entsprechenden finanziellen Mitteln können eher in autonom fahrende Fahrzeuge investieren und entsprechende Amortisationszeiträume bewältigen. Bei Systemen für Langstrecken-Lkw, die gar keinen Fahrer mehr benötigen, werden die zusätzlichen Investitionskosten auf 23.400 US-Dollar je Fahrzeug geschätzt. Eine schnelle Amortisation ist in der frühen Phase auf dem Weg zur vollständigen Automatisierung vor allem durch Platooning (Konvoibildung) zu erreichen. Signifikante Einsparungen sind langfristig aber nur durch vollständig autonome Lkw zu erwarten (Keese et al. 2016). Voraussichtlich werden kleinere und mittlere Transportunternehmen und Spediteure aus dem Markt ausscheiden, wenn eine finanzielle Deckung der Investitionskosten und der Amortisationszeiträume nicht möglich und die Konkurrenzfähigkeit nicht länger gegeben ist (Randelhoff 2017).

Die wirtschaftlichen Folgen sind – neben einer Überwindung der technischen Hürden – davon beeinflusst, ob die aktuell bestehenden regulatorischen Herausforderungen bewältigt werden können. Sowohl beim autonomen Fahren als auch für die autonome Schifffahrt fehlt bislang ein geeigneter Rechtsrahmen (Zeh 2018).

Nach der Änderung des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) im Mai 2017 kann teilautomatisiertes Fahren auf Straßen in Deutschland erlaubt sein, sofern das System jederzeit durch den Fahrer übersteuert oder deaktiviert werden kann (§ 1a Abs. 2 StVG). Vollständig autonomes Fahren ist jedoch weiterhin unzulässig. Im Bereich der Gütertransporte müssen die Regeln zudem auch länderübergreifend geregelt sein (Hägler 2017). Wie zuvor beschrieben, gibt es in Deutschland ein erstes Testfeld auf der Autobahn A9, auf dem im Sinne eines »Labors unter Realbedingungen« gekoppelte autonome Lkw (Platoons) getestet werden (BMVI 2017a, S. 33). Ein digitales Testfeld auf der Schiene ist im Aktionsplan Güterverkehr und Logistik nicht genannt (BMVI 2017a; Flege 2017).



Regulatorische Beschränkungen existieren auch bei der autonomen Schifffahrt. Länder, mit deren Schiffen internationaler Handel betrieben wird, müssen nach Kapitel 5, Regel 14 des internationalen Übereinkommens zum Schutz des menschlichen Lebens auf See (International Convention for the Safety of Life at Sea [SOLAS]) dafür Sorge tragen, »dass alle Schiffe ausreichend und sachgemäß besetzt sind« (BGBI. Teil II Nr. 23 vom 25. Juni 2002 [Anlageband]). Schiffe ohne Mannschaft sind nach derzeit geltendem Recht in internationalen Gewässern nicht zugelassen. In küstennahen Gewässern, welche nicht unter die Regeln des SOLAS fallen, werden jedoch Anstrengungen unternommen, eine Anpassung zu erreichen. Im Juni 2017 traf sich der Schiffssicherheitsausschuss (Maritime Safety Committee [MSC]) der Internationalen Seeschifffahrts-Organisation (International Maritime Organization [IMO]) in London, um eine Gruppe von Experten für die Erarbeitung von Vorschlägen zu beauftragen, wie das SOLAS vor dem Hintergrund autonomer Frachtschiffe geändert werden könnte (Matthews 2017; Webster 2017). Die IMO ist eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen, welche sich mit der Regulierung der internationalen Handelsschifffahrt befasst. Nach ihrer Einschätzung wird es ca. 3 Jahre dauern, die bestehenden Regeln zu ändern. Die Diskussionen des MSC wurden im Mai 2018 fortgesetzt (Ergebnisse liegen noch nicht vor). Für Deutschland plant die Bundesregierung ähnlich wie in Norwegen Gebiete auszuweisen, in denen autonome Schiffe und Systeme zu Testzwecken operieren können (Bundesregierung 2018; IMO 2018; Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages 2018).

