



Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Chancen und Risiken des Einsatzes von Abstandhaltesystemen sowie des Platoonings von Strassenfahrzeugen - Machbarkeitsanalyse

5.0

11. August 2017

Bericht-Nr. 2060.966-001

Änderungsnachweis

Version	Datum	Status/Änderung/Bemerkung	Name
1.0	9. Mai.2017	Abschluss AS1	Gzim Kryeziu
2.0	17. Mai 2017	Integration AS2	Jörg Jermann
3.0	23. Mai 2017	Neustrukturierung nach ZwiBespr	Jörg Jermann
3.5	19. Juni 2017	Entwurf Schlussbericht	Jörg Jermann
4.0	28. Juli 2017	Prov. Version Schlussbericht	Jörg Jermann
5.0	11. August 2017	Def. Version Schlussbericht	Jörg Jermann

Verteiler dieser Version

Firma	Name	Anzahl/Form
ASTRA	Hauke Fehlberg	PDF

Projektleitung und Sachbearbeitung

Name	E-Mail	Telefon
Jörg Jermann	joerg.jermann@rapp.ch	+41 58 595 77 38
Bernhard Oehry	bernhard.oehry@rapp.ch	+41 58 595 78 46
Ralf Bosch	ralf.bosch@rapp.ch	+41 58 595 78 98
Thomas Schmid	thomas.schmid@rapp.ch	+41 58 595 72 32
Yves Gasser	yves.gasser@rapp.ch	+41 58 595 72 04
Cornelie van Driel	cornelie.vandriel@rapp-trans.de	+49 (6321) 929 32 86
Gzim Kryeziu	gzim.kryeziu@rapp.ch	+41 58 595 78 27

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé	6
Summary	9
1 Ausgangslage und Fragestellung	12
1.1 Ausgangslage	12
1.2 Ziel der Machbarkeitsanalyse	12
1.3 Vorgehensweise	12
1.4 Definitionen und Abgrenzungen	13
2 Literatur-Recherche und Interviews	15
2.1 Literatur-Recherche	15
2.2 Experten-Interviews	22
2.3 Externe Interviews	29
2.4 Zusammenfassung: Recherche und Interviews	32
2.5 Erkenntnisse aus Recherche und Interviews	35
3 Anforderungen an Betrieb und Infrastruktur	36
3.1 Betriebliche Gesetzmässigkeiten Platooning	36
3.2 Anforderungen von Platooning an die Infrastruktur	46
4 Charakteristika Strassennetz Schweiz	49
4.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen	49
4.2 Topologie Nationalstrassennetz	49
4.3 Baustellen und Projekte	52
5 Anwendung der Ergebnisse auf die Schweiz	53
5.1 Platooning-Betrieb mit Auflösung	53
5.2 Platooning-Betrieb ohne Auflösung	54
6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen	56
6.1 Motivation und Treiber	56
6.2 Betriebliche und infrastrukturelle Restriktionen	56
6.3 Leistungsfähigkeit	57
6.4 Sicherheit	57
6.5 Infrastruktur	58
6.6 Umsetzung	58
Literaturverzeichnis	60
Abkürzungsverzeichnis	64
Anhänge	65
Anhang A: Recherche	66
Anhang B: Betrieb	109
Anhang C: Charakteristika Schweiz	125

Zusammenfassung

Ausgangslage und Auftrag

Das Ziel der Studie ist das Erkennen möglicher Chancen und Risiken des Einsatzes von Abstandhaltesystemen, darunter des Platoonings (Kolonnenfahrten in geringen Abständen dank Vernetzung) in der Schweiz. Zudem sollen Grundlagen geschaffen werden, um allfällige Gesuche für Pilotprojekte im Truck Platooning zu bearbeiten und den Handlungsbedarf für das Schaffen technischer und verkehrlicher Voraussetzungen zu bestimmen.

Vorgehen

Als Grundlage der vorliegenden Studie dienen eine Literaturstudie und Interviews mit Stakeholdern. Im Rahmen der Literaturstudie wurden Materialien zum Entwicklungsstand und zu verkehrlichen Wirkungen von Abstandhaltesystemen (ACC, CACC), Pilotprojekten im Ausland und wichtigen Aspekten des Truck Platoonings (Business Case etc.) zusammengetragen. In den Interviews wurden Truck-Hersteller und Behörden aus dem europäischen Raum sowie Schweizer und europäische Logistik-Dienstleister telefonisch befragt. Das Setting der Interviews stützte sich auf den Erkenntnisstand der Literaturstudie ab und berücksichtigte die Themen Technologie, Business Case, Betrieb und offene Punkte aus Sicht der Befragten.

Auf der Grundlage der Literaturstudie und Interviews wurden Anforderungen des Truck Platoonings an Betrieb und Infrastruktur analysiert und hergeleitet. Der betriebliche Aspekt der Bildung und Auflösung von Platoon-Verbänden wurde für verschiedene Situationen diskutiert und für konkrete Anwendungsfälle wie Autobahn-Ein- oder Ausfahrten sowie Tunnels durchgespielt. Ebenfalls wurden die Platoon-Grösse und die Zusammensetzung eines Platoon-Verbands hinsichtlich ihrer Wirkung auf Geschwindigkeit, Sicherheit und Leistungsfähigkeit beurteilt. Ein besonderes Augenmerk wurde auf Brems-Situationen und den sicheren Umgang im Verband mit kurzen Abständen gelegt. Die Anforderungen an die Infrastruktur wurden hinsichtlich statischen und dynamischen Einwirkungen des Platoonings hergeleitet. Hier wurde insbesondere beleuchtet, ob und welche zusätzlichen Einwirkungen gegenüber heute eintreten könnten und wie deren Auswirkungen zu beurteilen wären.

Auf Basis von Geodaten wurden die Charakteristika des Schweizer Nationalstrassennetzes hinsichtlich Anzahl Spuren und Abfolgen von Ein-/Ausfahrten, Tunnels und Brücken untersucht. Der betriebliche Ablauf des Truck Platoonings wurde für diese Charakteristika durchgespielt und es wurden dessen Auswirkungen konkret beschrieben. Ebenso wurden mögliche Teststrecken für allfällige Pilotprojekte evaluiert.

Resultate Recherche und Interviews

Abstandhaltesysteme haben einen positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit. So kann der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug sicher gehalten werden. Effizienzsteigerungen in der Strassennutzung durch den Einsatz von unvernetzten Fahrzeugen mit ACC (Adaptive Cruise Control) sind nicht zu erwarten, da Fahrzeuge mit ACC einen größeren Sicherheitsabstand verwenden als Fahrer ohne ACC. Fahrzeuge mit CACC (Cooperative Adaptive Cruise Control) können hingegen aufgrund ihrer elektronischen Vernetzung mit ihrem Vorgänger kommunizieren und so mit kürzeren Abständen folgen, was insbesondere bei hoher Ausstattungsrate mit CACC (ab 40-50%) zu einer höheren Strassenkapazität führt. Im LKW-Verkehr können durch Truck Platooning schon früher positive Effekte erzeugt werden (bsp. Treibstoffeinsparungen). Infolge vieler offener Punkte – insbesondere regulatorischer und gesetzlicher

Natur - ist zurzeit jedoch kein Business Case erkennbar, der eine kurzfristige Einführung von Truck Platooning erwarten lässt.

Die Interviews zeigen, dass die befragten Stakeholder mehrheitlich positiv gegenüber neuen Technologien eingestellt sind, wenn auch das Engagement tendenziell davon geprägt ist, nicht den Anschluss zu verlieren. Hingegen sind die meisten Experten skeptisch, wenn es um die Umsetzung von Truck Platooning in der Schweiz geht. Für Fahrzeughersteller ist Truck Platooning eine Anwendung des automatisierten Fahrens und wird, auch aufgrund einfach und plakativ zu vermittelnder Nutzenargumente, intensiv erforscht. Die Infrastrukturbetreiber hingegen sehen sich nicht in der Verantwortung Platooning voranzutreiben. Dies ist aus Sicht der Autoren der vorliegenden Studie zu hinterfragen; denn auch wenn die Wirkungen erst zu einem späteren Zeitpunkt erkennbar werden, stehen die entsprechenden Investitionsentscheidungen (z.B. Verlängerung Einfahrtsstrecken) bereits heute an. Die Anwender ihrerseits können aufgrund des Fehlens der gesetzlichen Rahmenbedingungen noch nicht verlässlich in die Automatisierung oder Vernetzung der Fahrzeuge investieren und somit nicht als Treiber der Technologie fungieren.

Resultate Betrieb und Infrastruktur

Aus den Resultaten der Recherche und der rechnerischen Nachbildung der betrieblichen Aspekte des Truck Platoonings wurden praktikable Kenngrössen für den Platooning-Betrieb hergeleitet.

Parameter im Platooning-Betrieb		Abstände im Platooning-Betrieb	
LKW-Geschwindigkeit	80 km/h	LKW-Abstand im Platoon	15 m
Platoon-Geschwindigkeit	75 km/h	LKW-Abstand bei Ein-/Ausfahrten	50 m
Beschleunigung/Verzögerung	0.5 m/s ²	LKW-Abstand in Tunnels	100 m
Platoon-Grösse	3 LKW	LKW-Abstand im Gotthard	150 m

Die Anwendung dieser Kenngrössen führt für die Abwicklung der Platoon-Bildung und -Auflösung zu Fahrstrecken von 2.6 resp. 2.8 km bei Tunnels und 1.1 resp. 1.2 km bei Ein-/Ausfahrten.

Die Notwendigkeit den Platoon-Verband bei Tunnels und Ein-/Ausfahrten aufzulösen wurde differenziert erhoben. Bei Tunnels haben Abklärungen bei Fachstellen des ASTRA ergeben, dass sich ein Platoon-Verband in Tunnels mit einer Länge von mehr als 300 Metern zur Gewährleistung des Brandschutzes aufzulösen hat. Bei Ein-/Ausfahrten und Brücken ergab hingegen die Analyse der Anforderungen an Betrieb und Infrastruktur sowohl Argumente für die Auflösung eines Platoon-Verbandes wie dagegen.

Zur Quantifizierung der Konsequenzen dieser Optionen wurde deshalb das Platooning-Potential zweier Varianten geprüft. Die erste Variante beinhaltet eine Platoon-Auflösung vor Tunnels und Ein-/Ausfahrten; bei der zweiten Variante erfolgt die Platoon-Auflösung nur vor Tunnels. Letzteres liesse sich mit infrastrukturellen und/oder rechtlichen Anpassungen auf der rechten oder linken Fahrspur umsetzen, wobei die Verkehrssicherheit gewährleistet sein müsste.

Als Resultat hat sich gezeigt, dass auf dem Schweizer Nationalstrassennetz mit seiner hohen Dichte an Tunnels und Ein-/Ausfahrten ein Truck Platooning *mit Auflösung* nur auf 20 – 25% der Strecken erfolgen könnte und somit nicht praktikabel ist. Die Variante *ohne Auflösung* (linke oder rechte Fahrspur) würde hingegen, unter dem Vorbehalt einer gewährleisteten Verkehrssicherheit, auf ca. 80% der Strecken Platooning ermöglichen.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Das Potential für Platooning mit Auflösung bei Ein-/Ausfahrten ist in der Schweiz begrenzt. Auch diesbezügliche Pilotprojekte können nicht empfohlen werden, da die Voraussetzungen für erfolgreiche Resultate nicht gegeben sind und eine Akzeptanz für Platooning auf Jahre negativ beeinflussen könnte. Wird jedoch als Betriebsform Platooning ohne Auflösung bei Ein-/Ausfahrten gewählt – sei es durch Nutzung der rechten oder der linken Fahrspur – und wären die technischen und rechtlichen Voraussetzungen geschaffen, könnten bis zu 80% der Strecken im Platoon gefahren werden. Damit wären betriebstaugliche Voraussetzungen geschaffen.

Pilotprojekte mit einem Truck Platooning könnten, in Hinblick auf späteres automatisiertes Fahren von PW und LW, wichtige grundsätzliche Erkenntnisse zur Praktikabilität von Betriebsformen mit vernetzten Fahrzeugen ergeben. Angesichts dessen, dass die Vernetzung unter den Fahrzeugen – seien es PW oder LW – stark voranschreitet und in naher Zukunft entsprechende Fahrzeuge auf dem Markt verfügbar sein werden, bietet es sich an, durch Pilotprojekte zu Platooning erste Erfahrungen mit vernetzten Fahrzeugen zu sammeln.

Als mögliche Teststrecke würde sich die Strecke Bern – Vevey der A12 anbieten. Dieser Abschnitt eignet sich einerseits aufgrund der generell moderaten Belastung, andererseits könnte hier vertieft der Einfluss eines grossen Gefälles und das Verhalten grosser Brückenbauwerke geprüft werden. Ebenso könnte die Auflösung des Platoon-Verbands vor Tunnelleinfahrten getestet werden.

Aus der European Truck Platooning Challenge ist bekannt, dass in den beteiligten Ländern die Vorlaufzeit für ein Pilotprojekt rund 12-18 Monate betrug. Bei angenommen ähnlichen Verhältnissen könnte der Beginn eines allfälligen Schweizer Pilotprojektes mit Truck Platooning auf Sommer 2019 möglich sein. Die Grundlagen für einen Entscheid über eine definitive Einführung von Platooning sind noch unzureichend. Diesen Zustand zu beheben erfordert weitergehende Abklärungen und ist auch bei positivem Verlauf eines Pilotprojekts erst mittelfristig vorstellbar.

Résumé

Situation initiale et mandat

L'objectif de cette étude est la détection de possibles opportunités et risques de l'utilisation des systèmes d'espacements, y compris la circulation automatisée en peloton (avec peu de séparation grâce aux véhicules interconnectés) en Suisse. En outre, une base solide doit être établie pour traiter des éventuelles demandes de projets pilote et déterminer les conditions techniques et de la circulation pré-requises.

Procédé

Une recherche de littérature et des entrevues avec les parties prenantes constituent la base de la présente étude. Dans le cadre de l'étude approfondie de la littérature, des matériaux concernant l'état de développement des systèmes de régulation de vitesse adaptative (ACC, CACC) et ses effets dans le transport, des expériences pilotes à l'étranger et des aspects importants de la circulation en peloton de camions (cas d'affaires etc.) ont été rassemblés. Des constructeurs de camions, des autorités européennes ainsi que des prestataires logistiques suisses et européens ont été consultés dans les interviews par téléphone. Le cadre des entretiens s'appuyait sur les connaissances de la recherche de littérature et prenait en considération les thèmes technologique, cas d'affaires, exploitation et points en suspens de la perspective des interrogés.

Sur la base de la recherche de littérature et des interviews, les exigences de la circulation en peloton de camions à l'exploitation et à l'infrastructure ont été analysées et déduites. L'aspect opérationnel de la formation et la désintégration de pelotons a été discuté pour différentes situations et simulé pour certains scénarios concrets, comme entrées et sorties des autoroutes ou des tunnels. La taille de et la composition d'un peloton ont également été évaluées en termes d'impact sur la vitesse, la sécurité et l'efficacité. Une attention particulière a été accordée à des situations de freinage et conduite en toute sécurité, avec peu de distance entre les véhicules. Les demandes à l'infrastructure ont été déduites, en prenant en considération des influences statiques et dynamiques de la circulation en peloton. Ici on a mis en lumière notamment, si, et quels effets supplémentaires peuvent se produire et comment ils seraient à évaluer.

Sur la base des données géographiques, les caractéristiques du réseau routier national suisse ont été examinées quant au nombre des voies de circulation et les séries des rampes d'accès et sortie, des tunnels et des ponts. Le déroulement opérationnel de pelotons de camions a été simulé pour ces caractéristiques et ses effets ont été décrits concrètement. Ainsi des pistes d'essais possibles pour des éventuels projets pilotes ont été évaluées.

Résultats de la recherche et des interviews

Les systèmes d'espacement ont un impact positif sur la sécurité routière. Ainsi, la distance au véhicule devant peut être conservée en toute sécurité. Une augmentation d'efficacité de l'utilisation des routes par l'emploi de régulation de vitesse adaptative (ACC¹, sans connexion entre les véhicules) n'est pas attendue, car les véhicules utilisant l'ACC emploient un espacement de sécurité plus grand que des véhicules sans l'ACC. Les véhicules avec la CACC²

¹ En anglais "Adaptive Cruise Control"

² En anglais "Cooperative Adaptive Cruise Control"

(régulation de de vitesse adaptive coopérative, avec connexion entre les véhicules) par contre, ont un espacement plus serré, ce qui conduit à une augmentation de la capacité sur les routes, notamment avec un haut taux d'équipement de CACC (à partir de 40-50%). Dans le trafic de camions, des effets positifs peuvent être produits plus tôt (par ex. des économies de carburant). En raison de nombreuses questions en suspens – notamment en matière réglementaire et juridique – aucun cas d'affaires n'est connu, qui laisserait envisager une introduction de la circulation de peloton de camions à court terme.

Les interviews montrent, que la plupart des parties prenantes interrogées maintient une position principalement ouverte concernant les nouvelles technologies, bien que l'engagement puisse être motivé à ne pas perdre la connexion. Tout de même, la plupart des experts est sceptique quand il s'agit de la mise en œuvre de la circulation en peloton de camions en Suisse. Pour les constructeurs de véhicules, la circulation en peloton de camions est une application de conduite automatisée et d'intenses recherches, aussi à cause des arguments de profit marquants et simples à communiquer. Les gestionnaires d'infrastructure par contre, ne considèrent pas comme leur responsabilité de promouvoir la circulation en peloton. Cela doit être remis en question, selon les auteurs de cette étude; car même si les effets sont visibles seulement à une date ultérieure, les décisions d'investissement correspondant (par exemple, l'extension de routes d'entrée) sont des sujets d'actualité. Quant aux utilisateurs, ils ne peuvent encore investir d'une manière fiable dans l'automatisation ou l'interconnexion des véhicules à cause de l'absence d'un cadre juridique approprié, tant qu'ils ne peuvent pas jouer le rôle de meneurs de la technologie.

Résultats service et infrastructure

Des résultats de la recherche et de la simulation mathématique des aspects opérationnels de la circulation en peloton de camions, quelques paramètres réalisables ont été déduits pour son bon fonctionnement.

Paramètres pour le bon fonctionnement		Espacement en exploitation	
Vitesse camion	80 km/h	Espacement des camions en peloton	15 m
Vitesse peloton	75 km/h	Espacement des camions sur les rampes d'accès et de sortie	50 m
Accélération/décélération	0.5 m/s ²	Espacement des camions dans les tunnels	100 m
Taille de peloton	3 camions	Espacement des camions dans le Gothard	150 m

L'application de ces paramètres pour la formation et la désintégration de pelotons entraîne des trajets de 2.6 km respectivement 2.8 km dans les tunnels et de 1.1 respectivement 1.2 km sur les rampes d'accès et de sortie.

Les nécessités de désintégrer le peloton aux niveaux des tunnels et des rampes d'accès et de sortie ont été évaluées de façon différenciée. Des clarifications avec l'office fédéral des routes

(OFROU) ont révélé qu'un peloton doit se désintégrer lors de passage de tunnels ayant une longueur de plus de 300 mètres pour assurer la sécurité d'incendie. En ce qui concerne les rampes d'accès et de sortie ainsi que les ponts, l'analyse des exigences au service et à l'infrastructure a donné des arguments pour, comme des arguments contre la désintégration de pelotons.

Pour la quantification des conséquences de cette option, le potentiel de peloton de deux variantes a été étudié. La première variante contient une désintégration de pelotons avant les tunnels et les rampes d'accès et de sortie, la deuxième variante poursuit la désintégration des pelotons uniquement avant les tunnels; La réalisation se ferait avec des ajustements de l'infrastructure et/ou légales correspondants sur la voie gauche ou droite, en prenant en compte la sécurité de circulation. Un peloton de camions *avec désintégration* (variante 1) pourrait se réaliser seulement sur 20 à 25% des itinéraires, car le réseau suisse des routes nationales présente une haute densité de tunnels et rampes d'accès et sortie. Cette variante n'est alors pas applicable. La variante *sans désintégrations* (sur la voie gauche ou droite) permettrait, elle, avec la condition de la maintenance de la sécurité de la circulation, le peloton sur 80% des itinéraires.

Conclusions et recommandations

Le potentiel pour le peloton avec une désintégration aux rampes d'accès et sortie en Suisse est limité. Même des projets pilotes par rapport à ce sujet ne peuvent pas être recommandés, car les exigences pour un succès ne sont pas données, ce qui pourrait influencer négativement une acceptation du peloton. Par contre, si on choisit un peloton sans désintégration aux rampes d'accès et sortie comme forme d'exploitation – soit par l'utilisation de la voie gauche ou droite, et en respectant les exigences légales et techniques – on pourrait rouler sur 80% des itinéraires en peloton. Avec ça seraient établies des conditions aptes pour l'exploitation.

Des projets pilotes avec la circulation en peloton de camions pourraient fournir des connaissances de base importantes sur la praticabilité des formes d'exploitation avec des véhicules interconnectés, incluant une future conduite automatisée des voitures et des camions. Étant donné que l'interconnexion des véhicules - voitures particulières ou camions – avance fortement et que dans un avenir proche des véhicules conformes seront disponibles sur le marché, il convient de faire des premières expériences avec des véhicules interconnectés par des projets pilotes de circulation automatisée en peloton.

Comme piste d'essai possible s'offrirait l'itinéraire Berne – Vevey de l'A12. Ce segment convient pour sa sollicitation généralement modérée, il est par ce qu'il est possible ici d'examiner de manière approfondi les influences d'une grande déclivité et le comportement de grandes constructions de ponts. La désintégration de pelotons avant les entrées des tunnels pourrait également être testée.

Il est connu du "défi européen de la circulation en peloton de camions", que dans les pays participants le temps d'étude d'un projet pilote est de 12-18 mois. Avec l'hypothèse de telles circonstances le commencement d'un éventuel projet pilote suisse de circulation en peloton de camions pourrait être possible pour l'été 2019. Les bases pour une décision sur l'introduction définitive de circulation en peloton sont encore insuffisantes. Remédier à cette situation exige des clarifications approfondies et n'est concevable qu'à moyen terme, même avec un déroulement positive d'un projet pilote.

Summary

Starting position and mandate

The goal of the study is to assess potential opportunities and risks of the use of inter-vehicle gap holding systems, such as platooning (driving in convoy with short gaps between the vehicles thanks to interconnected vehicles) in Switzerland. In addition, the fundamentals shall be elaborated for assessing possible requirements for pilot projects in truck platooning and for defining the need for action to create the required technical and infrastructural conditions.

Approach

A literature research and interviews with stakeholders serve as a base for the present study. In the literature research, information concerning the state of development and the traffic effects of gap holding Systems (ACC, CACC), pilot projects in other countries and important aspects of truck platooning (business case etc.) were collected. Truck-manufacturers and administrations from European countries as well as Swiss and European logistics-services have been interviewed by phone. The setting of the interviews was based on knowledge acquired in the literature study and concerned the topics technology, business case, operations and open issues from the perspectives of the interview partners.

Based on the literature-research and the interviews, requirements of truck platooning on operations and infrastructure are analyzed and deduced. The operational aspects of forming and braking-up of platoons are discussed for different scenarios and examined for concrete situations such as entrance and exit ramps of highways and tunnels. Platoon dimensions and composition are also evaluated with respect to the effects on velocity, safety and performance. Special attention is given to braking situations and to the secure management of platoons with small gaps. Infrastructure requirements are deduced regarding the static and dynamic influences of platoons. In this respect it is especially highlighted which additional impacts might result and how the resulting effects can be evaluated.