Als Folge einer Einführung von autonomen Fahrzeugen im Güterverkehr kann mit Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt gerechnet werden: In einer Studie des International Transport Forum (ITF 2017) der internationalen Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) wurde geschlussfolgert, dass es durch die Automatisierung des Lkw-Verkehrs zu einer starken Gefährdung von Millionen Arbeitsplätzen kommen könnte. Zwar wächst bis 2030 der Bedarf auf etwa 6,4 Mio. Lkw-Fahrern in Europa und den USA gegenüber gegenwärtig 5,6 Mio., doch können schätzungsweise nur ca. 87,5 % dieser Stellen besetzt werden (disruptives Szenario). Eine rasche Einführung vollautonomer Lkw könnte zwar den Bedarf an Fahrern kurzfristig reduzieren, es besteht jedoch die Gefahr, dass langfristig gesehen bis zu 2 Mio. Arbeitsplätze durch Überkompensation gefährdet sind (ITF 2017, S. 7, 37 f.). Eine Empfehlung des ITF (2017) besteht darin, die Geschwindigkeit des Übergangs zu steuern. Beispielsweise können Lizenzen an Spediteure verkauft werden, die festlegen, wie viele Kilometer pro Jahr durch autonome Fahrzeuge zurückgelegt werden dürfen, um eine vorübergehende Weiterbeschäftigung der benötigten Fahrer zu bewirken. Ferner wird empfohlen, dass die Regierungen einen temporären Übergangsrat mit Vertretern von Gewerkschaften, Lkw-



Herstellern, Speditionen und Politik einsetzen, um die Transition schonend zu bewältigen (ITF 2017, S. 8).

Wie es bei der Digitalisierung auch in anderen Bereichen der Fall ist, dürfte auch im Transportwesen ein Teil der Verluste durch neu entstehende Jobs mit neuen Tätigkeitsprofilen kompensiert werden. Grundsätzlich wird sich das Tätigkeitsprofil bzw. Ausbildungsprofil von Berufskraftfahrern in der Übergangszeit bis zur vollständigen Autonomie ändern. Der Fahrer könnte unterwegs beispielsweise Büroarbeiten erledigen, z.B. mit Spediteuren kommunizieren, und würde damit zunehmend zu einem Logistikdienstleister (Schweitzer 2016). Aufgrund des vergleichsweise niedrigen Qualifikationsniveaus wird es aber für ehemalige Berufskraftfahrer vermutlich nicht einfach sein, in andere Tätigkeitsfelder zu wechseln (Randelhoff 2017).

Eine vergleichbare Entwicklung zeichnet sich für die autonome Schifffahrt ab. So werden Jobs auf den Schiffen wegfallen, aber zumindest zum Teil durch alternative Jobs an Land für das Überwachen und Fernwarten der Schiffe kompensiert. Dabei werden sich auch die Tätigkeitsprofile des eingesetzten Personals verändern (CB Insights 2017; Heymann 2016).

Im Kontext der vergleichsweise starken Entwicklungsbemühungen bei autonomen Schiffen und Lkw stellt sich auch die Frage nach der zukünftigen Rolle der Schiene als Verkehrsträger im Güterverkehr (Fraedrich et al. 2017). Schon heute macht der Warentransport per Lkw den Hauptanteil an der Gesamttransportleistung aus. In den nächsten Jahren dürfte der Anteil des Lkw-Transports in Deutschland leicht zunehmen (2013: 70,4 %; 2021: 72 % geschätzt) (Statista GmbH 2018). Im Vergleich dazu bleibt der Anteil der über die Schiene transportierten Güter bis zum Jahr 2021 mit 17,4 % in etwa konstant gegenüber der Entwicklung der letzten Jahre. Die Entscheidung für oder gegen einen Verkehrsweg ist von den infrastrukturellen Voraussetzungen und wirtschaftlichen Faktoren (Kosten/Nutzen) abhängig. Für Logistikunternehmen ist es vor allem dann ein wirtschaftlich lohnendes Geschäft, z.B. den Straßenverkehr dem Schienenverkehr vorzuziehen, wenn auch eine entsprechend leistungsfähige Straßeninfrastruktur (intakte Autobahnen/Brücken) für das höhere Verkehrsaufkommen zur Verfügung steht. Dies gilt in etwa natürlich auch für den umgekehrten Fall (Bevorzugung des Schienenverkehrs). Für den politischen Gestaltungsansatz bedeutet dies, u. a. unterstützende Maßnahmen zur Instandhaltung und Modernisierung von Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung möglicher Zielkonflikte (z. B. stärkere Unterstützung des Schienengüterverkehrs versus mehr autonomer Lkw-Gütertransport auf Autobahnen) sorgfältig abzuwägen, um gewünschte Effekte zu erzielen.