The characteristics of the Swiss national highway network regarding the number of lanes and the density of access and exit ramps, tunnels, and bridges have been examined on the base of geodata. For these characteristics, the operational procedures of truck platooning have then been analyzed and their consequences are described in concrete terms. On this basis also considerations are made on possible test-routes for eventual pilot projects.

Results of literature research and interviews

Gap-holding systems have a positive influence on traffic safety. With their help, the distance to the preceding vehicle can be held safe. Efficiency-increases in road use are not to be expected by the introduction of non-connected vehicles with ACC only (Adaptive Cruise Control). This is because vehicles with ACC employ a larger safety-gap than drivers generally do by themselves without assisting ACC. Vehicles with CACC (Cooperative Adaptive Cruise Control) on the other hand are electronically linked, can communicate with their predecessor and can consequently follow each other with smaller gaps. This leads to increased road-capacity especially when a high fraction of vehicles is equipped with CACC (40-50%). For the case of truck platoons, positive effects manifest themselves at an earlier stage (for example fuel savings). Yet as a consequence of a number of open issues – especially of regulatory and

legal nature – there is no business case visible that would press towards a short-term introduction of truck platooning.

The interviews show that most of the stakeholders have a positive attitude towards new technologies, albeit the interest tends to be driven by the motive not to be left behind. However, most of the experts are still skeptical when it comes to the application of truck platooning in Switzerland. For vehicle manufacturers, truck platooning is just an application of automatic driving, which is intensely researched, not the least because of obvious and easy to communicate benefits. The infrastructure operators on the other hand do not see themselves responsible for promoting platooning. From the perspective of the authors of this study, this needs to be questioned, since even if the effects only become visible in the future, respective investment decisions (e.g. lengthening of access ramps) are due already today. The users for their part are not yet able to invest in the automatization or interconnection of vehicles on a reliable basis. For lack of a legal framework they do not act as drivers of the technology.

Results regarding operations and infrastructure

We have deduced feasible parameters for platoon operations based on the results of the investigation and on a computational simulation of the operational aspects of truck platooning:

Parameters in platoon operations		Gaps in platooning	
Truck velocity	80 km/h	Gap in platoon operations	15 m
Platoon velocity	75 km/h	Gap on access- and exit-ramps	50 m
Acceleration/delay	0.5 m/s ²	Gap in tunnels	100 m
Platoon-dimension	3 Trucks	Gap in the St. Gotthard-tunnel	150 m

Application of these parameters to platoon forming and brake-up maneuvers leads to driving distances of 2.6 resp. 2.8 km at tunnels and 1.1 resp. 1.2 km at access- and exit-ramps.

The need to brake-up the platoon at tunnels and at access-/exit-ramps was investigated in a differentiated way. Concerning tunnels, investigations with the specialist units of the FEDRO resulted in the requirement that a platoon in tunnels exceeding 300m length have to be broken-up for reasons of fire protection. For access/exit-ramps and bridge constructions, the analysis of operational and infrastructure requirements resulted both in arguments favoring the brake-up of the platoon as well as arguments against it.

For the quantification of the consequences of these options the platooning potential of two variants has been checked. The first variant includes a platoon brake-up before tunnels and access-/exit-ramps, in the second variant the brake-up of the platoon only takes place before tunnels. The latter could be realized with infrastructure and legal adaptations regarding the use of the left and/or right traffic lane, where traffic safety would need to be ensured in all cases.

As a result, we demonstrate for the national road network of Switzerland with its high density of tunnels and access-/exit-ramps that truck platooning *with brake-up* would only be possible on 20-25% of a route and is therefore not meaningful. The variant *without brake-up* (left or right traffic lane) in contrast, would allow platooning for almost 80% of a route, always provided road safety can be ensured.

Conclusions and recommendations

In Switzerland the potential for platooning with platoon brake-up at access- and exit-ramps is severely limited. Pilot projects concerning this matter cannot be recommended, because the conditions for positive results are not given and the attitudes towards platooning would likely be negatively influenced. For an operational mode of platooning without brake-up at access-/exit-ramps – whether by the use of the right or left traffic lane - and assuming that the technical and legal requirements can be established, up to 80% of a route could be driven in platoon formation. This way, favorable operational conditions would be established.

Regarding the future automatized driving of passenger vehicles and trucks, platooning pilot projects have the potential to deliver critical fundamental findings concerning the practicality of operational modes with interconnected vehicles. In light of the fact that vehicle networking – whether between passenger vehicles or trucks - is progressing rapidly and that appropriate vehicles will be available on the market in the near future, it may be useful to collect first experiences regarding connected vehicles by way of platooning pilot projects.

As a possible test track, the A12 route Bern – Vevey was identified. This section is suitable because of generally moderate road congestion and also because the impacts of a steep slope and the reaction of large bridge constructions could be thoroughly evaluated. The brake-up of the platoon before tunnel entrances would also be amenable to testing.

In the European Truck Platooning Challenge the lead time for a pilot project was about 12–18 months in the involved countries. Similar conditions assumed, a Swiss truck platooning pilot could possibly start in summer 2019. The foundations for definitive decisions on the introduction of platooning are still insufficient. Deeper investigations are required and, even with a favorable outcome of a pilot project, decisions are possible only in the medium-term.

1 Ausgangslage und Fragestellung

1.1 Ausgangslage

Das Bundesamt für Strassen (ASTRA) bezeichnet die Anzahl Staustunden auf dem Nationalstrassennetz als ein zentrales Problem. Massnahmen des Verkehrsmanagements zur Verbesserung des Verkehrsfluss sind zeitnah einzuleiten.

In einem ASTRA-Papier „Sofortmassnahmen Verkehrsmanagement“ vom 25.8.2016 an die UVEK-Vorsteherin werden umsetzbare Massnahmen benannt und in drei Kategorien unterteilt: kurzfristig (bis Ende 2016 umsetzbar), längerfristig (bis Ende 2017 umsetzbar) und Massnahmen mit Konkretisierungsbedarf. Zu letztgenannter Kategorie gehört die Massnahme 14 unter dem Titel „Evaluierung der Nutzung von Abstandshaltesystemen und Platooning / Anpassung Strassenverkehrsrecht“.

Das ASTRA hat Rapp Trans AG mit der materiellen Erarbeitung der relevanten Aspekte zu diesem Inhalt beauftragt.

1.2 Ziel der Machbarkeitsanalyse

Das Ziel der Studie ist das Erkennen möglicher Chancen und Risiken des Einsatzes von Abstandshaltesystemen sowie des Platoonings von Strassenfahrzeugen in der Schweiz.

Zudem sollen Grundlagen geschaffen werden, um allfällige Gesuche für Pilotprojekte im Truck Platooning zu bearbeiten und den Handlungsbedarf für das Schaffen technischer und verkehrlicher Voraussetzungen zu bestimmen.

Weiter sind auf einer allgemeinen Ebene Einschätzungen zu vollziehen, ob die notwendigen rechtlichen Grundlagen bestehen oder ob es einen Handlungsbedarf gibt.

1.3 Vorgehensweise

Die Studie beleuchtet in einer strukturierten Vorgehensweise die verschiedenen Aspekte von Abstandshaltesystemen sowie des Platoonings von Strassenfahrzeugen.

Dazu werden im Rahmen einer breit angelegten Literatur-Recherche Materialien zum internationalen Forschungsstand und Entwicklungsstand von Abstandshaltesystemen, sowie im Ausland gewählte Vorgehensweisen und gesammelte Erfahrungen bei der Umsetzung von Pilotprojekten im Truck Platooning zusammengetragen. Diese Erkenntnisse werden durch Experten-Interviews mit Schweizer und europäischen Logistikdienstleistern, mit Truck-Herstellern und mit Behörden europäischer Länder konsolidiert (Kapitel 2).

Parallel dazu werden die betrieblichen Gesetzmässigkeiten von Platooning hergeleitet sowie deren Anforderung an Betrieb und Infrastruktur abgeleitet (Kapitel 3). Ebenso werden die charakteristischen Merkmale des Schweizerischen Nationalstrassennetzes zusammengetragen (Kapitel 4).

Die Anforderungen an Betrieb und Infrastruktur werden dann für konkrete Anwendungsfälle auf Teile des Schweizerischen Nationalstrassennetzes übertragen und deren Praktikabilität beschrieben (Kapitel 5). Aus den Resultaten werden sodann Schlussfolgerungen für den Einsatz von Platooning in der Schweiz formuliert (Kapitel 6).

1.4 Definitionen und Abgrenzungen

Für das automatisierte Fahren werden bis heute keine einheitlichen Begriffe verwendet. So existieren verschiedene internationale Klassifizierungssysteme bezüglich der Automatisierungsgrade. Grundsätzlich können die verschiedenen Klassifizierungssysteme inhaltlich gleichgestellt werden (vgl. bfu 2016, 6). Die SAE International hat folgendes Klassifizierungssystem entwickelt.

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes

Abbildung 1 SAE Automatisierungslevel (SAE International 2014)

1.4.1 Adaptive Cruise Control (ACC)

Das ACC ist ein Fahrerassistenzsystem (FAS), welches die Längsführung des Fahrzeugs unterstützt und deshalb der Automatisierungsstufe 1 nach SAE zuzuordnen ist. Der Fahrer ist weiterhin verpflichtet die Umgebung des Fahrzeugs dauerhaft zu überwachen. Die ACC-Funktion beinhaltet eine Abstandsregulierung zum vorausfahrenden Fahrzeug. Die Abstandsregulierung erfolgt durch die Geschwindigkeitsregulierung des eigenen Fahrzeugs. Falls kein vorausfahrendes Auto existiert, wird die festgelegte Geschwindigkeit gehalten (vgl. Lex et al. 2017, 18).

1.4.2 Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC)

Cooperative Adaptive Cruise Control ist ebenfalls ein Fahrerassistenzsystem, welches eine Erweiterung des ACCs darstellt. Viele Funktionalitäten von CACC basieren auf ACC, auch wenn deutliche Erweiterungen und neue technische Anforderungen von CACC gegenüber ACC bestehen. Am wichtigsten hierbei ist die Funkkommunikation zwischen Fahrzeugen mit CACC (Vehicle-to-Vehicle Kommunikation, kurz V2V-Kommunikation). Dies ermöglicht eine exaktere Kontrolle des Abstands zum vorausfahrenden Fahrzeug. Die CACC-Funktion

unterstützt weiterhin nur die Längsführung und ist deshalb auch der Automatisierungsstufe 1 nach SAE zuzuordnen³.

1.4.3 Platooning

Unter Platooning wird das Fahren von mehreren Fahrzeugen in Kolonnen, mit einem sehr geringen Abstand untereinander, verstanden. Beim Platooning wird der geringe Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug durch die Unterstützung eines technischen Systems erreicht. (vgl. Mihelic et al. 2016, 6). Eine Platooning-Einheit von mehreren Fahrzeugen wird als Platoon (oder in den USA auch „string“) bezeichnet. Das Platooning ausschliesslich mit LW wird als Truck Platooning bezeichnet. Beim Platooning existieren verschiedene Stufen des Automatisierungsgrads. Entweder wird nur die Längs- oder zusätzlich die Querführung übernommen. Deshalb kann das Platooning den Automatisierungsstufen 1 bis 3 nach SAE zugeordnet werden. Dies ist abhängig vom Ausstattungsgrad und davon, ob der Fahrer das System dauerhaft überwachen muss oder nicht.

³ <http://www.path.berkeley.edu/research/automated-and-connected-vehicles/cooperative-adaptive-cruise-control>
(Abgerufen: 20.04.2017)

2 Literatur-Recherche und Interviews

2.1 Literatur-Recherche

Im Rahmen einer Literaturstudie wurden Materialien zu den nachfolgenden Themen zusammengetragen:

- internationaler Forschungsstand zum Entwicklungsstand und zu den verkehrlichen Wirkungen von ACC, CACC und Truck Platooning
- im Ausland gewählte Vorgehensweisen bei der Umsetzung von Pilotprojekten von Truck Platooning und dabei gesammelte Erfahrungen
- wichtige Aspekte des Truck Platoonings: Business Case, Betrieb, Akzeptanz, Infrastruktur und rechtliche Rahmenbedingungen (inkl. Haftpflicht)

Diese Literaturstudie basiert ausschließlich auf öffentlich verfügbaren Daten im Internet. Die vollständige Literaturrecherche ist im Anhang A ersichtlich. In diesem Kapitel werden die für diesen Bericht relevanten Erkenntnisse erläutert und Hinweise zu spezifischen Aspekten für die Schweiz jeweils direkt aufgeführt.

2.1.1 ACC

Die Entwicklung von ACC zeigt, dass ein modularer Systemaufbau vielfältige funktionale Erweiterungen ermöglicht. Ein „normales“ ACC lässt sich ab einer Geschwindigkeit von etwa 30 km/h aktivieren und unterstützt den Fahrer vor allem bei Überlandfahrten und auf der Autobahn. Die Variante ACC-Stop & Go ist auch bei Geschwindigkeiten unter 30 km/h aktiv. Diese aktuell verbreitete Variante ist in der Lage, bis zum Stillstand selbsttätig abzubremsen und nach Freigabe durch den Fahrer automatisch wieder anzufahren.

Beide Varianten werden bereits heute in Fahrzeuge eingebaut. Häufig haben die Fahrer dabei die Möglichkeit, die Einstellung für den Abstand zu ändern. So können bspw. beim Volvo V40 fünf unterschiedliche Stufen des Sicherheitsabstands eingestellt werden. Diese entsprechen einem Abstand von 1 – 3 s (bspw. 22 – 67 m bei 80 km/h, vgl. Volvo 2017). In der Praxis ist der gesetzlich geregelte Sicherheitsabstand des jeweiligen Landes vorrangig zu beachten.

Die verkehrlichen Wirkungen von ACC-Systemen wurden bereits in vielen Forschungsprojekten untersucht, bspw. in Feldversuchen auf Teststrecken, im realen Verkehr oder mithilfe von Computersimulationen, wobei das durch ACC veränderte Fahrzeugfolgeverhalten mikroskopisch simuliert wurde. Die Erforschung ist stark auf den PW-Verkehr ausgerichtet. In einem Feldtest von Gorter (2015) in den Niederlanden wurde festgestellt, dass die Kapazität der Autobahn deutlich abnimmt, da Fahrer mit ACC einen größeren Abstand zum vorderen Fahrzeug halten als Fahrer ohne ACC. Dieser Abstand steigt mit 16,7% im freien Verkehr, mit 25,8% im kapazitätsbegrenzten Verkehrszustand und mit 16,8% im Stau. Allerdings ist der Verkehr mit aktiviertem ACC besser in der Lage, Stoßwellen zu verhindern bzw. zu mindern, da das Abstandsverhalten konstanter wird. Zum Beispiel ist die Standardabweichung des Abstandes deutlich kleiner und sehr kleine Abstände kommen selten vor. Die Aktivierung von ACC führt auch zu konstanteren Geschwindigkeiten, sowohl im freien als auch kapazitätsbegrenzten Verkehr.

Mehrere Autobahnverkehrssimulationen von California PATH zeigen, dass ACC auch bei hoher Penetrationsrate wenig Einfluss auf die Kapazität hat (vgl. Shladover et al. 2015). Die jüngsten Feldversuche zeigen, dass eine Reihe von autonomen ACC-Fahrzeugen „string

instabil“ sind, was zu negativen Auswirkungen auf die Fahrbahnpkapazität führt. Unabhängig davon vermag ACC in Kombination mit einer Auffahrkollisionswarnung einen wichtigen Beitrag zu leisten, um Unfälle zu vermeiden (vgl. VDA 2015). Auch Müller (2012) verweist auf Studien, die besagen, dass durch LW mit ACC Auffahrunfälle von LW um 70% und Personenschäden um bis zu 7% verringert werden können.

Hinweise betreffend die Schweiz

- Für die Abstandsregelung gilt in der Schweiz die „halber Tacho-Regel“, welche vorrangig zu beachten ist. Beim LW ist zusätzlich definiert, dass ausserorts ein Abstand von mindestens 100 m eingehalten werden muss (vgl. Anhang C.1.1).

2.1.2 CACC

Durch die V2V-Kommunikation werden Informationen bezüglich Geschwindigkeit und Beschleunigung der vorausfahrenden Fahrzeuge direkt übermittelt. Deshalb kann der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug exakter kontrolliert werden. Dies führt zu einer schnelleren Reaktion bei Geschwindigkeitsänderungen von vorausfahrenden Fahrzeugen. Dadurch kann der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug aus technischer Sicht ohne Beeinträchtigung der Sicherheit auf bis zu 0,3 s (bspw. 7 m bei 80 km/h) reduziert werden⁴. Eine zusätzliche Erweiterung von CACC ist die Funkkommunikation zwischen Infrastrukturanlagen und Fahrzeugen (I2V-Kommunikation). Durch die I2V-Kommunikation können Informationen zwischen Infrastrukturanlagen und den Fahrzeugen ausgetauscht werden. Beispielsweise können Fahrzeuge, welche mit I2V-Kommunikation ausgerüstet sind, digitale Geschwindigkeitsschilder erkennen. Die maximale Geschwindigkeitsgrenze kann so automatisch gehalten werden (vgl. Jones 2013, 3).

Weil CACC noch nicht kommerziell verfügbar ist, werden insbesondere Computersimulationen des Verkehrsablaufes mit CACC als Analyseinstrument für die Ermittlung der verkehrlichen Wirkungen eingesetzt.

Van Arem et al. (2006) haben die Effekte von CACC auf den Verkehrsfluss anhand mikroskopischer Simulationen mit MIXIC untersucht. Simuliert wurde ein 4 km langer Autobahnabschnitt mit 4 Spuren, bei dem nach 3 km die Strecke auf drei Spuren reduziert wurde. Die Verkehrszusammensetzung wurde nach Daten der niederländischen A4-Autobahn implementiert. Die Simulationsergebnisse repräsentieren insbesondere den Einsatz von CACC bei PW. Der CACC-Zeitabstand betrug 0.5 s und für nicht-ausgerüstete Fahrzeuge 1.4 s (bspw. 11 m resp. 31 m bei 80 km/h). Es wurden verschiedene Szenarien mit unterschiedlichen Ausstattungsgraden (0-100%) und separater CACC-Spur (ja/nein) berechnet. Die wichtigsten Ergebnisse sind, dass CACC insbesondere bei hoher Ausstattungsrate (>40%) positive Auswirkungen auf den Verkehrsfluss hat und die Autobahnpkapazität im Umfeld einer Spersperrung erhöhen kann.

Das Forschungsprojekt der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT), „Auswirkungen des teil- und hochautomatisierten Fahrens auf die Kapazität der Fernstrasseninfrastruktur“⁵, beinhaltet verschiedene Simulationen bezüglich verkehrlichen Auswirkungen.

⁴ <https://www.tno.nl/en/focus-areas/urbanisation/mobility-logistics/reliable-mobility/automated-and-cooperative-driving/> (Abgerufen: 18.04.2017)

⁵ FAT-Schriftenreihe 296. Auswirkungen des teil- und hochautomatisierten Fahrens auf die Kapazität der Fernstrasseninfrastruktur

Die Ergebnisse zeigen, dass erst ab einem Ausstattungsgrad von 50% (Fahrzeuge mit CACC) ein Anstieg der Strassenkapazität zu erwarten ist (vgl. Busch et al. 2017, 70).

Hinweise betreffend die Schweiz

- Der Bericht des Bundesrates vom 21. Dezember 2016 bezeichnet den Einsatz von automatisierten Fahrzeugen als interessante Perspektive. „Besonders interessant für eine sichere, saubere und effizientere Mobilität sind diese Technologien, wenn die automatisierten Fahrzeuge untereinander umfassend vernetzt sind und ihre Nutzung mit den rasch voranschreitenden weiteren Möglichkeiten der Digitalisierung, der Telekommunikations- und der Internetdienste klug kombiniert wird“ (Schweizer Bundesrat 2016, 2).

2.1.3 Platooning

Die deutlichsten Wirkungen von CACC im PW-Verkehr zeigen sich in der Regel erst bei hoher Verkehrsstärke und hohem Ausstattungsgrad der Fahrzeuge. Im LW-Verkehr können positive Effekte von CACC im Sinne von Truck Platooning schon früher erzeugt werden. Hier profitieren Transportunternehmen bereits, wenn sie zwei LW mit der CACC-Technologie ausrüsten und im Platoon fahren lassen. Dies führt zu Energieeinsparungen, hauptsächlich beim hinteren LW aufgrund des Fahrens im Windschatten.

Deshalb werden zurzeit in der Praxis vor allem Tests mit 2-3 angeschlossenen LW gefahren, wobei das erste Fahrzeug aktiv fährt und die anderen mit z.B. ca. 10 m Abstand automatisch folgen. Die hinteren LW müssen dafür mit V2V und CACC ausgerüstet sein und der FührungslW muss zumindest mit V2V ausgerüstet sein. Truck Platooning stand in den vergangenen 20 Jahren in einer Reihe von Forschungsprojekten im Fokus, z.B. in den Projekten CHAUFFEUR und SARTRE der Europäischen Kommission, von KONVOI in Deutschland, dem PATHs Truck Platooning Projekt in Kalifornien und dem Energy ITS-Projekt in Japan (vgl. Bergenheim et al. 2012). Scania arbeitet zurzeit am weltweit ersten komplett autonom fahrenden Platooning. Das Platoon (mit 4 LW) wird auf öffentlichen Straßen fahren und Container im Hafen von Singapur von einem Terminal zum anderen transportieren (vgl. Scania 2017).

In der Arbeit von Müller (2012) wurden die Auswirkungen von CACC, eingesetzt bei LW über 12 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht und Sattelzugmaschinen, auf den Verkehrsfluss bei dreispurigen Autobahnen mit VISSIM ermittelt. Bei den Simulationen konnten bis zu 7 LW mit einem Abstand von 10 m gekoppelt werden und vollautomatisch fahren, wenn das Massen-Leistungsverhältnis der Fahrzeuge zueinander passend bzw. ähnlich war.

Exkurs: Ein Platooning mit 7 LW ist zurzeit unüblich. Experten gehen davon aus, dass in Europa max. 3 – 4 LW im Platoon fahren werden. Zurzeit wird vor allem mit 2 – 3 LW getestet.

Welche und wieviel LW sich in einem Platoon koppeln, ist in der Modellierung zufällig. Die Simulationen mit LW-Anteilen von 0-25% und CACC-Ausstattungsgraden von 0-50% zeigen, dass sich die Kapazität von Autobahnen mit drei Spuren um bis zu 5,5% erhöhen lässt und sich die Reisegeschwindigkeit von PW um bis zu 6,5% steigern kann.

Das Forschungsprojekt der FAT untersucht Fahrzeuge, welche mit Hilfe einer CACC-Funktion in sehr geringem Abstand fahren. Der Abstand wird auf 0.5 s (bspw. 11 m bei 80 km/h) festgelegt und kann deshalb mit dem Platooning verglichen werden. Aus den Simulationsergebnissen ist ersichtlich, dass erst bei einem Ausstattungsgrad von 50% (LW und PW) eine Kapazitätserhöhung um ca. 9% erwartet wird (vgl. Busch et al. 2017, 69).

Die Studienarbeit von Irtenkauf / Klaussner 2013 an der Universität Stuttgart, welche von der ARE zitiert wird (vgl. Justen et al. 2016, 35) gibt hingegen an, dass die Strassenkapazität bereits bei einem geringen Anteil von teilautonomen Fahrzeugen erhöht wird. Für das Jahr 2040 wird der Anteil teilautonomer LW und PW auf 20% resp. 10% angenommen. Die teilautonomen Fahrzeuge werden der Automatisierungsstufe 3 zugeordnet. Die Kapazität der Nationalstrasse erhöht sich bei diesem Szenario um 6.7%. Die Ergebnisse der vorherigen Studien widersprechen zum Teil dieser Annahme. Dort wird eine Kapazitätserhöhung erst ab einem Anteil von 40% erwartet, allerdings basierend auf Fahrzeugen, die mit CACC ausgerüstet sind. Die Unterschiede sind auch darauf zurückzuführen, dass Irtenkauf / Klaussner 2013 die theoretische Strassenkapazität als Grundlage verwendet. In der Praxis wird aufgrund des kürzeren Abstands eine deutlich grössere Kapazität gemessen).

Hinweise betreffend die Schweiz

- Der Schlussbericht des ARE, „Gesellschaftliche Trends und technologische Entwicklungen im Personen- und Güterverkehr bis 2040“, untersucht unter anderem das automatisierte Fahren. Das ARE erwartet im Güterverkehr aufgrund von Kostenargumenten eine potenziell stärkere Nachfrage bereits bei teilautomatisierten Fahrzeugen. Dies wird durch die Literatur-Recherche der vorliegenden Studie gestützt.

Betrieb

Für Grossversuche auf öffentlichen Straßennetzen ist eine eigene Gesetzgebung erforderlich. Beispielsweise wurde in Deutschland im März 2017 einem Entwurf der Bundesregierung zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes zugestimmt⁶. Der Gesetzentwurf stellt klar, dass der Betrieb von Kraftfahrzeugen mittels hoch- und vollautomatisierter Fahrfunktion „im Rahmen der bestimmungsgemäßen Verwendung“ zulässig ist. Die niederländischen Rechtsvorschriften wurden bereits 2015 geändert, damit Erfahrungen mit automatisierten Funktionen in Fahrzeugen im Realverkehr gesammelt werden können⁷.

TNO⁸ rechnet damit, dass Platooning vorläufig von Transporteuren selber geplant wird („scheduled platooning“, mono-brand), weil anfangs die Ausstattungsrate der LW sehr gering sein wird (vgl. Janssen et al. 2015). Sobald das Truck Platooning eine gewisse Verbreitung erfährt, wird es möglich sein, sich unterwegs dynamisch mit anderen LW zu verbinden („on-the-fly platooning“, multibrand). Beide Methoden zur Platoon-Bildung (scheduled/on-the-fly) wurden im Truck Platoon Matching Projekt mit Simulationsmodellen umfassend getestet und führten zu vielversprechenden Ergebnissen⁹. Das Projekt wird von TNO geleitet und

⁶ <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2017/kw13-de-automatisiertes-fahren/499928> (Abgerufen: 12.04.17)

⁷ <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/mobiliteit-nu-en-in-de-toekomst/inhoud/zelfrijdende-autos> (Abgerufen: 12.04.17)

⁸ Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (Niederländische öffentlich-rechtliche Organisation für angewandte Naturwissenschaftliche Forschung)

⁹ <https://www.tno.nl/en/focus-areas/urbanisation/mobility-logistics/reliable-mobility/truck-platoon-matching-paves-the-way-for-greener-freight-transport/> (Abgerufen: 11.04.17)

beinhaltet eine Kooperation mit 13 Akteuren aus der Transportwelt. Im Projekt geht es darum, ein Tool zu entwickeln um die richtigen LW zusammenzubringen. Dazu müssen z.B. die LW alle in die gleiche Richtung fahren, aber auch Details ihrer Lasten müssen bekannt sein, weil es am effektivsten ist, wenn der LW mit der schwersten Last vorne fährt. Es ist auch wichtig, dass die Motorleistung der LW weitgehend übereinstimmt, da sie in der Lage sein müssen, etwa gleich stark zu bremsen und zu beschleunigen.

In der European Truck Platooning Challenge 2016 haben die Straßenverkehrsbehörden die Bedingungen festgelegt, die aus ihrer Sicht nötig sind, damit Truck Platooning auf Autobahnen im normalen Verkehr sicher betrieben werden kann. Dies führte unter anderem dazu, dass während komplexen Verkehrssituationen, wie Ein- und Ausfahrten, Stau und schlechtem Wetter, das Platooning ausgeschlossen wurde. Zudem wird eine automatische Entkopplung initiiert, wenn andere Verkehrsteilnehmer in ein Platoon „eindringen“.

Nach der Regelung in den Niederlanden (Code of Practice) muss sich ein Platoon bei Ein- und Ausfahrten auflösen. Allerdings wurde während der Challenge anhand von Luftaufnahmen eine Situation in der Nähe einer Einfahrt wahrgenommen, wo es wahrscheinlich sicherer gewesen wäre, wenn sich das Platoon nicht aufgelöst hätte (vgl. Alkim et al. 2016, 53).

Während dem Adaptive Projekt (2014-2017) ist ein System zum „cooperative highway merging“ entwickelt und getestet worden¹⁰. Im März 2017 haben Volkswagen und Volvo Group Trucks Technology in der Nähe von Wolfsburg erfolgreich demonstriert, wie ein LW auf der Autobahn in der Nähe von einer Einfahrt mit einem PW auf dieser Einfahrt kommunizieren kann, damit genügend Platz fürs Einfädeln geschaffen wird. Im Projekt wurde ein neues Nachrichtenformat für V2X-Kommunikation erstellt, welches das Teilen von On-Board-Sensordaten zwischen Fahrzeugen ermöglicht.

Beim Platooning soll immer klar sein, auf welchen Teilen der Infrastruktur in Platoons gefahren werden darf, z.B. auf der Grundlage der Straßennetz-Eignung, High-Definition Karten und zuverlässigen Echtzeit-Verkehrsinformationen (vgl. Alkim et al. 2016). Beispielsweise war Truck Platooning in Baden-Württemberg während der European Truck Platooning Challenge nur auf Autobahnen mit Pannestreifen zugelassen. Im Allgemeinen wird die Effektivität von Truck Platooning reduziert, wenn es eine hohe Dichte an Ein- und Ausfahrten gibt. Die Frage, inwieweit die Infrastruktur für Truck Platooning (und automatisiertes Fahren im Allgemeinen) angepasst werden sollte, ist noch offen (vgl. Alkim et al. 2016). Langfristig wird angedacht, dass das Verkehrsmanagement einen Anreiz für Truck Platooning geben sollte, z.B. durch die dynamische Zuordnung von Spuren für Platooning. Auch das Zertifizieren von Strecken für Truck Platooning könnte nützlich sein. Die Tunnel auf den Strecken der European Truck Platooning Challenge 2016 sind so kurz, dass Systemausfälle nach den Herstellern als höchst unwahrscheinlich bewertet wurden. Deshalb forderte nur Belgien, dass sich die LW-Kolonnen 200 m vor dem Tunnelportal entkoppeln müssen (vgl. Alkim et al. 2016). Über mögliche Systemausfälle in Kurven oder auf Steigungen bzw. Gefällen ist wenig bekannt. Über die Auswirkungen des Truck Platoonings auf den Verschleiß von Straßen und Brücken sind vertiefte Forschungsarbeiten erforderlich (vgl. Alkim et al. 2016). Negative Effekte könnten durch Systemeinstellungen verringert werden, wie z.B. ein anderes Spurverhalten als der Vordermann (versetztes Fahren). Einige Regelungen

¹⁰ <https://www.adaptive-ip.eu/index.php/reader/adaptive-partners-synchronised-cooperative-highway-merging.html>
(Abgerufen: 11.04.17)

erforderten ein Höchstgewicht von 20 Tonnen und eine obligatorische Platoon-Auflösung auf Brücken. Schweden hat angegeben, in künftigen Feldversuchen mit Truck Platooning auf Brücken einen längeren Abstand zwischen den LW zu verlangen.

Hinweise betreffend die Schweiz

- Auch das Platooning auf Schweizer Strassen benötigt zurzeit eine Ausnahmegewilligung. Die rechtlichen Rahmenbedingungen erlauben nicht, dass Fahrzeuge in einem entsprechend kurzen Abstand fahren (vgl. Kapitel C.1.1).
- Das Schweizer Nationalstrassennetz ist im Vergleich zu anderen Nationen gekennzeichnet durch eine hohe Dichte an Ein- und Ausfahrten. Eine weitere Charakteristik sind Tunnels und Brücken in längenmässig variabler Ausprägung. Diese Rahmenbedingungen erschweren die Einführung und begrenzen die Vorteile des Platoonings in der Schweiz (vgl. Kapitel 4.2)
- Des Weiteren weist das Schweizer Nationalstrassennetz bergige Strecken auf. Steigungen und Gefälle stellen viele technische Herausforderungen dar und es ist derzeit unklar, ob diese gelöst werden können bzw. ob das Potenzial des Platoonings im bergigen Gebiet überhaupt erreicht werden kann.

Herausforderungen

Die im European Truck Platooning Challenge identifizierten technologischen Herausforderungen und offenen Fragen beinhalten (vgl. Alkim et al. 2016):

- Multibrand Platooning und standardisierte Kommunikationsprotokolle
- Sichtbarkeit der Platoons für andere Verkehrsteilnehmer (z.B. Signalleuchten)
- Platoon-Sequenzierung: LW mit verschiedenen Drehmomentwerten, Bremsleistungen und Beladungsgewichten
- Drahtlose V2X-Kommunikationssicherheit
- Vollständige Platoon-Kontrolle unter allen gemischten Verkehrssituationen
- Disparitäten bei LW-Herstellern in der Technologieentwicklung (Roadmap) (z.B. Überspringen von Automatisierungsstufe 3 nach SAE)
- Effektive und Echtzeit-Schätzung des sicheren Abstands

Zusätzlich stellen rechtliche Rahmenbedingungen eine grosse Herausforderung dar. Platooning ist zurzeit nur mit Ausnahmegewilligungen zu Testzwecken erlaubt. Unter anderem ist die Haftung bei Unfällen noch ungeklärt. Technische Standards für sicherheitsrelevante Elemente sind in der Entwicklung und können in Zukunft Grundlagen für Haftungs- und Zulassungsverfahren bilden. So plant das europäische Institut für Standards in der Telekommunikation (ETSI) in den kommenden Jahren entsprechende Studien durchzuführen (ETSI 2017, 19).

Viele Stakeholder im European Truck Platooning Challenge sind zuversichtlich, dass diese technologischen (und anderen) Herausforderungen gemeistert werden können. Zukünftige Forschungsprojekte (z. B. H2020 ART03 "Multibrand Truck Platooning", voraussichtlich ab 2018¹¹) und Großversuche im realen Verkehr (z. B. „Real Life Cases“ in NL, Feldversuch DB

¹¹ <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/swd20170177-europe-on-the-move.pdf> (Abgerufen: 21.07.17)

Schenker und MAN ab 2018 in DE¹²) sollen genutzt werden, um mehr Wissen zu erlangen, damit die nächsten Schritte¹³ zur Realisierung des Truck Platoonings gemacht werden können.

Hinweise betreffend die Schweiz

- Die kurzen Distanzen, welche in der Schweiz gefahren werden, stellen eine zusätzliche Herausforderung dar. So sind bspw. 50% der Strassentransporte mit schweren Güterfahrzeugen kürzer als 19 km (vgl. Schmid 2017). Dennoch ist die jährliche Belastung (Tonnen pro Jahr) des schweizerischen Strassennetzes durch den schweren Güterverkehr (ohne den Verkehr innerhalb der Gemeinden) auf dem Nationalstrassennetz am grössten. Des Weiteren wird das Schweizer Strassennetz mit etwas mehr als 60% vom Binnenverkehr beansprucht (nach Tonnenkilometer). Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass im Binnenverkehr auf dem Nationalstrassennetz grosse Energieeinsparungen möglich sind (vgl. BFS 2016, 3)

Umsetzung eines Pilotversuchs in der Schweiz

Um den zeitlichen Rahmen eines möglichen Pilotversuchs in der Schweiz abschätzen zu können, wird die European Truck Platooning Challenge betrachtet. Dessen Projektlaufzeit betrug ca. 11 Monate.

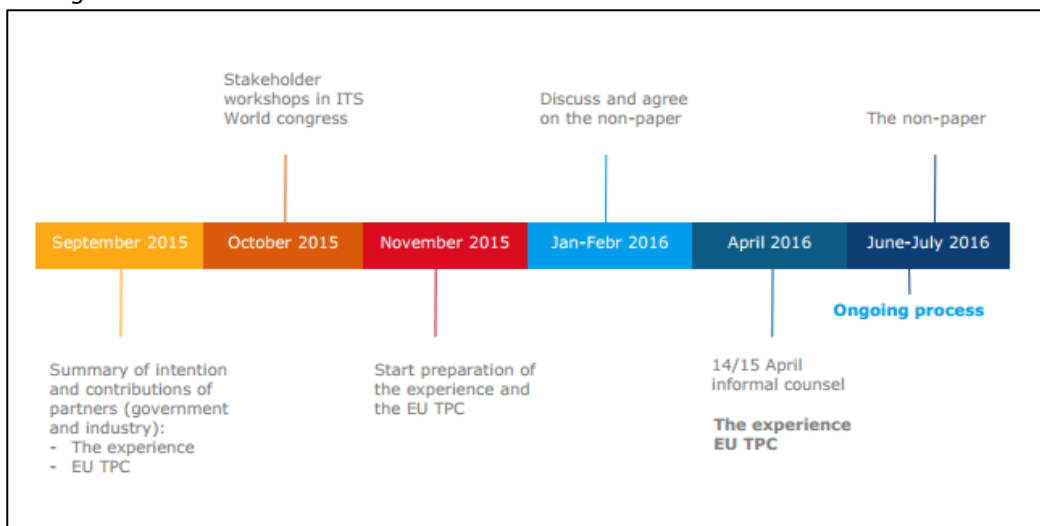


Abbildung 2 Projektlaufzeit der European Truck Platooning Challenge 2016

Für die Zulassung der teilautomatisierten und vernetzten Fahrzeuge hatte jede Nation ihr eigenes Verfahren. In den Niederlanden ist seit Juli 2015 eine neue Rechtsvorschrift in Kraft getreten. Diese erlaubt es, Erfahrungen mit intelligenten Transportsystemen auf öffentlichen Strassen zu sammeln. Zu diesem Zweck existiert die Prüfstelle RDW, welche für die Zulassung intelligenter Transportsysteme für Testfahrten zuständig ist. Vom Antrag bis zur Zulassung sind 3 – 6 Monate zu erwarten¹⁴.

¹² <https://www.dbschenker.com/global/about/press/networked-trucks--db-schenker-and-man-intensify-their-partnership-for-autonomous-driving-8154> (Abgerufen: 21.07.17)

¹³ http://www.acea.be/uploads/publications/Platooning_roadmap.pdf (Abgerufen: 26.07.2017)

¹⁴ <https://www.rdw.nl/englishinformation/Paginas/Intelligent-Transport-Sytems.aspx?path=Portal/Information%20in%20English/Intelligent%20Transport%20Systems> (Abgerufen: 30.06.2017)

2.2 Experten-Interviews

Um einen zusätzlichen Gradmesser zu erhalten, inwiefern und wie schnell von Seite der Logistik-Branche eine Nachfrage für Truck Platooning auf dem Schweizer Nationalstrassennetz zu erwarten ist und wie die Entwicklungen der Truck-Hersteller zu diesen Themen aussehen, wurden zwölf telefonische Experten-Interviews im In- und Ausland geführt.

Befragt wurden Schweizer und europäische Logistik-Dienstleister, Truck-Hersteller und Behörden, welche zu Fragen der Zulassung von (vernetzten) Abstandsregeltempomaten und Truck Platooning erste Erfahrungen gesammelt haben. Das Setting der Interviews wurde auf den Erkenntnisstand der Literatur-Recherche abgestützt und berücksichtigte die Themen Technologie, Business Case, Betrieb und offene Punkte aus Sicht der Befragten.

Wer	Wann	Akteurgruppe
Rijkswaterstaat (Dutch Centre for transport and navigation), Ministry of Infrastructure Tom Alkim, Senior Advisor Connected & Automated Driving Joris Cornelissen, Programme Manager Preparation Phase Real Life Cases Truck Platooning The Netherlands	24. April 2017 25. April 2017	Behörde
Camion Transport Josef Jäger, CEO Camion Transport AG	18. April 2017	Logistiker
DB Schenker Dr. Ane-Kristin Reif-Mosel, Project Manager Corporate Development, Schenker AB (DE)	25. April 2017	Logistiker
Galliker Transport Peter Galliker, CEO Galliker Transport AG	12. April 2017	Logistiker
Planzer Transport Nils Planzer, CEO Planzer Transport AG	20. April 2017	Logistiker
SBB Cargo Bernhard Adamek, Leiter Markt, Innovation, Regulation Ronald Gressani, Berater Strategie & Projekte	24. April 2017	Logistiker
Daimler Tucks Jürgen Wittig, Fahrzeughomologation NFZ	14. Juni 2017	Fahrzeughersteller
Bundesverband Güterkraftverkehr und Logistik Roger Schwarz, Recht und Politik	14. Juni 2017	Verband Transportunternehmer
Migros Rainer Deutschmann, Leiter Direktion Logistik Transport	24. April 2017	Verlader
Postlogistics Ueli Lüdi, Leiter Distribution und Systemtransporte	25. April 2017	Verlader
IFSTTAR (French institute of science and technology for transport, development and networks) Bernard Jacob, Deputy Scientific Director	25. April 2017	Wissensinstitut

Tabelle 1 Übersicht der geführten Experten-Interviews

Für jedes Interview wurde eine Gesprächsnotiz verfasst. Diese sind im Anhang A.2 ersichtlich. Nachfolgend werden die Erkenntnisse aus den Gesprächsnotizen stichwortartig zusammengefasst und pro Akteurgruppe dargestellt.

2.2.1 Behörde

Rijkswaterstaat, Niederlande (Tom Alkim)

- Es ist durchaus denkbar, dass z.B. im Transitverkehr auch LW in Platoons durch die Schweiz fahren werden. Es ist jedoch noch wenig über die möglichen Kraftstoffeinsparungen im Berggebiet bekannt.
- Ob Truck Platooning vor 2021 (wie letztes Jahr gedacht wurde) realisiert wird, ist fraglich. Eine wichtige Voraussetzung ist ein wesentlicher Bedarf für Truck Platooning bei Unternehmen, der die notwendigen Investitionen rechtfertigen wird.
- Verschiedene Huhn-Ei-Probleme spielen dabei eine Rolle:
 - LW-Hersteller bieten Truck Platooning noch nicht kommerziell an und warten zuerst auf eine ausreichend hohe Marktnachfrage. Logistikunternehmen werden die Technologie erst kaufen, wenn sie im Handel erhältlich ist.
 - Truck Platooning ist über Ausnahmeregelungen möglich, aber die Rechtsgrundlage fehlt noch. Rechtliche Rahmenbedingungen werden erst geschaffen, wenn die Nachfrage und der Business Case ausreichend nachgewiesen worden sind. LW-Hersteller und Logistikunternehmen können die Technologie erst anwenden, wenn die Rechtsgrundlage da ist.
- Aus Sicht der Regierung liegt der Ball beim Markt: Das Konzept und die Herausforderungen sind klar. Wenn Truck Platooning nur mit großen staatlichen Investitionen möglich sein würde, dann gibt es offensichtlich keinen guten Business Case für Truck Platooning.
- Wirklich attraktiv scheint erst Multibrand Platooning. Diese Weiterentwicklung steht u.a. im H2020 Projekt ART-03 zentral (2018-2021). Hierbei sind Zusammenarbeit und Vertrauen zwischen den OEMs entscheidend.

Rijkswaterstaat, Niederlande (Joris Cornelissen)

- Nach dem European Truck Challenge 2016 wird in den Niederlanden zurzeit an den Real Life Cases (2017-2019) gearbeitet, wobei Truck Platooning im täglichen Geschäft der Logistikpartner getestet wird.
- Die Hauptmotivation ist für jeden anders. Die niederländische Regierung sieht es z. B. als eine ihrer Aufgaben, die unsicheren Situationen, wenn LW zu dicht auf einander fahren, zu verbessern und betrachtet Truck Platooning als eine mögliche Lösung hierfür.
- Es wird erwartet, dass Truck Platooning kommen wird, aber wann ist noch unklar. Das Tempo hängt insb. von der LW-Branche ab, ob sie die Technologie tatsächlich weiterentwickeln und vermarkten wird.
- Zusammenarbeit ist eine notwendige Bedingung für Truck Platooning, insb. zwischen den LW-Herstellern, der Logistikbranche und den Behörden.
- Die niederländische Regierung übernimmt eine koordinierende Rolle und fördert nach dem „learning by doing“-Prinzip Forschungs- und Pilotprojekte auf öffentlichen Straßen und schafft hierdurch eine deutliche Beschleunigung des Innovationszyklus.
- Die Erwartung ist, dass Truck Platooning nur begrenzt mit Binnenschifffahrt und Güterzugverkehr im Wettbewerb stehen wird. Wichtiger ist es, unabhängig von Modalitäten zu denken und die Frage „wie können Güter so schnell wie möglich von A nach B gebracht werden“ zentral zu stellen.

2.2.2 Logistiker

Camion Transport, Schweiz

- Die Kopplung von Fahrzeugen mit Abstandshaltesystemen ermöglicht in erster Linie eine bessere und sicherere Nutzung der bestehenden Infrastruktur, deshalb sollte der Business Case durch den Infrastrukturbetreiber getrieben werden.
- Die Stossrichtung der Fahrzeugindustrie, selbstfahrende Fahrzeuge auf den Markt zu bringen, bringt für sich alleine nicht sehr viel. Die Lösung liegt in der Vernetzung von Fahrzeug mit der Betriebssteuerung der Infrastruktur.
- Ohne Zufluss- und Fahrbahnbelegungssteuerung ist Truck Platooning auf dem Schweizer Nationalstrassennetz aufgrund der hohen Einfahr-/Ausfahrtsdichte nicht anwendbar.
- Produktivitätsgewinne dank Treibstoffeinsparungen und beim Personal sind interessant, sofern sie auch tatsächlich unter den real existierenden Bedingungen auf dem Autobahnnetz realisiert werden können.
- Setzt sich die Technik in Europa durch, wird sich die Schweiz insb. auf der Nord-Süd-Achse nicht der Zulassungs-Diskussion entziehen können.