Vor dem Hintergrund einer allgemein vermuteten Zunahme des weltweiten Frachtaufkommens einerseits und der beschriebenen möglichen Effizienzpotenziale mit Blick auf den geringeren Treibstoffverbrauch durch Automatisierung



der Fahrzeuge und Schiffe andererseits sind ökologische Effekte nur schwer abzuleiten: Ausgehend von dem Argument, dass autonomer Güterverkehr aufgrund eines effizienteren Treibstoffverbrauchs den Ausstoß klimaschädlicher Emissionen verringert, kann mit positiven Folgen für die Umwelt gerechnet werden. Die Zunahme des Frachtaufkommens führt jedoch insgesamt zu einem größeren Verkehrsaufkommen. Mögliche grundsätzlich positive Effekte der Automatisierung könnten also durch ein generell erhöhtes und auch durch die Automatisierung bedingtes höheres Verkehrsaufkommen wieder verringert werden und gegebenenfalls auch zu einer negativen Umweltbilanz führen.

Mögliche Bearbeitung des Themas

Eine vertiefte Bearbeitung könnte in Form eines Sachstandsberichts zu den Automatisierungstendenzen unterschiedlicher Verkehrsträger im Bereich des autonomen Güterverkehrs erfolgen. Den Kern der Studie würde die Beschreibung des Status quo von Wissenschaft und Technik einschließlich aktueller Pilotvorhaben bilden. Dazu ergänzend könnte eine vergleichende Auswertung vorliegender (TA-)Studien, von Positionspapieren und Technologieroadmaps zu den ökonomischen und ökologischen sowie gesellschaftlichen Folgen und Perspektiven, durchgeführt werden. Eine eigenständige, tiefergehende Abschätzung möglicher Effekte z.B. auf den Arbeitsmarkt, die Umweltbilanz oder die Leistungsfähigkeit und Organisation des Güterverkehrs insgesamt erscheint hingegen kaum bzw. nicht mit vertretbarem Aufwand leistbar, weil hierfür umfangreiche Daten erhoben und ausgewertet werden müssten, die bislang nicht aggregiert bzw. zum Teil noch gar nicht vorliegen.

Literatur

- Acker, A. (2018): Key Transport Statistics. 2017 Data. International Transport Forum, www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/key-transport-statistics-2018.pdf (18.12.2018)
- Allianz pro Schiene e. V. (2016): Selbstfahrende Metros in Europa: Eine Milliarde Fahrgäste jedes Jahr. Pressemitteilung vom 30.11.2016, www.allianz-pro-schiene.de/presse/pressemitteilungen/uebersicht-selbstfahrende-metros-europa/ (13.8.2018)
- Alstom (2018): Alstom to perform automatic train operation test drive with Prorail and RRF on the Betuweroute in the Netherlands. Pressemitteilung vom 22.1.2018, www.alstom.com/press-releases-news/2018/1/alstom-to-perform-automatic-train-operation-test-drive-with-prorail-and-rrf-on-the-betuweroute-in-the-netherlands (13.8.2018)