DB Schenker, Deutschland

- DB Schenker und MAN planen 2018 eine Praxiserprobung mit Truck Platooning, wobei ein LW-Platoon auf dem digitalen Testfeld (Autobahn A9) fahren soll. Im zweiten Schritt ist der Einsatz autonom fahrender LW auf dem DB Schenker-Werksgelände vorgesehen.
- Im Allgemeinen gibt es noch viele offene und ungeklärte Themen. Z.B. wie lange kann im Platoon gefahren werden bzw. was kann tatsächlich im Regelbetrieb gewonnen werden? Weitere offene Themen sind u.a. Gesetzgebung, Versicherungen, Vorbehalten der Öffentlichkeit oder Interaktion mit dem übrigen Verkehr.
- Speziell für die Schweiz ist es spannend, wie groß die Anwendbarkeit von Truck Platooning sein wird, z.B. wieviel Kilometer Autobahn tauglich sein könnten, insb. wenn gebirgige Strecken oder bestimmte Tunnel oder Brücken nicht geeignet bzw. aus anderen Gründen für Platooning nicht zugelassen wären.
- Truck Platooning wird voraussichtlich schrittweise umgesetzt werden:
 - Zuerst orchestriert und gezielt gebildet, d.h. vorab verabredet (z.B. nach Fahrplan) innerhalb von Betreiberflotten gleichen Herstellertyps
 - Danach mit Fahrzeugen verschiedener Hersteller innerhalb einer Flotte (spontan oder geplant gebildet)
 - Erst später spontane Platoon-Bildung, d.h. betreiber- und herstellerübergreifend und multibrand und nicht vorab geplant
- Kurzfristig geht es im Truck Platooning insb. um die Sprit-Einsparung, damit auch die CO₂-Emission, aber auch den Sicherheitsgewinn; längerfristig auch um Produktivitätsgewinne, wenn der LW-Fahrer seine Zeit anders nutzen kann. Erst beim spontanen Platooning wird der Prozentsatz am Gesamtverkehr, der in Platoons gefahren werden kann, rasch zunehmen und die Vorteile des Platoonings können vollständig ausgeschöpft werden.
- Weiter geht DB Schenker davon aus, dass Truck Platooning die Attraktivität von Fahrerarbeitsplätzen erhöhen kann, insb. bei der jüngeren medienaffinen Generation.
- Das Truck Platooning könnte die Wettbewerbsposition zwischen Straße und Schiene verändern. Die DB kann und will sich jedoch Innovationen auch im Straßengüterverkehr nicht verschließen. In der konkreten Umsetzung solcher Projekte sollen zusätzliche

Wettbewerbsnachteile für den Güterverkehr auf der Schiene so weit wie möglich vermieden werden. Darüber hinaus wird man in späteren Stufen darüber nachdenken können, welche Möglichkeiten sich dafür ergeben, die beiden Systeme zum Vorteil des Kunden noch besser zu kombinieren und ihre jeweiligen Stärken zu bündeln.

- Die Digitalisierung im Zuge des vernetzten und autonomen Fahrens ermöglicht ein Zielbild von gesteuerten Flotten (wo sind sie, wie stark sind sie beladen, wohin fahren sie übermorgen, usw.), welches es heutzutage in der Logistikbranche noch nicht gibt. Es wird erwartet, dass insb. OEMs und Technologie-Konzerne künftig stärker in die Logistikkette eingreifen wollen und z.B. neue Flottenbetreiber bzw. -steuerer und Kapazitätsanbieter werden. Eine Entwicklung, die von der Logistikbranche scharf im Auge behalten wird.

Galliker Transport, Schweiz

- Treibstoff- und Kosteneinsparungen durch Platooning sind aus Sicht der Logistikdienstleister relevant. Nach der LSVA und dem Personal sind die Treibstoffkosten der drittgrösste Kostenblock und so sind Einsparungen von 5% bereits durchaus interessant.
- Die Einführung eines LW-Platooning auf Autobahnen dürfte in der kleinen Schweiz mit den vielen Autobahneinfahrten in Ballungsräumen einige Hürden zu überwinden haben. Ein Platooning könnte zwischen Bern und Lausanne erfolgen.
- Die Platoon-Bildung muss spontan und überbetrieblich erfolgen können. Eine angeordnete betriebliche Platoon-Bildung auf Autobahnen ist in der Schweiz kaum vorstellbar.
- Die Galliker Transport AG versucht in Abstimmung mit Verladern stärkeren Einfluss auf die technologische Entwicklung der Fahrzeuge zu nehmen und man ist offen und bereit, in neue Themen wie die Digitalisierung/Automatisierung und Dekarbonisierung zu investieren.

Planzer Transport, Schweiz

- Die Schweiz ist aus Logistikerspektive kein Komplettladungsland. Aus diesem Grund besteht seitens Logistik wahrscheinlich kein genügender Bedarf aus der Schweiz und für die Schweiz nach Truck Platooning. Massengüter und Komplettladungen, welche über lange Distanzen transportiert werden, sollten auf der Schiene abgewickelt werden.
- Generell wird der Beitrag der Abstandhaltersysteme zur Linderung der Kapazitätsprobleme auf Nationalstrassen, solange sie sich nur auf ein Truck Platooning beziehen, als eher gering eingestuft.
- Infrastrukturbetreiber und Telekomanbieter sollen dafür sorgen, dass dank der Technologien die Strassennutzung für sämtliche Nutzer sicherer, ökologischer und stressfreier wird.
- Die Planzer Transport AG würde sich mit Interesse an einem überbetrieblichen Pilotversuch in der Schweiz beteiligen. Die Autobahn Bern-Lausanne oder Bern-Vevey wäre für Testversuche geeignet.

SBB Cargo, Schweiz

- Es ist fraglich, ob die kleinräumige Schweiz mit den vielen Ein- und Ausfahrten bei den Autobahnen das geeignete Anwendungsgebiet ist, braucht es doch ein gewisses Aufkommen mit gleicher Zieldestination. Am ehesten dürfte der Bedarf nach Truck

Platooning auf grösseren Transportentfernungen und somit auf den Transitachsen in der Schweiz gegeben sein.

- Durch die Zugbildung von Fahrzeugen auf den Strassen wird ein Bündelungskonzept der Bahn kopiert.
- Solange die an das Lead-Fahrzeug gekoppelten LW nicht führerlos sind, dürften die Effizienzgewinne für die Logistikdienstleister bescheiden ausfallen.
- Die Entwicklung dürfte mit einer verstärkten Regulation (z.B. Sicherheitskontrollen bei Fahrzeugen) der Strasse einhergehen. Somit würde eine weitere Annäherung des Verkehrssystems Strasse an jenes der Schiene erfolgen und mutmasslich dürften auch gewisse Vorteile des heutigen Strassenverkehrssystems (sehr hohe Flexibilität, geringe Regulierung) gegenüber dem Schienenverkehrssystem schwinden.
- Insgesamt wird die Automatisierungs-Entwicklung auf Seite Strasse die Tendenz zur stärkeren Ausprägung des Wettbewerbs weiter stützen.

Bundesverband Güterkraftverkehr und Logistik (BGL), Deutschland

- Der BGL zeigt sich offen gegenüber Innovationen die helfen können, die Sicherheit, Umweltfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit des Strassengüterverkehrs zu verbessern.
- Wichtig ist dabei eine ganzheitliche Betrachtung und Ausgestaltung, die möglichst Vorteile für alle Beteiligten (nicht nur die Transportunternehmen) ermöglicht, um nachhaltige Effekte zu erzielen.
- Inwieweit Platooning diese Voraussetzungen und die Erwartungen erfüllen kann, ist für den BGL derzeit nicht abschätzbar.
- Ein zusätzlicher mentaler Stress für den Fahrer wird nicht ausgeschlossen, was in diesen Beruf weniger attraktiv machen könnte. Dies wird als kritisch eingeschätzt angesichts der zunehmenden Knappheit qualifizierter Fahrer.
- Der BGL vermutet, dass sich Platoons, sofern rechtlich zulässig, zunächst mit Fahrzeugen eines Transportunternehmens bilden werden, da die Fragen der Zusammenstellung und Abrechnung des Nutzens unternehmensübergreifend schwierig zu organisieren sind und mögliche Einsparungen beim Kraftstoffverbrauch durch die damit verbundenen Aufwendungen aufgeessen werden.
- Wichtig sind gesetzliche Regelungen, die die zulässigen Einsatzbedingungen klar definieren und für Hersteller, Transportunternehmen, Fahrer und Kontrollbehörden verbindlich sind.

2.2.3 Truck-Hersteller

Daimler AG, Deutschland

- Ein Business Case (für die Transportunternehmen) ist derzeit nicht abschliessend kalkulierbar. Er hängt stark davon ab, welche Kraftstoffeinsparung in der Praxis erreicht wird und damit wesentlich davon, wie lange ein Platoon mit geringem Abstand der Fahrzeuge aufrechterhalten werden kann.
- Der Business Case wird sich in den verschiedenen Regionen / Ländern / Strecken unterschiedlich darstellen. Platooning in der Schweiz wird deutlich kritischer und mit geringerem Nutzen gesehen, als beispielsweise in Nordschweden, wo sehr lange Strecken ohne Auflösung des Platoons möglich erscheinen.
- Änderungen der Strassenverkehrsordnung (wie müssen sich die Fahrer verhalten) und die Bauartvorschriften für die Fahrzeuge sind erforderlich.

- Zentrale Herausforderung ist es, die Sicherheit (für die Fahrzeuge im Platoon und andere Verkehrsteilnehmer) jederzeit zu gewährleisten. Kritisch sind dabei vor allen folgende Punkte, die sowohl technische als auch organisatorische und rechtliche Herausforderungen beinhalten:
- Aus Sicherheitsgründen muss in einem Platoon das Fahrzeug mit dem schlechtesten Bremsweg immer vorne fahren. Damit verbunden sind eine Vielzahl ungelöster Fragestellungen, z.B. wie die potentielle Bremsleistung der individuellen Fahrzeuge im aktuellen Wartungs- und Beladungszustand ermittelt werden kann, wie und auf welcher gesetzlichen Grundlage diese Informationen den potentiellen Teilnehmern eines Platoons übermittelt werden sowie wie und auf welcher rechtlichen Grundlage der Platoon auch entsprechend zusammengestellt wird.
- Der Strassenzustand hat einen wesentlichen Einfluss auf das Bremsvermögen und kann auch auf der Länge eines Platoons deutlichen Schwankungen unterliegen (Eis, Schnee, Wasser, Flickstellen, ...).
- Einen aktiven Eingriff in die max. Bremsleistung des vorausfahrenden Fahrzeuges (um ein Auffahren der nachfolgenden Fahrzeuge bei starken Bremsungen zu vermeiden) ist weder rechtlich noch unter den Gesichtspunkten Akzeptanz bei Fahrer / Besitzer des ersten Fahrzeuges und der Verkehrssicherheit zu rechtfertigen. Ein solcher Eingriff würde sich auch auf den vorgeschriebenen Notbremsassistenten auswirken.
- Der Fahrer der nachfolgenden Fahrzeuge kann, bei dem für eine relevante Kraftstoffeinsparung notwendigen geringen Abstand, nicht manuell führen. Die Aufgabe muss vollständig vom Autopilot übernommen werden. Eine Beobachtung des Verkehrsgeschehens ist für nachfolgende Fahrer nicht möglich. Dies gilt auch beim Auflösen des Platoons solange, bis der gesetzliche Mindestabstand für den manuellen Betrieb erreicht ist. Im automatisierten Betrieb kann dem Fahrer keine Verantwortung für das Führen des Fahrzeuges übertragen werden.
- Platooning erfordert, bei dem für eine relevante Kraftstoffeinsparung notwendigen geringen Abstand, eine externe Steuerung von Gas, Bremse und Lenkung der nachfolgenden Fahrzeuge. Damit verbundene Akzeptanz sowie Sicherheits-, Manipulations-, Zulassungs- und Verhaltensfragen sind noch zu klären.
- Es ist unklar, wie die Aufmerksamkeit, Situations-Awareness und Fähigkeiten des „Fahrers“ erhalten werden können, so dass er im Notfall zielgerichtet eingreifen kann. Vorgaben dazu fehlen. Dichtes Kolonnenfahren im Platoon bedeutet Stress für den „Fahrer“.
- Wenn ein Platoon temporär aufgelöst werden muss (z.B. um anderen Verkehrsteilnehmern das Ein-/Ausfädeln auf die Strasse zu ermöglichen), müssen die hinteren Fahrzeuge abgebremst werden. Bei einem Dreier-Platoon führt das zu deutlichen Behinderungen des nachfolgenden Verkehrs.
- Damit der temporär getrennte Platoon wieder zusammenfindet, muss das vorausfahrende Fahrzeug langsamer fahren und danach wieder beschleunigen. In den Pilotversuchen hat sich gezeigt, dass es sinnvoller wäre, den nachfolgenden Fahrzeugen temporär eine höhere Geschwindigkeit zu erlauben.

2.2.4 Verlader

Migros

- Truck Platooning stellt ein weiterer Schritt hin zum automatisierten Fahren dar. Die Migros steht der Entwicklung sehr positiv gegenüber und verfolgt sie mit grossem Interesse. Es ist jedoch noch zu früh, um über technische, betriebliche oder Business-Case Aspekte zu sprechen, hierzu fehlt es an einer vertieften Auseinandersetzung.
- Jede Massnahme, welche zur Verbesserung der Verkehrssituation oder angesichts des bevorstehenden Wachstums nicht zu einer weiteren Verschlechterung beiträgt, sollte geprüft und weiter verfolgt werden.
- Die Akzeptanz des automatisierten Fahrens seitens Öffentlichkeit und regulatorische Fragen sollten in der Untersuchung ebenfalls mitberücksichtigt werden.

Postlogistics

- Erst zum Zeitpunkt, wo die Fahrzeuge führerlos unterwegs sein können, ergibt sich für die Post ein interessanter Business Case. Die Post besitzt eine genügend grosse Transportmenge, so dass keine überbetriebliche Kooperation zwingend nötig ist, um einen Business-Case für Postlogistics daraus abzuleiten.
- Sowohl im Systemverkehr als auch bei den Distributionstransporten könnten sehr interessante Effizienzpotenziale realisiert werden.
- Es ist in den kritischen Zeitfenstern nicht vorstellbar, einen LW bei einem Paketzentrum im Systemtransport extra zurückzuhalten, um eine zeitliche Bündelung mit einem weiteren LW zu erzielen.
- Die Elektrifizierung der Zustellfahrzeuge ist aktuell ein vitaleres Bedürfnis als die Automatisierung der Fahrzeuge. Trotz Bestellmengen von ca. 250 Lieferwagen pro Jahr kann die Post kaum eine Bestellermacht geltend machen und die Fahrzeugentwicklung massgebend beeinflussen.

2.2.5 Wissensinstitut

IFSTTAR

- Es wird erwartet, dass innerhalb von 5-10 Jahren einige LW-Platoons auf den europäischen Autobahnen fahren werden. Es ist jedoch unklar, ob es in der Schweiz eine große Nachfrage geben wird, denn Truck Platooning eignet sich nicht für bergige und kurvenreiche Autobahnen.
- Truck Platooning wird die Wahrscheinlichkeit von Unfällen reduzieren, aber die Folgen eines Unfalls könnten höher sein. Dieses Thema wird derzeit diskutiert, z.B. im Hinblick auf Truck Platooning in Tunneln, wo sich im Falle eines Brandes das Feuer infolge des kurzen Sicherheitsabstandes in einer Kolonne rasch ausbreiten kann.
- Die Gesamtlast eines Platoons könnte die Belastungen in einer längeren Brücke (>60 m) erheblich erhöhen (besonders bei älteren Brücken). Hier wäre es besser, das Platoon vor der Brücke aufzulösen.
- Truck Platooning könnte zu einer Verschlechterung des Straßenbelags führen, da die LW in einer Kolonne die gleiche Spur haben. Dies hängt aber stark von der Art des Belags ab und stellt zunächst kein kritisches Thema dar.

- Der zukünftige Job eines LW-Fahrers wird wie der Job eines Piloten oder eines Zugfahrers sein, qualifizierter und weniger stressig, mit angepasster Ausbildung und höherem Gehalt.
- Die öffentliche Akzeptanz von Truck Platooning, insb. auch die Interaktion mit dem übrigen Verkehr, steht im Fokus vieler heutiger Projekte. Schon jetzt gibt es LW, die sehr kurz auf einander fahren, also wären „echte“ LW-Platoons nicht wirklich etwas Neues. Allerdings benötigt es Regeln, die festlegen, wo LW in Platoons fahren dürfen.

2.3 Externe Interviews

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse von extern durchgeführten Interviews aufgezeigt. Die Interviews sind unabhängig vom vorliegenden Bericht entstanden und sind während der Literatur-Recherche aufgefunden worden.

2.3.1 Interviews von Continental AG

Die Continental AG hat in ihrer Mobilitätsstudie 2016 quantitative Interviews von infas (Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH) durchführen lassen. Die Mobilitätsstudie ist mit dem Titel „Der vernetzte Truck“ versehen (Continental AG 2016).

Für die vorliegende Studie wurden zwei Zielgruppen der Mobilitätsstudie betrachtet. Zum einen die Interviews mit Logistiker, Spediteure und Flottenbetreiber aus Deutschland. Diese Gruppe von Interviewpartner wird in der Mobilitätsstudie nicht getrennt und wird nachfolgend als Logistiker bezeichnet. Zum anderen die Interviews mit Fernfahrer aus Deutschland. Alle Interviews haben zwischen April und Juni 2016 stattgefunden.

Die Logistiker sind aus der 1. und 2. Führungsebene aus kleinen, mittleren und grossen Unternehmen. Insgesamt sind 3'000 Personen telefonisch kontaktiert und 127 Online-Interviews durchgeführt worden. Bei einzelnen Fragen haben jedoch nur 119 Logistiker teilgenommen. Die Fernfahrer sind per schriftlichem Selbstausfüller befragt worden. Die Fernfahrer führen Nutzfahrzeuge von 3.5, 7.5, 12 und 40 t. Die Rekrutierung hat vor Ort an bundesweit ausgewählten Rasthöfen stattgefunden. Insgesamt sind 301 schriftliche Interviews durchgeführt worden.

Die Ergebnisse der Mobilitätsstudie zeigen, dass Systeme zur Automatisierung des Fahrens sowohl von Logistiker als auch Fernfahrer in Zukunft eher nicht erwünscht sind. Nur 21% der Logistiker und Fernfahrer haben angegeben, dass sie sich in Zukunft Systeme zur Automatisierung des Fahrens wünschen. Bezüglich Fahrassistenzfunktionen sind die Meinungen positiver. Die Logistiker wünschen sich in Zukunft zu 66% Fahrassistenzfunktionen, wohingegen die nur 53% der Fernfahrer diesen Wunsch haben. Des Weiteren wird aufgezeigt, dass das Platooning von Logistiker für die Zukunft des Unternehmens als eher unwichtig eingeschätzt wird.

Punktzahl	1 (1 = völlig unwichtig)	2 - 3	4 - 7	8 - 10 (10 = sehr wichtig)
Wichtigkeit von Platooning mit Blick auf die Zukunft des Unternehmens	24%	16%	36%	25%

Tabelle 2 Wichtigkeit von Platooning für Logistiker (Continental AG 2016)

Dennoch sehen viele Logistiker das automatisierte Fahren als eine Chance für die Branche. 56% der Befragten haben diesbezüglich eine positive Rückmeldung gegeben. Gleichzeitig wird die Digitalisierung als grosse Herausforderung angesehen. 79% der Logistiker sind der Meinung, dass sie aufpassen müssen, hierbei den Anschluss nicht zu verlieren.

Punktzahl	6 (trifft überhaupt nicht zu)	5	4	3	2	1 (trifft voll und ganz zu)
Automatisiertes Fahren ist eine Chance für die Branche	20%	12%	13%	28%	19%	9%
Wir müssen aufpassen, dass wir bei der Digitalisierung nicht den Anschluss verlieren	5%		16%	27%	34%	18%

Tabelle 3 Meinung zu Automatisierung und Digitalisierung von Logistiker

Für die Fernfahrer wird im Allgemeinen das automatisierte Fahren und speziell das Platooning für die Zukunft ihrer Arbeit als eher unwichtig gesehen. Des Weiteren geben nur 15% der Befragten an, das automatisierte Fahren als attraktiv zu empfinden. 55% der Fernfahrer möchten in ihrem Job alles frei entscheiden und steuern können.

2.3.2 Interviews von VDA

Der VDA¹⁵ hat persönliche Interviews bezüglich vernetztem und automatisiertem Fahren von Nutzfahrzeugen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der FAT-Schriftenreihe 291 ersichtlich. Insgesamt sind 20 persönliche Interviews durchgeführt worden. Die Gesprächspartner waren meist die Geschäftsführer selbst oder die Fuhrparkleiter der entsprechenden Unternehmen. Die Interviewpartner sind aus verschiedenen Bereichen der Transportbranche:

- 3 grosse Transportunternehmen (>1'000 Fahrzeuge), davon 2 Logistikunternehmen
- 2 mittlere Transportunternehmen (100 – 1000 Fahrzeuge)
- 6 kleinere Transportunternehmen (<100 Fahrzeuge)
- 3 Busunternehmen, u.a. auch im öffentlichen Stadtverkehr
- 2 Gesamtfahrzeuge- und Aufbauhersteller
- 1 Terminalbetreiber
- 1 Unternehmen mit Werksverkehr
- 1 Vermietungsunternehmen für Nutzfahrzeuge
- 1 EDV-Dienstleister in der Transportbranche

Die Ergebnisse der Interviews haben gezeigt, dass die Transportbranche dem Thema Automatisierung und Vernetzung eher konservativ gegenüber steht. Dennoch erwarten fast 90% der Befragten, dass sich die Transportbranche in Zukunft durch die steigende Automatisierung verändern wird. Schon in den nächsten Jahren erwarten 75% der Befragten einen Einfluss der Teilautomatisierung in ihre Tätigkeit.

¹⁵ Verband der Automobilindustrie, (Interessenverband der deutschen Automobilhersteller und -zulieferer)

Des Weiteren sind die Befragten nach dem erwarteten Nutzen gewisser zukünftiger Systeme befragt worden. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der VDA, welche für die vorliegende Studie relevant sind:

	Mittelwert bei Unternehmen vorwiegend im Fernverkehr (4 Befragte)	Mittelwert bei Unternehmen vorwiegend im Nahverkehr (7 Befragte)	Mittelwert bei Busunternehmen (3 Befragte)
Automatisiertes Fahren auf der Autobahn	2.2	2.9	1.7
Platooning	2.6	3.8	3.7

Tabelle 4 Erwarteter Nutzen vom automatisiertem Fahren und Platooning im Unternehmen; 1 = hoher erwarteter Nutzen; 4 = geringer erwarteter Nutzen (vgl. Lex et al. 2017)

In den Interviews sind weitere mögliche relevante Themen angesprochen worden. Bspw. haben die grösseren und vorwiegend im Fernverkehr tätigen Unternehmen grosse Probleme bei der Fahrerakquisition.