- Becker, J. (2018): Roboter-Blues. Das größte Hindernis für Roboterautos ist die Bürokratie. In: Süddeutsche Zeitung (SZ), 28.7.2018, www.sueddeutsche.de/auto/autos-ohne-lenkrad-und-pedale-das-groesste-hindernis-fuer-roboterautos-ist-die-buero-kratie-1.4067892 (18.12.2018)
- Birger, N. (2017): Die Geisterschiffe sind schon startklar. Welt.de, 30.10.2017, www.welt.de/wirtschaft/article170160411/Die-Geisterschiffe-sind-schon-startklar.html (15.8.2018)
- BMVI (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur) (2014): Verkehrsprognose 2030. www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehrsprognose-2030-praesentation.pdf?__blob=publicationFile (13.8.2018)
- BMVI (2017a): Aktionsplan Güterverkehr und Logistik. Nachhaltig und effizient in die Zukunft. www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/aktionsplan-gueterverkehr-und-logistik.pdf?__blob=publicationFile (27.8.2018)
- BMVI (2017b): Innovationsforum Personen- und Güterverkehr. Ergebnisbericht. www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Presse/076-dobrindt-infrastruktur-upgrade-ergebnisbericht.pdf?__blob=publicationFile (15.8.2018)
- BMVI (2018): Logistik - Güter clever transportieren. www.bmvi.de/DE/Themen/Mobilitaet/Gueterverkehr-Logistik/Gueterverkehr-und-Logistik-kompakt/gueterverkehr-und-logistik-kompakt.html (13.8.2018)
- Bundesregierung (2018): Autonomes Fahren in der Schifffahrt. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Bernd Reuther ... und der Fraktion der FDP - Drucksache 19/3098 -. Deutscher Bundestag, Drucksache Nr. 19/3379, Bonn, <http://dipbt.bundestag.de/extrakt/ba/WP19/2371/237182.html> (25.7.2018)
- CB Insights (2017): Ghost Ships IRL: How Autonomous Cargo Boats Could Disrupt The Massive Shipping Industry. 4.10.2017, www.cbinsights.com/research/ghost-ships-autonomous-cargo-boats/ (15.8.2018)
- Daimler AG (2018): Design der Zukunft – der Future Truck 2025. www.mercedes-benz.com/de/mercedes-benz/design/design-der-zukunft-der-future-truck-2025/ (15.8.2018)
- Deutsche Bahn AG (Hg.) (2018): Autonomes Fahren. Autonome Elektrobusse und Platooning. www.deutschebahn.com/de/Digitalisierung/autonomes_fahren_neu (13.8.2018)
- Deutsche Verkehrs-Zeitung (DVZ) (2018): Uber befördert Fracht mit selbstfahrenden Volvo-LKW. www.dvz.de/rubriken/test-technik/detail/news/uber-befoerdert-fracht-mit-selbstfahrenden-volvo-lkw.html (15.8.2018)
- Dilba, D. (2017): Autonome Schiffe: Alle Mann von Bord. Technology Review, 23.6.2017, <https://heise.de/-3725761> (13.8.2018)
- DNV GL (2015): The ReVolt. A new inspirational ship concept. www.dnvgl.com/technology-innovation/revolt/index.html (15.8.2018)
- Donath, A. (2017): Platooning: Daimler fährt in den USA mit Lkw im autonomen Konvoi. Golem.de, 26.9.2017, www.golem.de/news/platooning-daimler-fahrt-in-den-usa-mit-lkw-im-autonomen-konvoi-1709-130252.html (4.9.2018)
- Dougherty, C. (2017): Self-Driving Trucks May Be Closer Than They Appear. The New York Times, 13.11.2017, www.nytimes.com/2017/11/13/business/self-driving-trucks.html (18.4.2018)
- EMSA (European Maritime Safety Agency) (2017): Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2016. www.standard-club.com/media/2519681/annual-overview-of-marine-casualties-incident-2016.pdf (13.6.2018)