Des Weiteren wird die Fahrerakzeptanz und Zumutbarkeit bei der Umsetzung der zukünftigen Systeme als grosses Problem bemerkt. Verweigerungsgründe der Fahrer sind vor allem:

- Fahrer sieht keinen Vorteil
 - Fahrer kennen Vorteile der Systeme nicht
 - Fahrer ist trotz Automatisierung in Verantwortung
 - Kein Komfortgewinn für Fahrer
 - Freude am Fahren geht verloren
 - Fahrer haben Angst ersetzt zu werden
- Skepsis gegenüber neuem System
 - Ältere Fahrer skeptisch gegenüber neuen Systemen
 - Kein Vertrauen in neue Systeme oder in Technik
 - Akzeptanzprobleme (v.a. bei älteren Fahrern)
 - Fahrer können es selber besser

(Lex et al. 2017, 32-55)

2.4 Zusammenfassung: Recherche und Interviews

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Inhalte aus der Literatur-Recherche (Kapitel 2.1) und den Interviews (Kapitel 2.2 und 2.3) in einer konzentrierten Form wiedergegeben. Die Erkenntnisse folgen in Kap 2.5

2.4.1 Literatur-Recherche

Automatisierung und Vernetzung werden als Grundsteine zur erfolgreichen Bewältigung der vielfältigen globalen Herausforderungen an die Mobilität gesehen. Fahrerassistenzsysteme wie ACC sind dabei der Wegbereiter für das automatisierte Fahren. Automatisierte Funktionen werden auf der Grundlage etablierter Fahrerassistenzsysteme sukzessive weiter-entwickelt. Allerdings bilden nicht vorhandene, unvollständige oder national unterschiedliche rechtliche Regelungen noch ein Hindernis auf dem Weg zur Markteinführung automatisierter und erst recht autonomer Fahrzeuge.

Eine wichtige Grundlage für die Vernetzung von Fahrzeugen und Infrastruktur in Europa ist die Kommunikationstechnologie im Mischverkehr (auch V2X ITS-G5 genannt). Diese Technologie ist bereit für den Markt und soll gemäß der „Europäischen Strategie für Ko-operative Intelligente Verkehrssysteme (C-ITS)“ spätestens 2019 zum Einsatz kommen. CACC beruht auch auf dieser Technologie.

Effizienzsteigerungen in der Strassennutzung durch den Einsatz von ACC sind nicht zu erwarten. Im Gegenteil, da Fahrzeuge mit ACC einen größeren Sicherheitsabstand verwenden als Fahrer ohne ACC, führt die Einführung von ACC auch – oder gerade – bei hoher Ausstattungsrate eher zu Verschlechterungen des Verkehrsflusses (insb. bei Engpässen) und zu einer Reduktion der Kapazität. Allerdings resultiert durch ACC ein konstanteres Geschwindigkeits- und Abstandsverhalten und Stoßwellen können verhindert bzw. ausgebremst werden. Vor allem in Kombination mit einem Auffahrkollisionssystem trägt ACC dazu bei, Unfälle zu vermeiden. In der Literatur wurde keine behördliche Anordnung gefunden, die Effizienzsteigerungen im Verkehr durch ACC beabsichtigt. So wird die Anschaffung von ACC in den Niederlanden explizit nicht gefördert, weil die verkehrlichen Wirkungen von ACC durch die auftretende „string instability“ eher kontraproduktiv sind¹⁶. Allerdings sind Abstandsregler für LW in Deutschland gemäß der „Richtlinie über die Förderung von Sicherheit und Umwelt in Unternehmen des Güterkraftverkehrs mit schweren Nutzfahrzeugen vom 11. August 2014“ förderfähig.

Computersimulationen zeigen, dass Effizienzsteigerungen in der Strassennutzung jedoch durch den Einsatz von CACC möglich sind. CACC-Fahrzeuge können ihrem Vorgänger mit höherer Genauigkeit, schnelleren Reaktionszeiten und kürzeren Abständen folgen, was insbesondere bei hoher Ausstattungsrate (ab 40-50%) zu einem stabileren Verkehrsfluss und einer höheren Kapazität führt. Solche Verkehrsverbesserungen hängen allerdings stark von den Wechselwirkungen mit anderen (ausgerüsteten) Fahrzeugen ab. Auch scheint im Mischverkehr (d.h. PW / LW mit/ohne ACC/CACC) die Kapazität eher reduziert zu werden. Negativen Einflüssen auf die Verkehrssicherheit, wenn beispielsweise andere Fahrzeuge in die

¹⁶ Quelle: Interview mit Tom Alkim (Rijkswaterstaat, NL) am 24. April 2017 zum Thema Truck Platooning im Rahmen dieses Projektes

CACC-Platoons einfädeln wollen, sollte z.B. auf Basis von Kommunikation in Querrichtung („cooperative highway merging“) entgegengewirkt werden.

Die deutlichsten Wirkungen von CACC im PW-Verkehr zeigen sich in der Regel erst bei hoher Verkehrsstärke und hohem Ausstattungsgrad der Fahrzeuge. Im LW-Verkehr können positive Effekte von CACC im Sinne von Truck Platooning schon früher erzeugt werden, da Transportunternehmen bereits profitieren können, wenn sie zwei LW mit der CACC-Technologie ausrüsten und in Kolonne fahren lassen. Dies ist auch der Grund dafür, dass Truck Platooning heute stärker im Fokus ist.

Viele Stakeholder in Europa rechnen damit, dass ab 2020 die ersten kommerziellen LW-Kolonnen auf der Straße fahren werden. Bis dahin sind aber noch viele Herausforderungen zu meistern. Auch wenn die notwendige Basistechnologie für Truck Platooning schon existiert, gibt es in diesem Bereich noch einige Herausforderungen: Die Zuverlässigkeit der Technologie, Algorithmen für die Interaktion mit dem anderen Verkehr und die Sicherheit der V2V-Kommunikation.

Weiter werden Handlungsfelder und Forschungsbedarf in den folgenden Bereichen aufgezeigt:

- Business Case: Truck Platooning im „daily business“ (welche Vorteile gibt es tatsächlich, für wen, wie gross)
- Betrieb: Strategien zur Platoon-Bildung und -Auflösung, Kooperation zwischen vielen (auch miteinander konkurrierenden) Stakeholdern
- Akzeptanz: LW-Fahrer, andere Verkehrsteilnehmer, Gesellschaft
- Infrastruktur: Anwendbarkeit bei Ein-/Ausfahrten, in Tunneln, auf Brücken, auf gebirgigen Strecken, evtl. Anpassungen der Infrastruktur
- Rechtliche Rahmenbedingungen (inkl. Haftpflicht): Erweiterung des Wiener Übereinkommens (insb. für autonome Systeme), Prüfung bzw. Überarbeitung anderer Gesetzgebung, z. B. Lenk- und Ruhezeiten für LW-Fahrer (Verordnung (EG) Nr. 561/2006), Verantwortung und Haftung im Falle eines Unfalls, Versicherungen

Heutige und zukünftige Forschungsprojekte (z. B. H2020 ART03 „Multibrand Truck Platooning“, voraussichtlich ab Q3 2017) und Großversuche im realen Verkehr (z. B. „Real Life Cases“ 2017-2019 in NL, Feldversuch DB Schenker und MAN ab 2018 in DE) sollen jetzt genutzt werden, um zu untersuchen, ob die geschäftlichen und gesellschaftlichen Vorteile des Truck Platooning sich in der Praxis bewähren können.

2.4.2 Interviews

Grundsätzlich steht die Mehrheit der Stakeholder neuen Technologien positiv gegenüber. Dennoch haben die Interviews, welche von externen Unternehmen durchgeführt wurden, gezeigt, dass kein hoher Nutzen beim Platooning erwartet wird. Auch wird das Platooning nicht als wichtig für die Zukunft des Unternehmens eingeschätzt.

Behörden und Anwender sehen sich nicht als Treiber der Entwicklung. Die Logistiker und Verlader sind eher der Meinung, dass die neuen Technologien in erster Linie für die sichere, ökologischere und effizientere Nutzung der Strasse gedacht sind. Deshalb werden vielmehr die Infrastruktur- und Telekommunikationsanbieter als Treiber gesehen. Für die Fahrzeughersteller ist

Truck Platooning eine Anwendung des automatisierten Fahrens und wird, auch aufgrund einfach und plakativ zu vermittelnder Nutzenargumente, die dem politischen Mainstream entsprechen, intensiv erforscht.

Die Behörden sind eher der Meinung, dass der Markt für die Entwicklung des Truck Platoonings verantwortlich ist. Wenn Truck Platooning nur mit Hilfe grosser staatlicher Investitionen Chancen hat, dann gibt es offensichtlich keinen guten Business Case. Dennoch ist die Bereitschaft vorhanden, Pilotversuche auch finanziell zu unterstützen.

Die Mehrheit aller Experten ist skeptisch, wenn es um die Umsetzung von Truck Platooning in der Schweiz geht. Als Herausforderungen für eine Umsetzung in der Schweiz werden folgende Punkte genannt:

- Bergige und kurvenreiche Strecken
- Viele Ein- und Ausfahrten
- Tunnel und Brücken
- Im Binnenverkehr zu kurze Strecken
- Wenig Komplettladungen
- Staatliche Regulierung → Druck auf Schiene kann negative Auswirkungen auf die gewünschte Verlagerung haben
- Infrastruktur nicht ausreichend ausgestattet
- Truck Platooning muss spontan erfolgen können und deshalb überbetrieblich funktionieren

Positive Argumente sind zum einen die Energieeinsparung. Die Treibstoffkosten nehmen einen wichtigen Anteil an den Gesamtkosten eines Transportunternehmens ein. Deshalb ist eine Einsparung in diesem Bereich, wie es das Truck Platooning erzielt, wünschenswert.

Zum anderen wird auch die Erhöhung der Produktivität als positives Argument genannt. Mit einem Truck Platoon (mindestens Automatisierungsstufe 3 nach SAE) kann eine insgesamt längere Strecke zurückgelegt werden. Nach Auffassung der Experten wäre es denkbar, dass sich die hinteren LW-Fahrer während der Fahrt erholen können. Nach Ablauf einer bestimmten Fahrzeit des vorderen LW-Fahrers können die Rollen getauscht werden. Inwiefern dies mit der heutigen Regelung für die Ruhezeit zu vereinbaren ist, wird zu prüfen und zu diskutieren sein. Des Weiteren ist unklar, ob sich der LW-Fahrer nach erfolgter Platoon-Bildung während den kurzzeitigen Auflösungs- und Bildungs-Vorgängen (bei Ein-/Ausfahrten, bei Tunnels, siehe Kapitel 3.1) erholen kann. Im Allgemeinen basiert die „Erholung des Fahrers“ auf vielen Voraussetzungen, die heute nicht erfüllt sind. So verbietet beispielsweise das Wiener Übereinkommen das „Erholen des Fahrers“. Dieser muss nach dem Wiener Übereinkommen ein automatisiertes System jederzeit übersteuern können (vgl. Kapitel A.1.9).

Einige Experten sehen die Strecke zwischen Bern und Lausanne als gute Möglichkeit für das Truck Platooning. Die Strecke zwischen Bern und Vevey wird in diesem Zusammenhang auch genannt. Ein Experte hat bereits die Bereitschaft ausgedrückt, an einem Pilotversuch in der Schweiz teilzunehmen. Ein Wissensinstitut empfiehlt von der Erfahrung anderer Länder zu profitieren und hierfür Kontakt aufzunehmen. Die Bereitschaft mindestens einer ausländischen Behörde, die Schweiz bei Pilotprojekten zu unterstützen, ist gegeben.

Gegensätze scheinen bezüglich dem Angebot und der Nachfrage bei den Themenfeldern Elektrifizierung und Automatisierung zu existieren. So äussern zwei Logistiker/Verlader den Eindruck, dass zurzeit der Schwerpunkt der Fahrzeughersteller bei der Digitalisierung liegt, was nicht ihrem Bedürfnis entspricht. Bei einem Experten hat die Elektrifizierung der Zustellfahrzeuge zurzeit höhere Priorität. Ein Problem ist, dass kein überzeugender Elektro-Lieferwagen (<3.5t) auf dem Markt existiert.

Alle Akteure stehen am Anfang des Lernprozesses mit der Technologie des Truck Platoonings und seiner Anwendung. Themen, die heute mit Fragezeichen versehen werden, sind möglicherweise unproblematisch, andere, neue werden sich auftun.

2.5 Erkenntnisse aus Recherche und Interviews

Insgesamt erwecken die Interviews und die Recherche den Eindruck, dass Platooning erst ab Automatisierungsgrad Stufe 4 (nach SAE) interessant wird, wenn der Fahrer sich anderen Tätigkeiten widmen kann und nicht jederzeit das Fahrzeug übernehmen können muss.

Weiter wurde offensichtlich, dass Forschungen der Fahrzeughersteller nicht explizit für Truck Platoonings erfolgen, sondern als Meilenstein in Richtung des automatisierten Fahrens. So wird Truck Platooning wohl eher als Experimentierplattform genutzt, um sich auf die zukünftigen Herausforderungen im Verkehrswesen vorzubereiten. Mit den Forschungsarbeiten zu Truck Platooning werden viele offene Punkte, wie bspw. Sicherheit im Mischverkehr (automatisiert und nicht automatisiert) oder Zulassungsverfahren automatisierter Fahrzeuge angegangen, die für die Automatisierung und Vernetzung der Fahrzeuge ohnehin zu klären sind.

Einen offenen Punkt stellen die Treiber der Entwicklung von Truck Platooning dar. So sehen sich die Infrastrukturbetreiber diesbezüglich nicht in der Verantwortung. Da die Literaturstudie aufzeigt hat, dass ab einem Ausstattungsgrad von 40% (40% der LW sind Truck Platooning-tauglich) die Infrastruktur massgeblichen Nutzen von Platooning resp. vom automatisierten und vernetzten Fahren ziehen kann, ist diese Haltung zu hinterfragen. Entsprechend müssten die Infrastrukturbetreiber schon heute entscheiden, ob Investitionen zur Ermöglichung von Platooning (z.B. Verlängerung der Einfahrtsstrecken) getätigt werden sollen, deren Vorteile erst zu einem viel späteren Zeitpunkt erwartet werden.

Die Anwender resp. Logistiker selber können nicht als Treiber der Technologie fungieren. Grund ist das Fehlen der gesetzlichen Rahmenbedingungen um verlässlich in die Automatisierung oder Vernetzung der Fahrzeuge investieren zu können. Interesse gegenüber neuen Technologien werden zwar von allen Seiten geäussert - es entsteht der Eindruck, dass keiner den Anschluss verlieren will - dennoch erlauben die in der Logistik üblichen tiefen Margen im Umfeld der rechtlichen Unsicherheit keine entsprechenden Investitionen. Ein wirklicher Business-Case ist bei den Logistiker denn auch nicht erkennbar.

Die Stakeholder der Transportbranche würden am liebsten direkt zur Automatisierungsstufe 4 (nach SAE) springen. Es ist zweifelhaft, dass dies möglich ist, ohne zuvor umfassende Untersuchungen zu den vorherigen Stufen durchzuführen.

3 Anforderungen an Betrieb und Infrastruktur

Losgelöst von den Charakteristika des Schweizer Nationalstrassennetzes stellt Platooning per se gewisse Anforderungen an Betrieb und Infrastruktur. So beansprucht die Bildung und Auflösung von Platoons eine gewisse Streckenlänge und Zeit. Diese werden in einem ersten Schritt in einem theoretischen Kontext hergeleitet. Die detaillierten Berechnungen sind im Anhang B enthalten. Das folgende Kapitel 3.1 beschränkt sich auf die relevanten Aspekte und Resultate dieser Berechnungen.

Neben Anforderungen an den Betrieb erzeugen Platoons statische und dynamische Einwirkungen auf die Infrastruktur. Deren Einfluss wird in Kapitel 3.2 auf qualitativer Basis diskutiert und daraus werden generelle Aussagen zu erhöhten Anforderungen an Infrastrukturen abgeleitet.

3.1 Betriebliche Gesetzmässigkeiten Platooning

Auf Basis möglicher theoretischer Varianten der Platoon-Bildung werden die betrieblichen Gesetzmässigkeiten der Platoon-Bildung und –Auflösung auf Hochleistungsstrassen hergeleitet. Dabei wird von zweistreifigen Richtungsfahrbahnen ausgegangen. Als Resultat liegen Aussagen zu Zeit- und Streckenbedarf für verschiedene betriebliche Vorgänge vor.

3.1.1 Bilden und Lösen von Verbänden

Bilden eines Platoon-Verbands

Bevor die betrieblichen Gesetzmässigkeiten des Bildens und Auflösens von Platoon-Verbänden untersucht wird, soll der Frage nachgegangen werden, wo eine Platoon-Bildung stattfinden soll, im fahrenden oder im ruhenden Zustand.

Aus der Literatur-Recherche sind Beispiele bekannt, bei welchen Platoons sowohl ausserhalb der Hochleistungsstrassen an Sammelpunkten wie auch unterwegs auf der Strecke gebildet wurden. In Experten-Interviews wurde die spontane Platoon-Bildung auf freier Strecke als Bedingung für die Praktikabilität von Platooning formuliert.

Um der Frage der Bildung konkret nachgehen zu können, sind zwei verschiedene Vorgänge der Platoon-Bildung zu betrachten:

Vorgang 1: Das Finden von Fahrzeugen/Kandidaten zur Bildung eines Platoons

Vorgang 2: Die Bildung des Platoons in Form der elektronischen Vernetzung der Fahrzeuge und des Einnehmens eines entsprechenden Abstands zueinander.

Vorgang 1 stellt eine organisatorische Frage dar und unterscheidet zwischen organisierter oder spontaner Platoon-Bildung. Die organisierte Platoon-Bildung kann ab gewissen Sammelpunkten (Werkgeländen, Raststätten) aber auch auf der Strecke erfolgen, indem sich LW zu einer gewissen Zeit auf einem gewissen Autobahn-Abschnitt zur Platoon-Bildung 'verabreden'. Die spontane Platoon-Bildung erfolgt überwiegend auf der freien Strecke, aber es ist auch denkbar, dass sich Kandidaten auf Raststätten finden und sammeln. Für Vorgang 1 sind demnach beide Situationen möglich, der fahrende oder der ruhende Zustand.

Die Vernetzung in Vorgang 2 erfordert technisch die Aneinanderreihung der Fahrzeuge. Dies ist bei Fahrt auf der Strecke per se gegeben. Somit stellt für die elektronische Kupplung der fahrende Zustand die Regel dar. Denkbar wäre auch, dass hintereinander parkende Fahrzeuge sich im ruhenden Zustand zu einem Platoon vernetzen, hingegen ist es nur schwerlich denkbar, dass dieser vernetzte Verband als Ganzes auf die Hochleistungsstrasse auffährt.

Dies würde ein weitgehend spurtreues Fahren aller Fahrzeuge auf der Strecke zur Autobahnauffahrt und eine freie Einfahrt auf die rechte Spur der Autobahn voraussetzen. Viel realistischer ist, dass Fahrzeuge als offener Verband auf die Autobahn auffahren und sich dann auf der Strecke zu einem Platoon-Verband zusammenschliessen.

Platoon-Bildung auf der Strecke

Für die Platoon-Bildung auf der Strecke existieren grundsätzlich zwei verschiedene Ansätze. Zum einen können die vorderen LW abbremsen, so dass die hinteren LW aufschliessen können (nachfolgend als Brems-Variante bezeichnet). Zum anderen können die hinteren LW beschleunigen, damit ein Aufschliessen stattfindet (nachfolgend als Aufhol-Variante bezeichnet). Aus der Kombination beider Ansätze ist auch eine Hybridvariante denkbar:

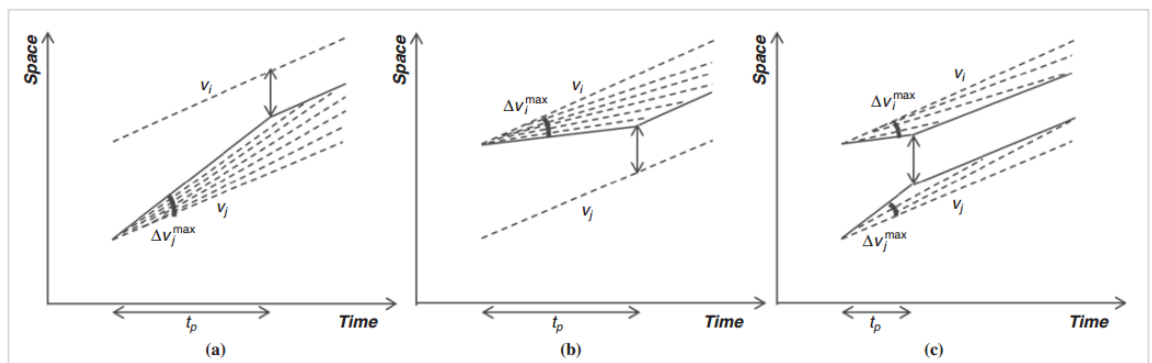


Abbildung 3 Varianten zur Platoon-Bildung, a = Aufhol-Variante, b = Brems-Variante, c = Hybridvariante (Menendez/Saeednia 2016, 43)

Bezogen auf den praktischen Einsatz - bei welchem davon ausgegangen wird, dass auf freier Strecke die LW mit ihrer gesetzlich zulässigen Höchstgeschwindigkeit unterwegs sind - bildet nur Variante b) einen tauglichen Mechanismus zur Platoon-Bildung, die Varianten a) und c) würden eine (temporäre) Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und damit eine Inkaufnahme eines regelverletzenden Zustands voraussetzen. Demnach muss die Platoon-Geschwindigkeit zwingend tiefer liegen als die zulässige Höchstgeschwindigkeit. Für die Platoon-Auflösung ist hingegen Variante a) ein tauglicher Mechanismus.

Anforderungen an Zusammensetzung Platoon-Verband hinsichtlich Ladungsmix

Unabhängig der Frage, auf welche Weise (spontan oder organisiert) sich Fahrzeuge zu einem Platoon finden, muss für einen sicheren Betrieb die Zusammensetzung des Platoons auf das Beschleunigungs- und Bremsvermögen der einzelnen Fahrzeuge Rücksicht nehmen. Im Verband muss sichergestellt sein, dass einerseits aufgrund unterschiedlicher Bremsleistungen kein Fahrzeug auf das voranfahrende Fahrzeug auffährt, und andererseits aufgrund unterschiedlicher Beschleunigungsvermögen kein Fahrzeug die nachfolgenden Fahrzeuge abhängt, beispielsweise zu Beginn von Steigungen.

Idealerweise schliessen sich nur Fahrzeuge mit identischem Beschleunigungs- und Bremsvermögen zu einem Verband, in der Praxis - insbesondere bei der spontanen Platoon-Bildung - wird dies nicht möglich sein. Entsprechend stammt aus der Literatur-Recherche der Vorschlag, dass das Fahrzeug mit der grössten Last, bzw. der grössten Trägheit an der Spitze fährt. Entscheidend ist aber nicht allein die Last, sondern die Last in Kombination zum Beschleunigungs- und Bremsvermögen.

Beim Bahnbetrieb, der physikalisch mit der gleichen Fragestellung konfrontiert ist, wird deshalb pro Fahrzeug ein sogenanntes Bremsverhältnis angegeben, berechnet als Quotient aus dem Bremsgewicht eines Fahrzeugs und seiner tatsächlichen Masse, wobei das Bremsgewicht eine Grösse zur Bewertung des Bremsvermögens ist. Fahrzeuge mit identischem Bremsverhältnis weisen identische Bremswege auf. Entsprechend werden Güterzugsverbände in den Rangierbahnhöfen unter Berücksichtigung der Bremsverhältnisse der einzelnen Fahrzeuge sortiert und zusammengestellt.

Analog zum Bahnbetrieb sollten die LW ebenfalls pro Fahrt und abhängig von ihrer momentanen Last ein Bremsverhältnis ausweisen, so dass die Platoons auf Basis dieses Merkmals gebildet werden können. Während beim Bahnbetrieb die Angaben zum Bremsverhältnis statisch pro Wagen an der Aussenseite deklariert ist, müsste bei den LW diese Angabe dynamisch unter Berücksichtigung unterschiedlicher Beladungszustände erfolgen. Zudem müsste diese Information insbesondere bei der spontanen Platoon-Bildung den anderen Fahrzeugen auf elektronischem Weg zugänglich gemacht werden.

Platoon-Grösse

Grundsätzlich kann ein Verband aus zwei LW bereits als Platoon bezeichnet werden, sofern er als elektronisch gekoppelte Einheit gemäss Definition in Kap 2 verkehrt. Auf der anderen Seite würden auch 100 LW, die elektronisch gekoppelt sind, als Platoon gelten. Da gemäss Literatur-Recherche die Reduktionen des Energiebedarfs ab dem dritten LW für die Folgefahrzeuge konstant bleiben, wäre mit grossen Platoon-Verbänden die grösste resultierende Energie-Einsparung zu erreichen. Auf der anderen Seite resultiert aus jedem zusätzlichen Fahrzeug eine deutliche Vergrösserung des Zeit- und Streckenbedarfs für Platoon-Auflösung und Platoon-Bildung (bei Tunnels, bei Ein-/Ausfahrten; siehe Folgekapitel).

Die optimale Grösse eines Platoons leitet sich somit aus der Abwägung zwischen Energie-Reduktion und betrieblicher Handhabbarkeit ab. Muss der Verband aufgrund vieler Tunnels oder Ein-/Ausfahrten oft aufgelöst und wieder gebildet werden, sind kurze Platoons im Vorteil, kann der Verband über weite Strecken in geschlossener Formation verkehren, so sind lange Platoons wirtschaftlich.

In der Literatur-Recherche konnten Versuche mit 2-4 LW gefunden werden. Für die folgenden Betrachtungen wird mit einer Platoon-Grösse von 3 LW operiert, was im Hinblick auf die Übertragung der Ergebnisse auf das Schweizerische Nationalstrassennetz mit einer relativ hohen Dichte an Ein-/Ausfahrten und Tunnels zweckmässig erscheint.

Spurbelegung Platoon-Verband auf HLS

Gemäss Strassenverkehrsgesetz (SVG; SR 741.01) und Verkehrsregelverordnung (VRV; SR 741.11) ist Überholen nur auf der linken Seite erlaubt, wodurch gegeben ist, dass langsame Verkehrsteilnehmer rechts fahren müssen. Auf Hochleistungsstrassen leitet sich daraus für LW die Pflicht zur Nutzung des rechten Fahrstreifens ab.

In Befolgung der gesetzlichen Vorgaben müssen Platoon-Verbände auf mehrspurigen Hochleistungsstrassen die äusserste Fahrspur rechts benützen. Die Anordnung eines Platoon-Verbands auf der linken Fahrspur wäre nicht gesetzeskonform und würde Anpassungen auf Gesetzes- und Verordnungsstufe erfordern. Insbesondere sind Sicherheitsfragen bei einer solchen Fahrweise ungeklärt.

Für den Betrieb eines Platoon-Verbands wäre die Nutzung der linken Fahrspur jedoch von Vorteil, da er von Ein- und Ausfahrten nicht betroffen wäre und weniger Auflösungs- und Bildungsvorgänge erforderlich wären.

Aus diesem Grund wird in den folgende Kapiteln zwischen ‚Platooning mit Auflösung‘ (auf der rechten Fahrspur) und ‚Platooning ohne Auflösung‘ (auf der rechten Fahrspur oder auf der linken Fahrspur) unterschieden. Bei ‚Platooning ohne Auflösung‘ wird auf die Unterschiede bei der Nutzung der linken oder der rechten Fahrspur punktuell eingegangen.

3.1.2 Geschwindigkeiten und Streckenlängen

Abstände der Fahrzeuge im Platoon-Verband

Aus der Literatur-Recherche ist bekannt, dass einerseits ein kurzer Abstand zwischen LW zu den grössten Einsparungen beim Energiebedarf, andererseits ein grosser Abstand zu Vermeidung von Auffahrunfällen führt. Weiter spielt auch die Behaglichkeit des Fahrers in den Folgefahrzeugen eine Rolle, je kürzer der Abstand, desto angespannter ist der Fahrer.

Durch die Vernetzung der Fahrzeuge mittels V2V und CACC bildet die Reaktionszeit keinen Bestandteil des Bremswegs. Ebenfalls gewährleistet die Berücksichtigung des Ladungsmix bei der Zusammensetzung des Verbands ein etwa ähnliches Bremsverhalten. Der Platoon-Abstand darf demnach deutlich unter dem Bremsabstand gewählt werden.

In der Literatur werden sowohl Zeit- wie auch Distanzwerte empfohlen. Eine Mehrheit operiert mit einem Abstand von 0.5 s, was bei 80 km/h einer Distanz von 11 m entspricht. Für die vorliegende Studie mit einer Platoon-Geschwindigkeit von 75 km/h wird ein Abstand von 15 m verwendet, was 0.7 s entspricht.

Geschwindigkeit im Platoon-Verband

Die gesetzliche zulässige Höchstgeschwindigkeit von LW auf Autobahnen beträgt 80 km/h. Damit Platoons auf der Strecke ohne Verletzung dieser Limite gebildet werden können, muss die Platoon-Geschwindigkeit zwingend unter dieser Höchstgeschwindigkeit liegen. Damit liegt auf der Hand, dass das Fahren im Platoon eine Verlängerung der Fahrzeit bewirkt.

Je näher die Platoon-Geschwindigkeit bei der Höchstgeschwindigkeit liegt, desto geringer fällt dieser Nachteil aus, aber desto länger (Strecke und Zeit) gestaltet sich auch die Bildung und Auflösung eines Platoons. Würde die Platoon-Geschwindigkeit z.B. auf 78 km/h angesetzt, so wäre für die Bildung eines Platoons aus 3 LW (ausgehend vom Regelabstand von 100 m, zu überführen in einen Platoon-Abstand von 15 m) eine Strecke von rund 3.3 km erforderlich.

Aus diesem Grund ist eine Platoon-Geschwindigkeit zu wählen, die einerseits nahe bei der Höchstgeschwindigkeit liegt, andererseits die Streckenlänge bei Bildung und Auflösung des Verbands kurz hält. In Anbetracht der schweizweit hohen Dichte an Tunnels und Ein- / Ausfahrten, welche womöglich kurzzeitige Platoon-Auflösungen erfordern, wird für die vorliegende Studie eine Platoon-Geschwindigkeit von 75 km/h gewählt. Im Anhang (vgl. Kap. B.3) ist die detaillierte Herleitung dieser Platoon-Geschwindigkeit ausgeführt.

Betriebliche Abwicklung Platoon-Bildung / Platoon-Auflösung

In Anlehnung an die Ausführungen in Kap 3.1.1 wird für die vorliegende Studie für die Platoon-Bildung die Brems-Variante und für die Platoon-Auflösung die Aufhol-Variante verwendet. Als Beschleunigung und Verzögerung wird ein Wert von 0.5 m/s² verwendet. Dieser Wert wurde bewusst moderat angesetzt, damit die Platoon-Bildung und –Auflösung für

die Chauffeure in den hinteren LW erträglich ist. Höhere Werte für Beschleunigung und Verzögerung wären technisch denkbar, gingen jedoch zu Lasten der Behaglichkeit der Chauffeure, welche sich im Platoon-Verband anderen Arbeiten widmen könnten und entsprechend diesen Kräften unvorbereitet ausgesetzt wären. Zudem haben vertiefte Betrachtungen gezeigt, dass die Auswirkungen einer höheren Beschleunigung auf die Platoon-Bildung / Auflösung gering ist (siehe Anhang B.4).

Die weiteren für die Analyse gewählten Parameter sind:

• LW-Geschwindigkeit: 80 km/h	• LW-Abstand im Platoon: 15 m
• Platoon-Geschwindigkeit: 75 km/h	• LW-Abstand bei Ein-/Ausfahrten: 50 m
• Beschleunigung: 0.5 m/s ²	• LW-Abstand in Tunnels: 100 m
• Verzögerung: - 0.5 m/s ²	• LW-Abstand auf freier Strecke: 100 m
• Platoon-Grösse: 3 LW	• LW-Abstand im Gotthardtunnel: 150 m

Tabelle 5 Gewählte Parameter für Platoon-Bildung und Platoon-Auflösung

Unter Verwendung dieser Parameter ergeben sich untenstehende Zeit- und Streckenlängen. Die Detailberechnungen sind im Anhang B ersichtlich. Zur Veranschaulichung der Vorgänge sind die beiden Prozesse als Weg-Zeit-Grafik schematisch dargestellt.

	Zeit	Streckenlänge
Platoon bilden (100m → 15m)	125s	2600m
Platoon bilden (50m → 15m)	53s	1100m
Platoon auflösen (15m → 100m)	125s	2800m
Platoon auflösen (15m → 50m)	53s	1200m

Tabelle 6 Anforderungen Zeit und Streckenlänge der Platoon-Bildung und Platoon-Auflösung.

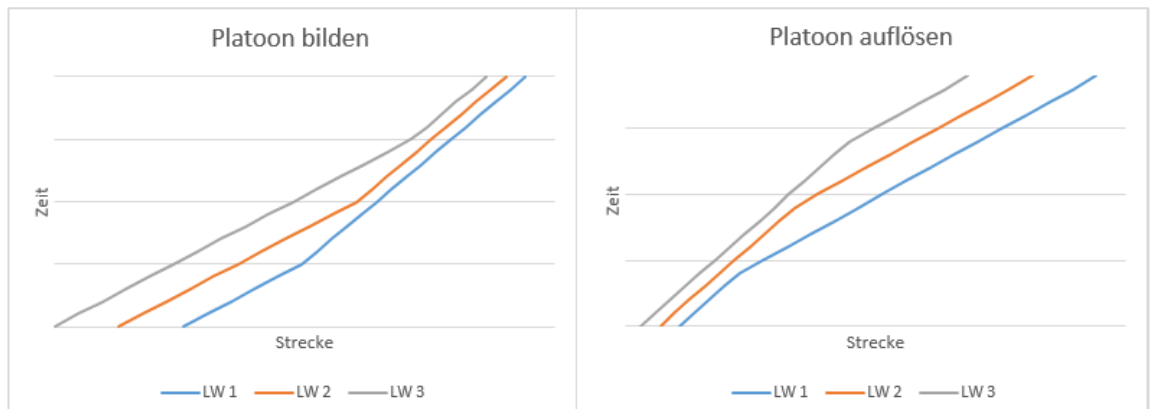


Abbildung 4 Überblick vom Ablauf der Platoon-Bildung und Platoon-Auflösung (schematisch)

Die Unterschiede der Streckenlänge zwischen dem Auflösen und Bilden ergeben aufgrund der unterschiedlichen Geschwindigkeit des führenden LW.

Betriebliche Abwicklung Platoon bei Tunnels

In Rücksprache mit Fachstellen des ASTRA wurde festgelegt, dass in Tunnels aus Sicherheitsgründen der Platoon-Verband ab einer Tunnellänge von 300 m aufgelöst und in einen offenen Verband mit LW-Abstand 100 m überführt werden muss. Dies in Anlehnung an die aktuellen Regelungen hinsichtlich Brandschutz in Tunnels. Beim Gotthard-Tunnel existieren weitergehende Regelungen, die zu einem erhöhten Sicherheitsabstand von 150 m führen.¹⁷

Die betriebliche Abwicklung erfolgt demnach aus einer Abfolge Platoon-Auflösung – Tunnelfahrt – Platoon-Bildung. Gestützt auf die Resultate aus dem vorigen Kapitel beginnt die Platoon-Auflösung jeweils 2.6 km vor dem Tunnel; 2.8 km nach dem Tunnel ist der Platoon-Verband wieder gebildet. Somit erstreckt sich die betriebliche Abwicklung bei einem kurzen Tunnel (300 Meter) auf 2.6 km + 0.3 km + 2.8 km = 5.7 km, bzw. Tunnellänge plus 5.4 km

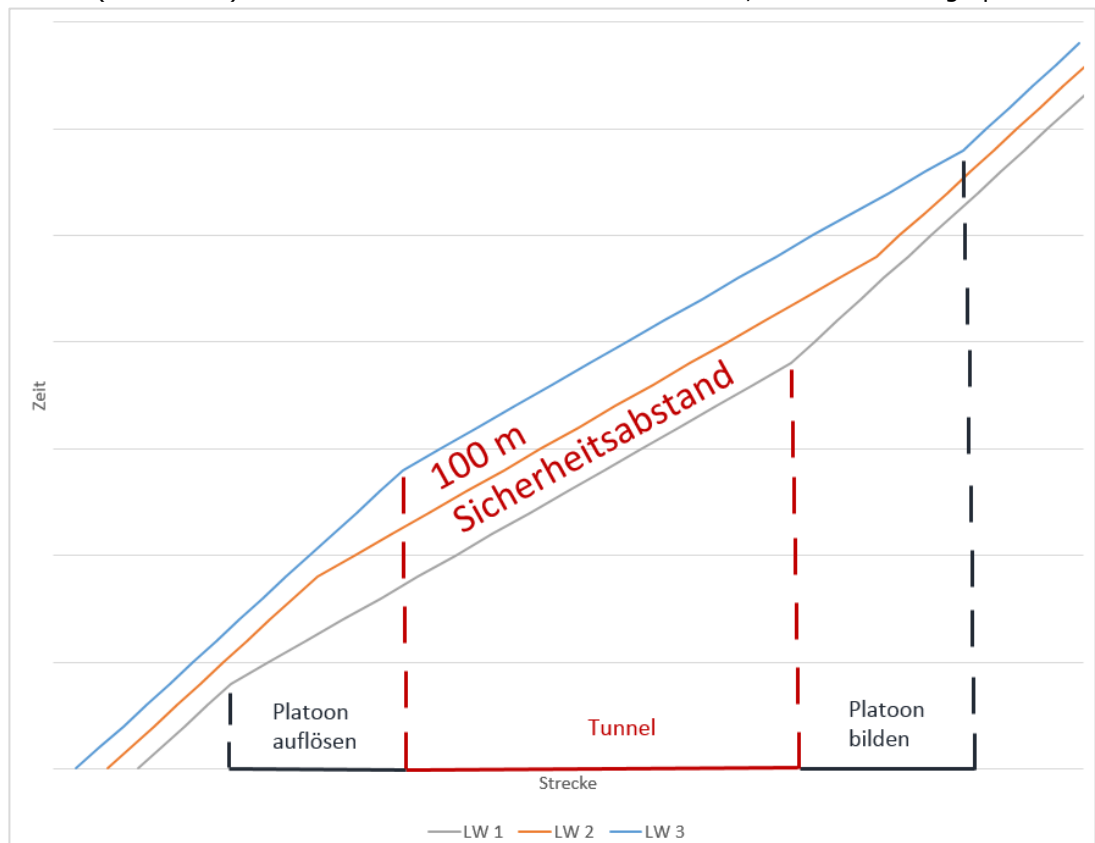


Abbildung 5 Platoon-Bildung und -Auflösung bei Tunnels oder Einfahrten (schematisch)

Demnach unterbricht ein Tunnel den Platoon-Verband auf einer Länge von mindestens 5.7 km. Damit ist alleine aufgrund der theoretischen Betrachtung klar, dass auf Strecken mit vielen Tunnels Platooning nicht zum Einsatz kommen kann. Wie dies sich auf konkrete Strecken des Schweizerischen Nationalstrassennetzes auswirkt, wird in Kapitel 4 ausgeführt.

¹⁷ <http://gotthardtunnel.eu/verkehr-gotthard/> (Abgerufen: 21.07.17)

Betriebliche Abwicklung Platoon bei Ein-/Ausfahrten

Der Vorgang bei Ein- und Ausfahrten ist weitgehend analog zu Tunnels. Da Ein- und Ausfahrten mehrheitlich auf der rechten Seite angeordnet sind, muss hier einerseits nach der Nutzung der rechten oder der linken Fahrspur für Platoons unterschieden werden, andererseits muss bei die Nutzung der rechten Fahrspur zwischen der Erfordnis den Platoon-Verband bei Einfahrten aufzulösen oder nicht differenziert werden.

Bei Nutzung der linken Fahrspur ist eine Platoon-Auflösung bei Ein-/Ausfahrten per se nicht erforderlich, sofern diese wie üblich auf der rechten Seite angeordnet sind. Insofern entspricht bei Nutzung der linken Fahrspur die betriebliche Abwicklung des Platoons derjenigen bei Tunnels.

Bei Nutzung der rechten Fahrspur kann bei Ein-/Ausfahrten sowohl eine Auflösung der Verband wie auch ein Verharren in der geschlossenen Formation betrachtet werden. Aus den beiden Zuständen resultieren unterschiedliche Konsequenzen.

Beim Verharren in der geschlossenen Formation entspricht die Nutzung der rechten Fahrspur der betriebliche Abwicklung bei Tunnels. Während ein geschlossener Platoon-Verband bei Ausfahrten kein grosses Hindernis darstellt, da sich die ausfädelnden Fahrzeuge vor der Ausfahrt hinter dem Platoon einreihen können, würde das Einfädeln der Fahrzeuge stark erschwert und massgebliche Verlängerungen der Einfahrtsstrecken erforderlich machen. In welchem Mass diese Verlängerungen erfolgen müssten, wäre abhängig von der Platoon-Länge. Jedoch belegt bereits ein Platoon mit 3 LW den rechten Fahrstreifen auf einem grossen Teil des Einmündungsbereichs. Hier wären detaillierte Untersuchungen erforderlich.

Um bei Nutzung der rechten Fahrspur eine minimale Durchlässigkeit für ausfädelnde Fahrzeuge bei Ausfahrten und für einfädelnde Fahrzeuge bei Einfahrten zu gewährleisten, kann der Platoon-Verband bei Ein-/Ausfahrten aufgelöst und in einem offenen Verband mit LW-Abstand 50m überführt werden, was einer LW-Folgezeit von rund 3 Sekunden entspricht (bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h). Gemäss Dietrich et al. (1993) erlaubt eine solche Grenzzeitlücke die Einmündung auf eine HLS.

Ab welchem Streckenpunkt bei Ein-/Ausfahrten der Platoon-Verband aufgelöst sein muss, damit Ausfahrten und Einfahrten „durch den Platoon hindurch“ stattfinden können, ist abhängig von der Platoon-Grösse. Bei Platoon-Verbänden mit mehr als drei LW ist denkbar, dass ab 500 m vor der Ausfahrt der Platoon-Verband bereits aufgelöst sein muss, damit sich die ausfädelnden Fahrzeuge auf der rechten Fahrspur frühzeitig einreihen können. Bei einem Platoon-Verband von 3 LW können sich die ausfädelnden Fahrzeuge auch kurzfristiger hinter dem Platoon-Verband einreihen und der Platoon-Verband müsste bei der Ausfahrt gar noch nicht aufgelöst sein, sondern erst zu Beginn der Einfahrt (siehe unten). Da dann aber der – für die Einfahrt erforderliche - Auflösungsprozess im Bereich der Ausfahrt beginnen müsste und für die ausfahrenden Fahrzeuge hinderlich wäre, soll auch bei kurzen Platoons die Auflösung des Verbands bereits 500 m vor der Ausfahrt abgeschlossen sein. Ein Ausfädeln durch den offenen Platoon-Verband hindurch, also vom linken Fahrstreifen durch den Platoon direkt auf die Ausfahrt, wäre zu gefährlich und darf nicht angenommen werden.

Ein anderes Bild zeigt sich bei Einfahrten. Wie oben ausgeführt, erlaubt eine Platoon-Auflösung auf LW-Abstand 50 m grundsätzlich das Einmünden. Hier ist die Grösse des

Platoon-Verbands nicht massgebend, wie oben ausgeführt belegt bereits ein Platoon mit 3 LW den rechten Fahrstreifen auf einem grossen Teil des Einmündungsbereichs. Die einmündenden Fahrzeuge reihen sich also in den offenen Platoon-Verband auf der rechten Spur ein. Der Platoon-Verband kann dann erst wieder geschlossen werden, wenn diese Fahrzeuge eine Zeitlücke in der linken Fahrspur finden, um zu überholen. Damit ist klar, dass der Platoon-Verband nicht bereits ab Ende Einfahrt in die geschlossene Form übergehen kann. Es wird angenommen, dass sich der Platoon-Verband erst rund 500 m nach der Einfahrt bilden kann.

Die Entwicklungslängen von Ein-/Ausfahrten betragen rund 1 km. Dieses Mass beruht auf der Messung mehrerer ausgewählter Einfahrten in der Schweiz. Diese Entwicklungslänge beinhaltet Ausfahrtslängen von rund 250 m und Einfahrtslängen von rund 300 m (gemäss Dietrich et al. 1993). Dieser Entwicklungslänge werden 500 m vor der Ausfahrt und 500 m nach der Einfahrt hinzugerechnet, so dass die Fahrlänge des aufgelösten Verbandes 2 km beträgt.

Die betriebliche Abwicklung erfolgt demnach hier aus einer Abfolge Platoon-Auflösung bis 500 m vor der Ausfahrt – Passieren Ein/Ausfahrtsbereich – Platoon-Bildung ab 500 m nach Einfahrt. Gestützt auf die Resultate aus Kap. 3.1.2 sind zur Platoon-Auflösung 1.1 km und zur Platoon-Bildung 1.2 km erforderlich. Somit erstreckt sich die betriebliche Abwicklung bei einer Ein-/Ausfahrt auf $1.1 \text{ km} + 2.0 \text{ km} + 1.2 \text{ km} = 4.3 \text{ km}$.

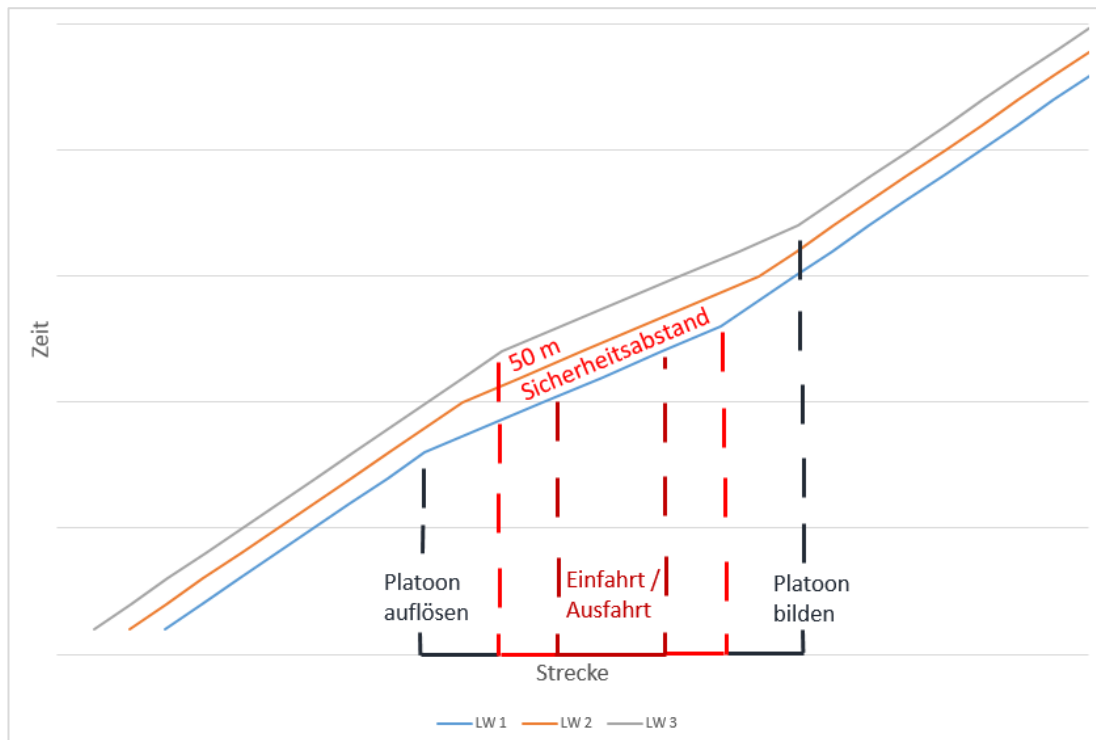


Abbildung 6 Platoon-Bildung und -auflösung bei Ein-/Ausfahrten (schematisch)

In diesem Sinn unterbricht eine Ein-/Ausfahrt den Platoon-Verband auf einer Länge von durchschnittlich 4.3 km. Damit ist alleine aufgrund der theoretischen Betrachtung klar, dass auf Strecken mit einer hohen Dichte an Ein- und Ausfahrten Platooning mit Auflösung auf der

rechten Fahrspur nicht zum Einsatz kommen kann. Wie dies sich auf konkrete Strecken des Schweizerischen Nationalstrassennetzes auswirkt, wird in Kapitel 4 ausgeführt.