- Esche, B. (2017): Fahren Schiffe bald ohne Kapitän? wdr.de, 27.1.2017, www1.wdr.de/wissen/technik/autonome-schiffe-100.html (13.8.2018)
- FAZ (Frankfurter Allgemeine Zeitung) (2018): Platooning auf A9: Lastwagen zwischen München und Nürnberg fahren jetzt selbständig. 25.6.2018, www.faz.net/aktuell/wirtschaft/autonome-lkw-auf-der-a9-zwischen-muenchen-und-nuernberg-15658523.html (15.8.2018)
- Flämig, H. (2015): Autonome Fahrzeuge und autonomes Fahren im Bereich des Gütertransportes. In: Maurer, M.; Gerdes, J.; Lenz, B.; Winner, H. (Hg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Berlin/Heidelberg, S. 377–398
- Flege, D. (2017): Fahrerloses Fahren - Die Schiene hat mehr als 30 Jahre Vorsprung. In: *Der Eisenbahningenieur* Nr. 7, S. 27–29
- Fraedrich, E.; Kröger, L.; Bahamonde-Birke, F.; Frenzel, I.; Liedtke, G.; Trommer, S.; Lenz, B.; Heinrichs, D. (2017): *Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr. Auswirkungen auf den Modal-Split, das Verkehrssystem und die Siedlungsstrukturen*. Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie (e-mobil BW GmbH); Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR); Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (VM BWL) (Hg.), www.e-mobilbw.de/files/e-mobil/content/DE/Publikationen/PDF/PDF_2017/Studie_AutomatisiertesFahren.pdf (27.8.2018)
- Hägler, M. (2017): Autonome Lkws sind zu schnell für den Menschen. *Süddeutsche Zeitung (SZ)*, 1.6.2017, www.sueddeutsche.de/auto/verkehr-autonome-lkws-sind-zu-schnell-fuer-den-menschen-1.3530699 (15.8.2018)
- Haist, T. (2016): *Autonomes Fahren: Eine kritische Beurteilung der technischen Realisierbarkeit*. Universität Stuttgart, 9.9.2016, <https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/8881/1/TechnischeProblemeAutonomesFahren.pdf> (25.7.2018)
- von Heymann, T. (2016): Ein autonomes Schiff wird kommen. *welt.de*, 10.10.2016, www.welt.de/print/die_welt/article158653599/Ein-autonomes-Schiff-wird-kommen.html (27.8.2018)
- IMO (International Maritime Organization) (2018): IMO takes first steps to address autonomous ships. 25.5.2018, www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/08-MS-C-99-MASS-scoping.aspx (13.6.2018)
- ITF (International Transport Forum) (2017): *Managing the Transition to Driverless Road Freight Transport. Case-Specific Policy Analysis Report*. www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/managing-transition-driverless-road-freight-transport.pdf (15.8.2017)
- Keese, S.; Bernhart, W.; Dressler, N.; Baum, M.; Rentzsch, W. (2016): *Automated Trucks. The next big disruptor in the automotive industry?* Roland Berger GmbH, Chicago/München
- Kongsberg Maritime (2018): *Autonomous ship project, key facts about YARA Birke land*. www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/4B8113B707A50A4FC125811D00407045?OpenDocument (13.6.2018)
- Kretschmann, L.; Burmeister, H.-C.; Jahn, C. (2017): *Analyzing the economic benefit of unmanned autonomous ships. An exploratory cost-comparison between an autonomous and a conventional bulk carrier*. In: *Research in Transportation Business & Management* 25, S. 76–86
- LKW-fahren.info (2018): *Autonomes Lkw Fahren: Der Güterverkehr der Zukunft*. <https://lkw-fahren.info/autonomes-lkw-fahren-der-gueterverkehr-der-zukunft> (13.8.2018)



- LOGISTIK HEUTE (2016): Güterverkehr: Autonom fahrender Lkw erledigt erstmals Frachtauftrag. Uber liefert in selbstfahrendem 40-Tonner Dosenbier für Anheuser-Busch aus. 30.10.2016, www.logistik-heute.de/Logistik-News-Logistik-Nachrichten/Markt-News/15640/Uber-liefert-in-selbstfahrendem-40-Tonner-Dosenbier-fuer-Anheuser-Busch-aus- (15.8.2018)
- manager magazin (2014): Container-Riese ohne Kapitän. 3.11.2014, www.manager-magazin.de/unternehmen/artikel/zukunft-der-schifffahrt-elektrischer-container-riese-ohne-kapitaen-a-995398.html (15.8.2018)
- Matthews, C. (2017): Unmanned 'ghost' ships are coming – but they could cost the cargo industry dearly. The Conversation, 4.9.2017, <https://theconversation.com/unmanned-ghost-ships-are-coming-83324> (4.6.2018)
- Fraunhofer CML (Fraunhofer Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen) (2016): Research in maritime autonomous systems. Project results and technology potentials. www.cml.fraunhofer.de/content/dam/cml/de/documents/Sonstiges/MUNIN%20-%20final%20brochure.pdf (18.12.2018)
- Nowak, G.; Maluck, J.; Stürmer, C.; Pasemann, J. (2016): The era of digitized trucking. Transforming the logistics value chain. PriceWaterhouse Coopers LLP, www.strategyand.pwc.com/reports/era-of-digitized-trucking (4.6.2018)
- Potor, M. (2018): Autonome Züge kommen! Aus der Traum vom Lokführer? [mobility mag.de](http://mobilitymag.de), 13.2.2018, <https://mobilitymag.de/autonome-zuege-lokfuehrer/> (13.8.2018)
- Randelhoff, M. (2017): Automatisierung des Straßengüterfernverkehrs. Zukunft Mobilität, 28.8.2017, www.zukunft-mobilitaet.net/113531/analyse/automatisierung-straessengueterverkehr-selbstfahrende-lkw-autonom-automatisierte-nfz-nutzfahrzeuge/ (27.8.2018)
- Randelhoff, M. (2018): Rio Tinto setzt zum Eisenerztransport in Australien auf fahrerlose Güterzüge, Zukunft Mobilität, 23.2.2012, www.zukunft-mobilitaet.net/8377/zukunft/rio-tinto-autohaul-autonomer-gueterzug/ (13.8.2018)
- Rolls-Royce (2016): Autonomous ships. The next step. www.rolls-royce.com/media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/rr-ship-intel-aawa-8pg.pdf (13.8.2018)
- Schrank, R. (2018): Autonome Schiffe: Der Kapitän von morgen ist ein Hightech-Experte. Brunel, www.brunel.de/de-de/autonome-schiffe (15.8.2018)
- Schweitzer, H. (2016): Der Laster wird zum Hightechgerät. Zeit Online, 21.9.2016, www.zeit.de/mobilitaet/2016-09/autonomes-fahren-logistik-lkw-iaa-speditionen (4.6.2018)
- Smith Walker, B. (2013): SAE Levels of Driving Automation. The Center for Internet and Society at Stanford Law School (CIS), 18.12.2013, <http://cyberlaw.stanford.edu/blog/2013/12/sae-levels-driving-automation> (13.8.2018)
- Statista GmbH (2018): Transport- und Logistikbranche. Dossier. <https://de.statista.com/statistik/studie/id/6329/dokument/transport-und-logistikbranche-deutschland-statista-dossier/> (28.8.2018)
- The Maritime Executive (2018): China to Build Autonomous Ship Test-Bed. 12.2.2018, www.maritime-executive.com/article/china-to-build-autonomous-ship-test-bed (15.8.2018)
- Webster, B. (2017): Rules of the sea rewritten to let unmanned 'ghost' cargo ships set sail. The Times, 9.6.2017, www.thetimes.co.uk/article/rules-of-the-sea-rewritten-to-let-unmanned-ghost-cargo-ships-set-sail-507b5rbpq (6.6.2018)



- Winterhagen, J. (2018): Nutzfahrzeugbranche will Vorreiter bei der Automatisierung sein. In: VDI Nachrichten 31, 2.8.2018
- Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages (2018): Autonomes Fahren auf Wasserwegen und Schienen. Ausarbeitung Nr. WD 5 - 3000 - 071/18, www.bundestag.de/blob/562380/a13d452255805109ecca58a42831619f/wd-5-071-18-pdf-data.pdf (13.8.2018)
- Zeh, J. (2018): Fahren die Schiffe bald ohne Steuermann? Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ), 15.4.2018, www.faz.net/aktuell/wirtschaft/massterly-treibt-die-entwicklung-autonomer-schiffe-voran-15533354.html (13.8.2018)
- Zeit Online (2016): Bahn plant autonome Züge. 9.6.2016, www.zeit.de/mobilitaet/2016-06/deutsche-bahn-autonomes-fahren-zug-lokfuehrer (13.8.2018)



**BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG**

Karlsruher Institut für Technologie

Neue Schönhauser Straße 10
10178 Berlin

Tel.: +49 30 28491-0
buero@tab-beim-bundestag.de
www.tab-beim-bundestag.de
@TABundestag

ISSN-Internet 2629-2874