Bremsen im Platoon-Verband

Bei den obigen Berechnungen wurden für die Bildung und Auflösung eines Platoon-Verbands ein Beschleunigungs- und Verzögerungswert von 0.5 m/s^2 und ein LW-Abstand von 15 m verwendet. Während der Beschleunigungswert aus Verträglichkeitsgründen hergeleitet wurde, stammt der LW-Abstandswert aus der Recherche in Kapitel 2. Bremsen ab Platoon-Geschwindigkeit 75 km/h mit einer Verzögerung von 0.5 m/s^2 auf Stillstand erfordert eine Strecke von rund 440 Metern. Somit müsste das führende Fahrzeug stets eine Sichtdistanz von 440 m besitzen.

Da sich ein Platoon-Verband im Gegensatz zur Bahn nicht auf einer gesicherten Fahrstrasse, sondern im freien Verkehrsfluss auf Sichtdistanz bewegt, muss mit Verkehrssituationen gerechnet werden, welche eine Bremsung erfordern, die über den Verzögerungswert von 0.5 m/s^2 hinausgeht. Für diese Situationen muss die Sicherheit sowohl des Platoon-Verbands wie auch der vorhergehenden Verkehrsteilnehmer nachgewiesen werden.

Gemäss ADAC können für eine leichte Betriebsbremsung Verzögerungswerte von 1.0 m/s^2 und für eine starke Betriebsbremsung solche von 2.5 m/s^2 eingesetzt werden (ADAC 2015). Für eine leichte Betriebsbremsung ist eine Strecke von 220 m und für eine starke Betriebsbremsung eine solche von 90 m bis zum Stillstand erforderlich. Hindernisse in rund 90 Metern Entfernung können demnach noch mit einer starken Betriebsbremsung bewältigt werden. Diese Bremsleistungen können von allen LW im Verband vorausgesetzt werden, so dass die LW innerhalb des Verbands nicht zu Schaden kommen.

Notbremsung im Platoon-Verband

Gemäss ADAC können für Voll- bzw. Notbremsungen auf trockener Fahrbahn maximale Verzögerungswerte von gegen 7.0 m/s^2 eingesetzt werden (ADAC 2015). Daraus resultiert für eine Bremsung von 75 km/h auf 0 km/h eine erforderliche Strecke von 35 Meter. Das heisst, im Notfall könnte der Platoon-Verband auch noch ein Hindernis in 35 Meter Entfernung bewältigen - vorausgesetzt, die LW sind über CACC vernetzt, so dass keine Reaktionszeit berücksichtigt werden muss.

Dieser Wert von 35 Meter für eine Notbremsung liegt deutlich über dem Platoon-Abstand von 15 Meter. Sollte für den zweiten Fall der führende LW abrupt zum Stehen kommen (Bsp. Kollision mit Brückenpfeiler), so würde der zweite LW bei Vollbremsung noch mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h in den führenden LW, und der dritte LW würde mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h in den zweiten LW fahren.

Da Platoons Zug-ähnliche Verbände darstellen, wäre deshalb zu überlegen, wie trotz freiem Verkehrsfluss Platoon-Verbänden eine quasi gesicherte Fahrstrasse angeboten werden könnte.

3.1.3 Kapazitäten und Leistungsfähigkeiten

Leistungsfähigkeiten von Ein-/Ausfahrten mit aufgelöstem Platoon

Bei kurzen Platoons mit 3 LW wäre die Leistungsfähigkeit von Ein- und Ausfahrten nicht beeinträchtigt, sofern davon ausgegangen werden kann, dass die einzelnen Kurz-Platoons in einem genügend grossen Abstand zueinander verkehren, so dass der Verkehrsfluss dazwischen nicht beeinträchtigt wird.

Für Platoons >3 LW würde die LW-Folgezeit von rund 3 Sekunden aus Kap 3.1.4 kurzzeitig die Leistungsfähigkeit von Einfahrten bestimmen. Da Platoons als punktuelle Ereignisse zu betrachten sind, können die Berechnung gemäss VSS 640 019 nicht herangezogen werden. Unter der Annahme, dass sich jeweils ein Fahrzeug innerhalb der LW-Folgezeit von 3 Sekunden zwischen zwei LW einfädeln kann, würde eine theoretische Leistungsfähigkeit der Einfahrt von 1'200 PWE/h resultieren. Dabei müssten alle einfahrenden Fahrzeuge jedoch ebenfalls als homogener Verband im Abstand von 3 Sekunden auf die Einmündungsstrecke einfahren und sich als idealer Reissverschluss in den Platoon-Verband einfügen. Dies könnte mit einer Rampenbewirtschaftung erreicht werden.

Analog würde die LW-Folgezeit von 3 Sekunden auch die Leistungsfähigkeit von Ausfahrten bestimmen. Hier kann davon ausgegangen werden, dass die Einreihung der ausfädelnden Fahrzeuge in den Platoon-Verband problemloser erreicht und die theoretische Leistungsfähigkeit von 1'200 PWE/h als obere Grenze verwendet werden kann. Entscheidender sind hier die Leistungsfähigkeiten der Ausfahrten selber in Abhängigkeit der signalisierten Geschwindigkeit am Ende der Ausfahrt, der Kurvigkeit, sowie der Leistungsfähigkeit eines folgenden Sekundärknotens.

Erkenntnisse für die betriebliche Umsetzung von Platooning in der Schweiz

- Die Platoon-Bildung erfolgt mit Vorteil auf der Strecke.
- Die Platoon-Geschwindigkeit liegt tiefer als die zulässige Höchstgeschwindigkeit.
- Die Konstellation von Platoons muss das Brems- und Beschleunigungsvermögen sowie den Ladungsmix der einzelnen Fahrzeuge berücksichtigen.
- Als Platoon-Grösse werden 3 LW vorgeschlagen.
- Als Abstand zwischen Fahrzeugen im Platoon werden 15 m vorgeschlagen
- Bei Tunnels ab einer Länge von 300 Metern muss der Platoon-Verband auf Fahrzeug-Abstand 100 m aufgelöst werden.
- Bei Ein-/Ausfahrten würde der Platoon-Verband auf Fahrzeug-Abstand 50 m aufgelöst. Das Erfordernis den Platoon-Verband aufzulösen ist abhängig von der Fahrspur.
- Unter Befolgung der geltenden Rechtsetzungen verkehren Platoons auf der rechten Fahrspur. Platoons auf der linken Fahrspur würden betriebliche Vorteile bieten, erfordern jedoch gesetzliche Anpassungen.
- Platoons auf der rechten Fahrspur sind mit oder ohne Auflösung bei Ein-/Ausfahrten denkbar. Platoons auf der linken Fahrspur erfordern keine Auflösung.
- Platoons auf der rechten Fahrspur ohne Auflösung bei Ein-/Ausfahrten würden betriebliche Vorteile bieten, erfordern jedoch Verlängerungen der Einfahrtsstrecken. Weiter wären vertiefte Untersuchungen hinsichtlich Sicherheit erforderlich.

3.2 Anforderungen von Platooning an die Infrastruktur

Ein Platoon-Verband stellt eine Gewichts- und Impulsmasse dar, die in Dimensionierungs-Grundlagen für Hochleistungsstrassen nicht berücksichtigt ist. Bezüglich der Einwirkungen eines Platoons auf die Infrastruktur können statische (bei stehendem Verkehr) und dynamische (bei fahrendem Verkehr) unterschieden werden. Als Infrastruktur werden der Strassenkörper mit seinen Komponenten sowie Kunstbauten wie Brücken oder Tunnels verstanden.

Auf den Strassenkörper, bestehend aus Unterbau, Tragschicht und Deckschicht, werden vom Platooning keine Einwirkungen (statisch und dynamisch) erwartet, welche kritisch werden könnten. Weiter sind keine neuen Lastfälle aus Platooning auf den Strassenkörper ableitbar, weshalb folgend nur punktuell auf Anforderungen an den Strassenkörper eingegangen wird. Hingegen könnte Platooning bei Kunstbauten zu statischen und dynamischen Belastungen führen, auf die bestehende Bauwerke nicht dimensioniert sind.

Für Kunstbauten auf Hochleistungsstrassen bestehen generelle Konzeptions- und Bemessungsvorgaben, wie Tragwerksnormen des SIA und Richtlinien des Bundesamts für Strassen. Im Einzelfall werden Kunstbauten jedoch objektweise dimensioniert, d.h. jede Brücke und jeder Tunnel wird aufgrund der Lage und Ausprägung im Sinne eines Einzelobjekts auf statische und teilweise auch dynamische Einwirkungen ausgelegt. Entsprechend wäre bei neuen Einwirkungen der statische und dynamische Nachweis aller betroffenen Einzelobjekte erforderlich. Für eine erste Triage kann das Alter der Bauwerke berücksichtigt werden, denn im Verlaufe von Normerneuerungen haben sich diverse Dimensionierungs-Anforderungen verschärft oder wurden neu eingeführt. Grundsätzlich sind bei neueren Anlagen höhere statische (Last) oder dynamische Einwirkungen (Erdbeben) berücksichtigt.

3.2.1 Statische Einwirkungen

Die statischen Einwirkungen umfassen mögliche Lastfälle für den stehenden Verkehr (Stau). Die Last-Dimensionierung erfolgt über eine verteilte Grundlast und erhöhte einzelne Achslasten. Für den Platoon-Verband müsste geprüft werden, inwiefern aus Platoon-Verbänden mit 40 Tonnen LW Achslasten resultieren, welche im ordentlichen Fall ungenügend berücksichtigt sind.

Massgebender Lastfall für eine Brücke bildet der Stau mit einer Konzentration der LW am rechten Rand der Fahrbahn. Aus dieser Last resultiert ein Drehmoment, welches vom Brückenkörper und der Stützenverbindung aufgenommen werden muss. Dies akzentuiert sich auf 6-spurigen Brücken mit mittliegender Stützenreihe und/oder starker Krümmung und/oder starker Steigung (Bsp. Felsenaubücke Bern).

Eine Konsultation bei Rapp Infra, Abteilung Tragwerke, ergab, dass pauschal aus Platooning keine statischen Einwirkungen bei Kunstbauten zu erwarten sind, welche deren Traglast überschreiten. In Abhängigkeit des Bauwerkalters und der Konstruktionsart empfiehlt Rapp Infra, vorgängig zu Pilotprojekten oder der Einführung von Platooning gezielt vertiefte Untersuchungen an ausgewählten Objekten durchzuführen.

Im Ausland sind oft Last-Restriktionen bei Brücken anzutreffen. In der Literatur-Recherche wurden solche Restriktionen auch explizit genannt (vgl. Kap A.1.8). In der Schweiz sind auf

dem Hochleistungsstrassennetz Last-Restriktionen bei Brücken nicht bekannt. Sollten sich in der Prüfung von Einzelobjekten durch die statischen Einwirkungen unzulässige Belastungen ergeben, so wäre die Auflösung der Platoons auch bei Brücken oder die Einführung spezieller Geschwindigkeits-Limiten für Platoons ins Auge zu fassen. Damit würde jedoch die Praktikabilität von Platooning nochmals deutlich geschwächt.

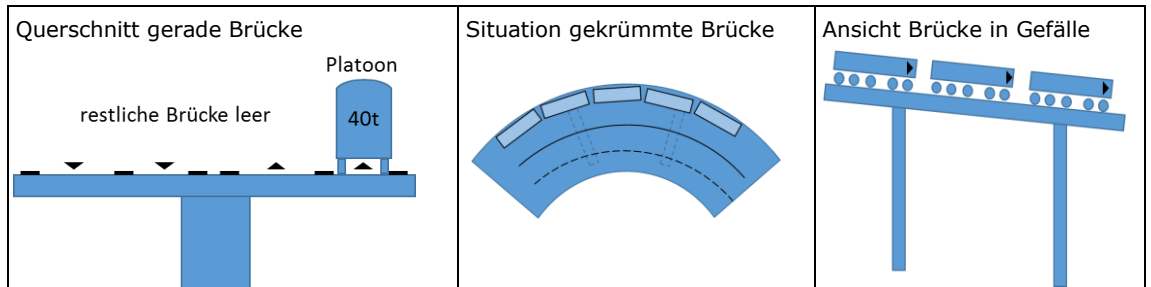


Abbildung 7 Lastfälle Platoon auf Brücken

3.2.2 Dynamische Einwirkungen

Die dynamischen Einwirkungen umfassen mögliche Lastfälle für den fahrenden Verkehr. Analog zu den Erkenntnissen aus der Studie zu Gigalinern (ASTRA 2011) wird davon ausgegangen, dass auf Hochleistungsstrassen die ständigen dynamischen Einwirkungen wie Erschütterung oder Lastzyklen keine neuen Lastfälle darstellen. Vorgängig zu Pilotprojekten oder der Einführung von Platooning sollte jedoch die Übertragbarkeit dieser Resultate auf Platooning geprüft werden.

Abrupte Geschwindigkeitswechsel wie Bremsen mit den daraus resultierenden horizontalen Kräften stellen hingegen für Brücken bedeutende Lastfälle dar. Hier entsteht aus der Vollbremsung eines Platoon-Verbands ein beträchtlicher Impuls, der durch die festen Widerlager aufgenommen werden muss. Diese Kräfte könnten die entsprechenden Lagernocken schädigen, hingegen wird der Brückenkörper selber strukturell nicht zu Schaden kommen. Inwiefern ein solcher Impuls tatsächlich zu Schädigungen an den Widerlagern führen könnte, wäre vorgängig zu Pilotprojekten oder der Einführung von Platooning zu prüfen. Betriebsbremsungen hingegen sollten keine Schädigungen hervorrufen; Bremsvorgänge im Gefälle verstärken jedoch die Belastung.

Weiter stellen Bremsvorgänge bei hohen Temperaturen auf Brücken eine Belastung für die Fahrbahn-Beläge dar. Eine Vollbremsung eines Platoonverbands könnte zu verstärkter Spurrinnenbildung bis zum Walken des Fahrbahnbelags vor den Pneu führen. Dies ist darin begründet, dass auf Brücken einerseits die Maximaltemperaturen höher liegen, andererseits der Belag infolge des festen Unterbaus dünner und meist auf einer doppelagigen Bitumenfolie verklebt ist. Insgesamt ist die Gefahr der Belagsdeformationen höher als beim geschütteten Strassenkörper.

Bei geneigten Brücken bewirken abwärts fahrende Platoon-Verbände einerseits verstärkte Vibrationen aus starken Lastzyklen, welche je nach Lagerungsart geringe Horizontalkomponenten aufweisen, andererseits wirken vermehrte Bremswirkungen auf die festen Lager ein. Vorgängig zu Pilotprojekten oder der Einführung von Platooning sollten derartige Brückenobjekte auf Einwirkungen aus intensivem Schwerverkehr verifiziert werden.

Erkenntnisse für die infrastrukturelle Umsetzung von Platooning in der Schweiz

- Die durch Platoons entstehenden statischen Einwirkungen sollten nicht zu unzulässigen Belastungen von Brücken führen. Es sollten jedoch vorgängig zu Pilotprojekten oder der Einführung von Platooning eingehende Untersuchungen zu den möglichen Konsequenzen für die Tragsicherheit von Tragwerken und Kunstbauten vorgenommen werden.
- So müsste geprüft werden, inwiefern aus Platoon-Verbänden Achslasten resultieren, welche über den statischen vertikalen Normlasten zu liegen kommen.
- In Abhängigkeit des Bauwerkalters und der Konstruktionsart wird zudem empfohlen, an ausgewählten Brückenobjekten vertiefte Untersuchungen zur Statik durchzuführen.
- Bezüglich den dynamischen Einwirkungen ist den Bremskräften besondere Aufmerksamkeit zu schenken. So ist das Schädigungspotenzial auf Widerlager-Elemente sowie bei hoher Temperatur auf die Fahrbahn zu untersuchen.
- Weiter wären vorgängig zu Pilotprojekten oder der Einführung von Platooning dynamische Effekte bei Fahrbahnübergängen, bei Widerlagern und eventuell auch über den Stützen vertieft zu betrachten. Eventuell wären auch Schwingungs- und Resonanzprobleme in die Betrachtung einzubeziehen.
- Geneigte Brücken wären auf weitergehende dynamische Einwirkungen aus intensivem Schwerverkehr zu untersuchen.
- Allgemein wird erwartet, dass die Konsequenzen aus den dynamischen Einwirkungen umso grösser ausfallen werden, je umfangreicher ein Platooning-Verband wäre.
- Würden unzulässige Lasteinwirkungen nachgewiesen, müssten Platoon-Verbände bei Brücken aufgelöst oder spezielle Geschwindigkeits-Limiten eingehalten werden.

4 Charakteristika Strassennetz Schweiz

Für eine Beurteilung der Chancen und Risiken einer Einführung von Platooning in der Schweiz werden im folgenden Kapitel die Charakteristika des Schweizer Strassennetzes und dessen gesetzliche Rahmenbedingungen untersucht.

4.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Eine detailliertere Erläuterung der gesetzlichen Rahmenbedingungen ist im Anhang C ersichtlich. Zusammengefasst sind folgende Rahmenbedingungen für das Platooning wesentlich:

- Der LW hat ausserorts bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h einen Sicherheitsabstand von 100m zu halten (vgl. VRV Art. 5 Abs.1 resp. VRV Art. 10 Abs. 3).
- Andere motorisierte Strassenbenutzer sind grundsätzlich verpflichtet einen „ausreichenden“ Abstand zu wahren, so dass er auch bei überraschendem Bremsen des voranfahrenden Fahrzeugs rechtzeitig halten kann (vgl. VRV Art. 12 Abs. 1). Für die Quantifizierung dieser Rechtslegung hat das Verkehrsrecht Schweiz folgende zwei Faustregeln angegeben.
 - „2-Sekunden-Regel“: 21 – 22 zählen
 - „halber Tacho-Regel“: Der Abstand zum vorderen Fahrzeug soll in Metern mindestens halb so lang sein wie die Geschwindigkeit in Stundenkilometern¹⁸
- Der Alpenschutzartikel verbietet die Kapazitätserhöhung des alpenquerenden Verkehrs. Inwiefern das Platooning in diesem Sinn als Massnahme zur Kapazitätserhöhung gilt, ist unklar und muss genauer untersucht werden.
- Für LW existiert zusätzlich das Sonntags- und Nachtfahrverbot. Dennoch ist aufgrund der Rechtslegung nicht auszuschliessen, dass eine Ausnahmegewilligung für ein mögliches Pilotprojekt eingeholt werden kann (detailliertere Informationen im Anhang C).

4.2 Topologie Nationalstrassennetz

In der Recherche sind vielfach betriebliche Restriktionen für Tunnels, Brücken und Einfahrten / Ausfahrten für Platoons genannt worden. Entsprechend ist deren Verteilung und Häufigkeit relevant.

4.2.1 Betrachtung ganze Schweiz

Das Schweizer Nationalstrassennetz wird zwei- bis sieben-spurig geführt. 2- und 3-spurige Achsen gelten als Autostrassen, Achsen mit 4 Spuren oder mehr als Autobahnen. Der Grosse Teil des Netzes ist 4-spurig.

	Autobahnen		Autostrassen		Total
7-spurig	6-spurig	4-spurig	3-spurig	2-spurig	
1.2 km	83.5 km	1352.2 km	1.9 km	286.8 km	1725.6 km

Tabelle 7 Anteile Nationalstrasse nach Anzahl Fahrspuren (ASTRA, Quelle nicht öffentlich)

¹⁸ <https://www.verkehrs-recht.ch/fliessender-verkehr-allgemein/zu-nahe-nachfahren-draengeln> (Abgerufen: 18.04.2017)

Im Vergleich zu anderen Nationen ist das Schweizerische Nationalstrassennetz durch eine hohe Dichte an Ein- und Ausfahrten gekennzeichnet. Zusätzlich führen zahlreiche Raststätten zu weiteren Ein- und Ausfahrten. Als Folge davon existieren keine langen Strecken ohne Unterbrechungen, eine Ausnahme stellen längere Tunneln dar. Eine weitere Charakteristik des Schweizer Nationalstrassennetzes sind Tunneln und Brücken in längenmässig variabler Ausprägung. Längere Tunneln sind vor allem in den alpenquerenden Regionen, längere Brücken hingegen vor allem im Südwesten der Schweiz vorhanden.

Die Topologie des Schweizer Nationalstrassennetzes wurde auf Basis von bestehenden Geodaten des Bundes hergeleitet und als Karte visualisiert. Die Nationalstrassen wurden in Abschnitte zwischen Ein- und Ausfahrten unterteilt und nach Länge kategorisiert. Dies beinhaltet auch die Ein- und Ausfahrten der Raststätten. Zusätzlich wurden Tunneln, Brücken und sechsspurige Abschnitte dargestellt. Eine detaillierte Karte ist im Anhang C.1.5 ersichtlich.

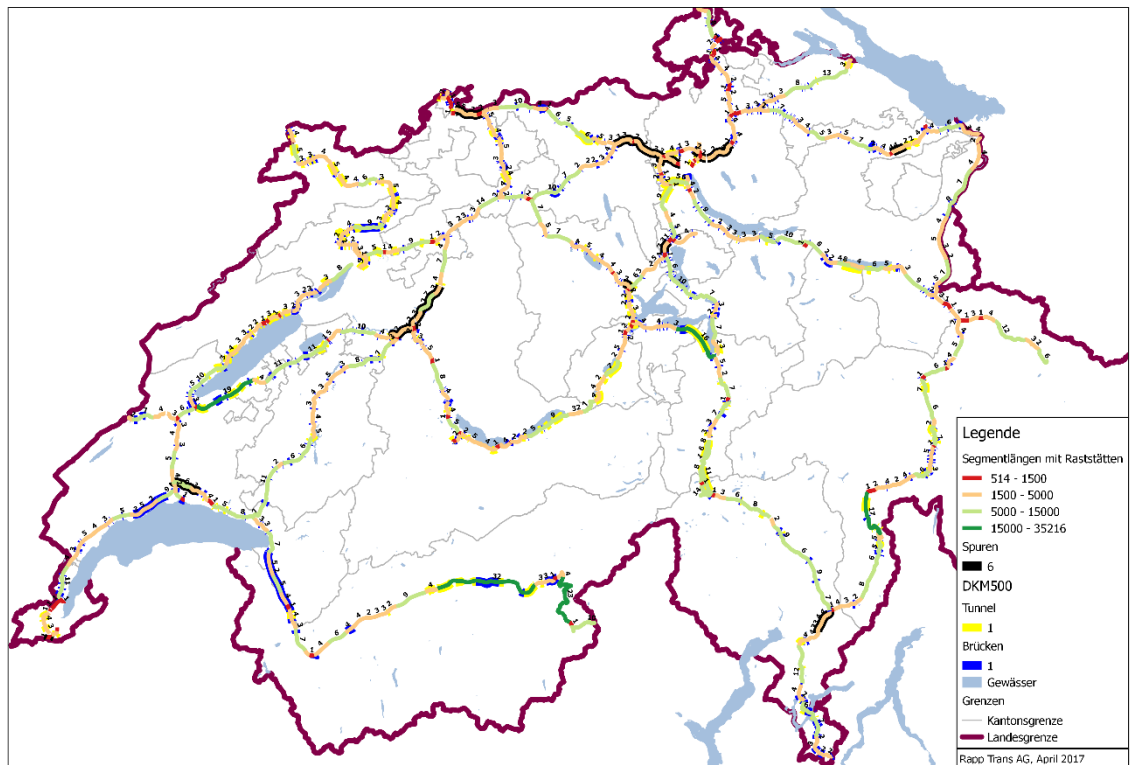


Abbildung 8 Übersicht Topologie Schweizer Nationalstrassennetz

Die Abschnittslängen wurden zusätzlich statistisch aufbereitet.

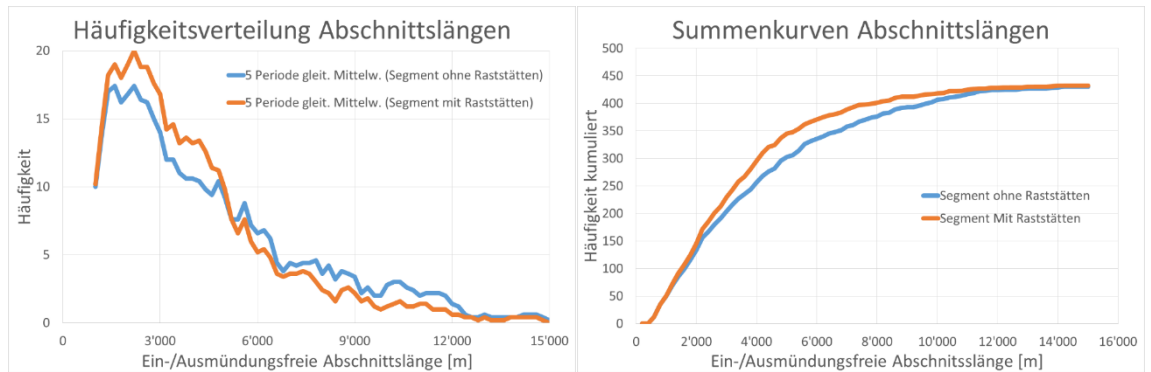


Abbildung 9 Häufigkeitsverteilung und Summenkurven der Abschnittslängen Schweizer Nationalstrassennetz

Aus der Übersicht ist erkennbar, dass das Schweizer Nationalstrassennetz durch kurze Streckenabschnitte charakterisiert ist mit einer Mehrzahl der Abschnitte in der Länge von 1.5 km bis 3 km.

4.2.2 Betrachtung Raum Bern – Lausanne

Experten haben im Vorfeld die Strecke zwischen Bern und Lausanne (A1) als mögliches Ziel für das Platooning genannt. Dieser Streckenabschnitt weist in der Tat relativ wenige Ein- und Ausfahrten aus, hingegen existieren einige Tunneln und Brücken. Weitere begünstigende Aspekte der Strecke sind das geringe Verkehrsaufkommen und die durchgängig vierspurige Fahrbahn (inklusive Tunneln).

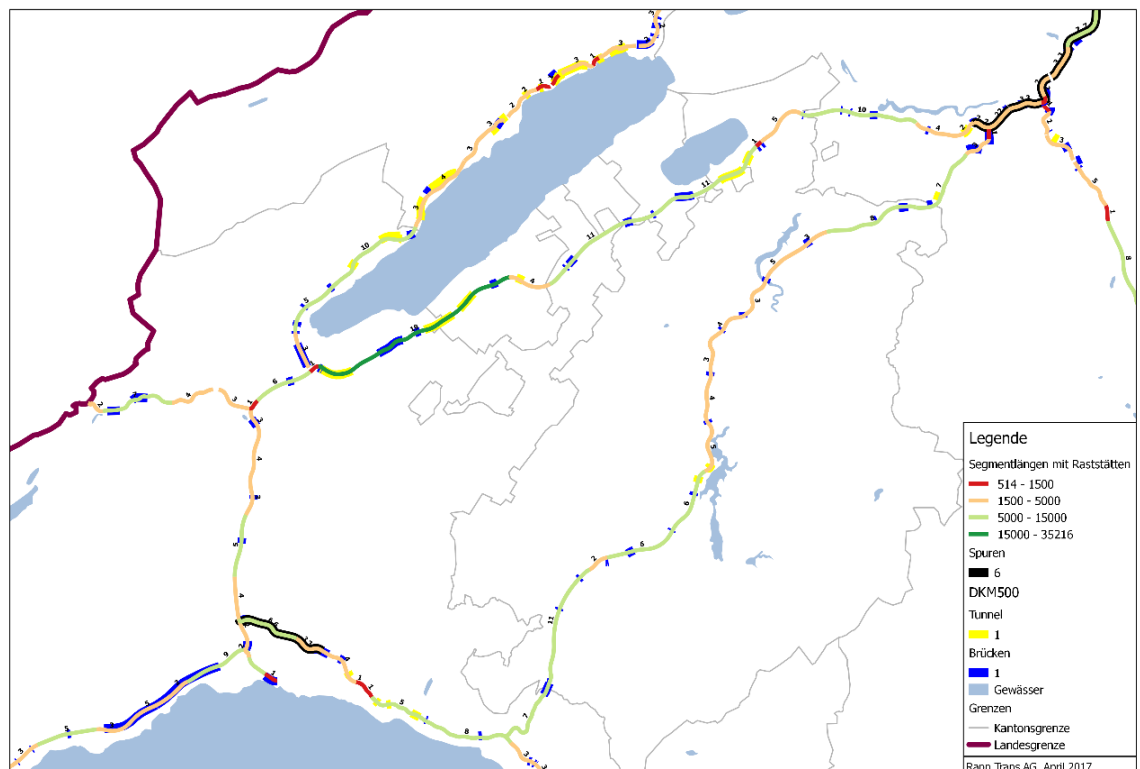


Abbildung 10 Übersicht Topologie Raum Bern - Lausanne

Eine weitere potenzielle Strecke liegt zwischen Bern und Vevey über die A12. Auf dieser ca. 74 km langen Strecke sind 14 Einfahrten zu berücksichtigen, hingegen keine längeren Tunnels oder Brücken. Auch auf dieser Strecke ist das Verkehrsaufkommen relativ gering und sie ist durchgängig vierspurig.

Der hohe Anteil an längeren Abschnitten zeigt sich auch in den Häufigkeitsverteilungen.

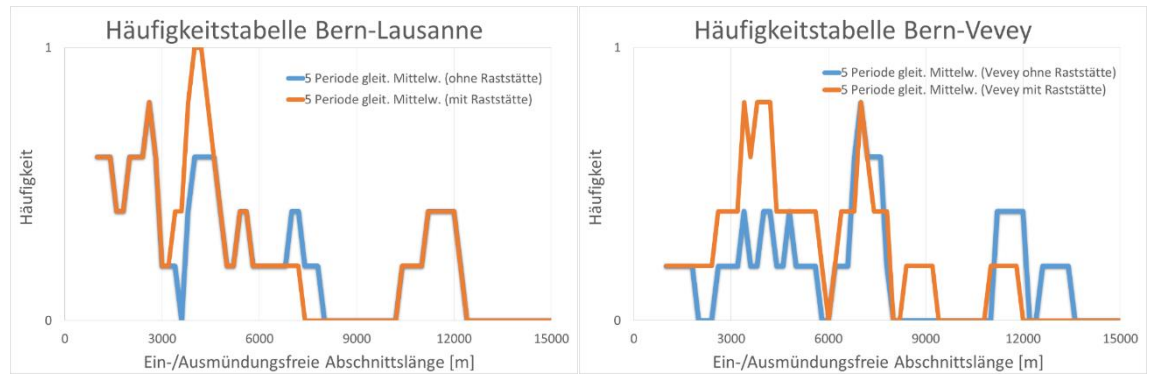


Abbildung 11 Häufigkeitsverteilung zwei Achsen Raum Bern – Lausanne

4.3 Baustellen und Projekte

Zur Gewährleistung eines langfristig funktionierenden Nationalstrassennetzes wird Instandhaltungsmassnahmen und Ausbaumassnahmen eine hohe Priorität eingeräumt. Während der betriebliche Unterhalt zu kurzfristigen Einschränkungen mit temporären Spurreduktionen führen kann, bewirken Massnahmen des baulichen Unterhalts und des Werterhalts saisonale Baustellen. Längerfristige Beeinträchtigungen entstehen durch Erneuerungs- und Ausbaumassnahmen.

Mit den im Rahmen des NAF definierten strategischen Entwicklungsprojekten (STEP) werden verschiedene Engpassbeseitigungen (NEB) langjährige Baustellen auslösen. Diese führen zu vorübergehenden Kapazitätsreduktionen und veränderten Spurführungen. Beide Einflüsse beeinflussen die Tauglichkeit solcher Streckenabschnitte für Platooning.

Für einen Pilotversuch scheint es sinnvoll, Streckenabschnitte ohne oder mit möglichst wenigen Baustellen zu befahren. Ob grundsätzlich ein Platooning auf Baustellen stattfinden kann, muss genauer untersucht werden. Es ist davon auszugehen, dass während der Einführungsphase Platooning auf Strecken mit Baustellen nicht zulässig ist.

5 Anwendung der Ergebnisse auf die Schweiz

Im nachfolgenden Kapitel die betrieblichen Gesetzmässigkeiten auf das Schweizer Nationalstrassennetz appliziert und deren Auswirkungen beschrieben.

5.1 Platooning-Betrieb mit Auflösung

Mit den in den vorhergehenden Kapiteln erarbeiteten Grundlagen und Parametern wird der Platooning-Betrieb in der Schweiz nachgebildet. Dabei werden Fahrten auf der Nord/Süd- und West/Ost-Achse (A2 resp. A1) und auf den als Teststrecken vorgeschlagenen Abschnitten Bern – Lausanne und Bern - Vevey betrachtet. Gemäss Grundlagen wird der Platoon-Verband bei Tunnels und Ein-/Ausfahrten aufgelöst. Die in der Summe verbleibende Streckenlänge "Fahren im Platoon" wird mit der totalen Streckenlänge in ein Verhältnis gesetzt und als Koeffizient ausgewiesen. Dieser Koeffizient dient zur Veranschaulichung des Potentials von Platooning pro Achse.

Der Koeffizient wird einerseits als theoretischer Wert mit Berücksichtigung aller zu fahrenden Meter im Platoon ausgewiesen und zum anderen als praxisbezogener Wert, bei welchem ein Platoon erst dann gebildet wird, wenn mindestens eine Distanz von 2 km im Platoon gefahren werden kann.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in der folgenden Tabelle ersichtlich. Die Details zur Berechnung stehen im Anhang B.1.1.

	Theoretischer Koeffizient	Praxisbezogener Koeffizient
Nord-/Süd-Achse (A2)	11%	8%
West-/Ost-Achse (A1)	15%	12%
Bern – Lausanne	24%	21%
Bern – Vevey	22%	17%

Tabelle 8 Platooning-Potenzial mit Auflösung auf ausgewählten Achsen; Koeffizient: Streckenlänge im Platoon / Streckenlänge Total

Streckenbezogen veranschaulichen untenstehende Diagramme der West-/Ost-Achse (A1) die Abfolge von Platoon-Bildung, Fahren im Platoon, Platoon-Auflösung und Fahren im aufgelösten Zustand mit der Streckenkilometrierung auf der Abszisse und dem Abstand zwischen den Fahrzeugen auf der Ordinate. Im ersten Diagramm, welches die Herleitung des theoretischen Koeffizienten darstellt, sind die bei Ein-/Ausfahrten häufigen kurzen Platoon-Bildungen auffallend, welche im zweiten Diagramm für den praxisbezogenen Koeffizienten eliminiert werden.

Analoge Grafiken für die Nord-/Süd-Achse (A2) und die beiden Teststrecken Bern-Lausanne und Bern-Vevey sind im Anhang B.2.1 einsehbar.

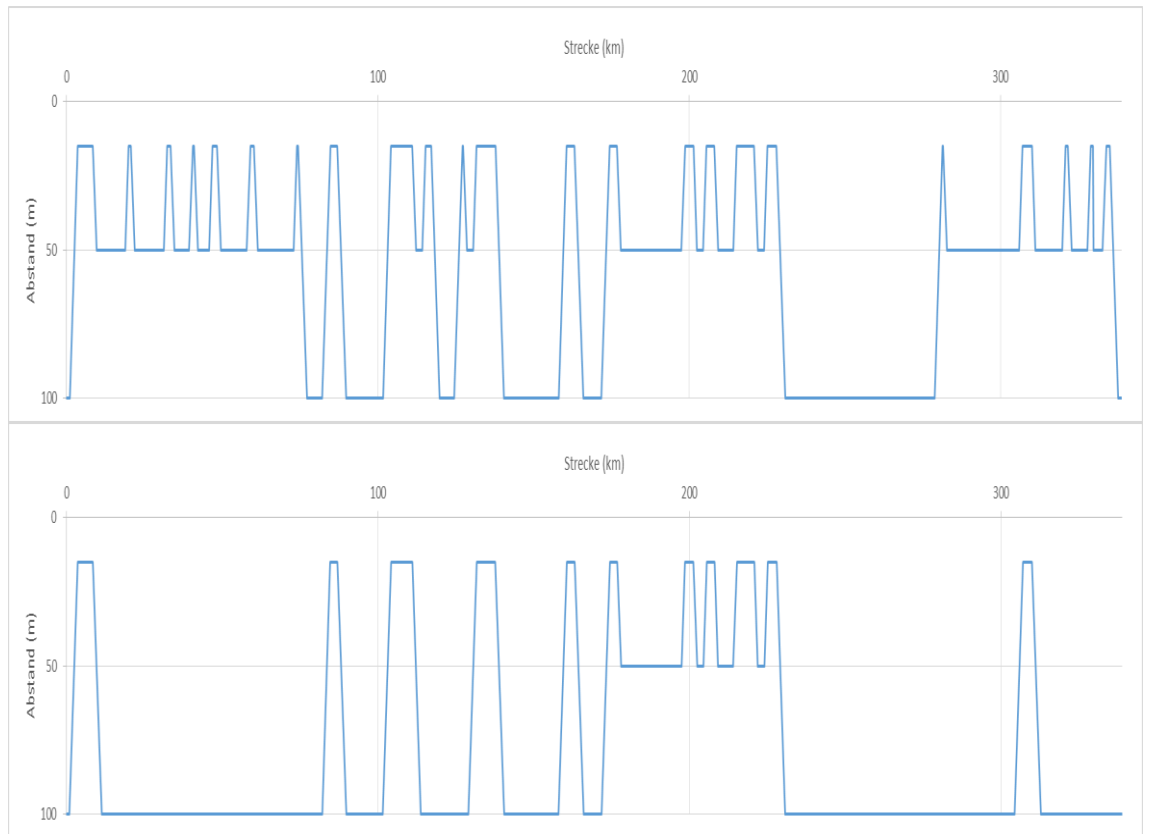


Abbildung 12 Verlauf Platoon mit Auflösung auf der Strecke A1; oben theoretisch, unten: praxisbezogen

Erkenntnis für die Umsetzung von Platooning in der Schweiz

- Platooning auf der rechten Fahrspur mit Auflösung ergibt – zumindest bei den betrachteten Achsen - infolge der vielen Zustandswechsel nur kurze Platoon-Strecken von wenigen Kilometern und ist in diesem Sinn nicht wirtschaftlich und nicht praktikabel.

5.2 Platooning-Betrieb ohne Auflösung

Wie in Kapitel 3.1.2 ausgeführt wird, würde ein Verkehren des Platoons ohne Auflösung bei Ein- und Ausfahrten Vorteile bieten. So müsste nur bei Tunnels eine Platoon-Auflösung erfolgen. Wie gross das Platooning-Potential ohne Auflösung ist, wird in analoger Weise zum vorigen Kapitel hergeleitet. Es werden die gleichen Strecken mit den gleichen Parametern betrachtet.

	Theoretischer Koeffizient	Praxisbezogener Koeffizient
Nord-/Süd-Achse (A2)	49%	48%
West-/Ost-Achse (A1)	82%	82%
Bern – Lausanne	48%	44%
Bern – Vevey	83%	83%

Tabelle 9 Platooning-Potenzial in der Schweiz (ohne Auflösung)

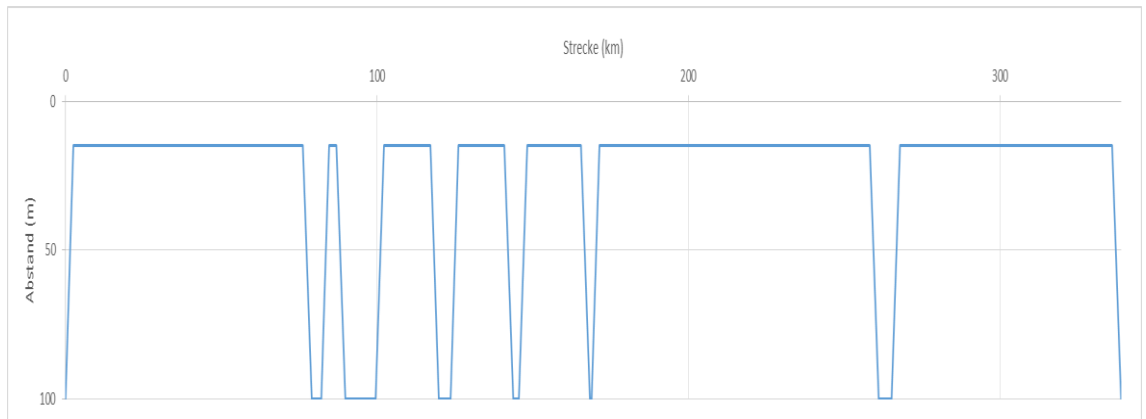


Abbildung 13 Verlauf Platoon ohne Auflösung auf der Strecke A1; praxisbezogener Koeffizient



Abbildung 14 Verlauf Platoon ohne Auflösung auf der Strecke Bern - Vevey; praxisbezogener Koeffizient

Im Anhang B.2.2 sind alle Strecken mit jeweils dem theoretischen und praxisbezogenen Koeffizienten dargestellt.

Erkenntnis für die Umsetzung von Platooning in der Schweiz

- Platooning ohne Auflösung ergibt je nach Tunnel-Häufigkeit angemessen lange Platoon-Strecken und könnte wirtschaftlich und praktikabel sein.
- Eine mögliche Ausprägung für Platooning ohne Auflösung wäre die Anordnung von Platooning auf der linken Fahrspur. Die gesetzlichen Anpassungen dazu wären im Detail zu betrachten.
- Für Platooning ohne Auflösung auf der rechten Fahrspur wären Aspekte der Sicherheit genauer zu untersuchen.

6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

6.1 Motivation und Treiber

Die Literatur-Recherche und die Experten-Interviews haben gezeigt, dass unterschiedliche und auch widersprüchliche Erwartungshaltungen von Seiten der Fahrzeughersteller, der Transport-Logistik und den Behörden hinsichtlich Betriebstauglichkeit und Markteinführung von Truck-Platooning vorliegen.

Während Behörden mit einem baldigen Markteintritt rechnen, sich hingegen aufgrund der noch unklaren Anforderungen an Infrastruktur und Betrieb in Zurückhaltung üben, erwartet die Transport- und Logistik-Branche ein aktives Voranschreiten vonseiten der Infrastrukturbetreiber. Die Logistiker wären bereit, in die neue Technologie zu investieren, sobald die entsprechenden rechtlichen Rahmenbedingungen geschaffen wären. Die Fahrzeughersteller ihrerseits nutzen Truck-Platooning als Experimentierfeld für Vorstufen des automatisierten Fahrens bei Fahrzeugen, bewegen sich aber aufgrund Sicherheits-, Haftungs- und Regulierungs-Unklarheiten vorläufig noch auf Stufe Prototypen und Feldversuche.

Ein eigentlicher Treiber der Entwicklung ist nicht erkennbar. In den Experten-Interviews konnte denn auch weder bei den Fahrzeugherstellern noch bei Logistikern ein valabler Business-Case eruiert werden. Die genannte Treibstoff-Einsparung durch Platoon-Bildung wird heute durch spontane LW-Konvois, in welchen mittels Abstandshaltesystemen in (unzulässig) kurzen Abständen hintereinander gefahren wird, bereits weitgehend aktiviert. Die ebenfalls genannte Erhöhung der Produktivität des Chauffeurs durch Erholungsphasen kann erst bei Erreichen der Automatisierungsstufe 4 (nach SAE) erreicht werden und bildet kurzfristig ebenfalls kein Potenzial.

In der Summe muss davon ausgegangen werden, dass der kommerzielle Einsatz von Truck-Platooning erst mittelfristig erwartet werden darf. In den nächsten Jahren werden jedoch breit angelegte Feldversuche in vielen Ländern das Thema aktuell halten.

6.2 Betriebliche und infrastrukturelle Restriktionen

In den Experten-Interviews wurden grundsätzliche Zweifel bezüglich der Sinnhaftigkeit der Einführung von Truck Platooning in der Schweiz geäußert. In betrieblicher Hinsicht konnten diese Zweifel durch modellhafte Anwendungen bestätigt werden. Unter Berücksichtigung der geltenden Gesetze, d.h. Nutzung der rechten Fahrspur und Auflösung des Platoon-Verbands bei Ein-/Ausfahrten und bei Tunnels kann nur maximal ein Viertel der Strecke im Platoon gefahren werden. Hinzu kommen in der Modellbetrachtung nicht berücksichtigte Faktoren, wie Einfluss und Akzeptanz anderer Verkehrsteilnehmer, Steigungen, Brücken und Kurven.

Dies führt zur Schlussfolgerung, dass für Platooning mit Auflösung das Potenzial in der Schweiz in der Tat begrenzt ist. Auch diesbezügliche Pilotprojekte können nicht empfohlen werden, da die Voraussetzungen für erfolgreiche Resultate nicht gegeben sind und die Akzeptanz für Platooning auf Jahre hinaus leiden könnte.

Wird jedoch als Betriebsform Platooning ohne Auflösung gewählt – sei es durch Nutzung der rechten oder der linken Fahrspur – dann könnten bis zu drei Viertel der Strecken im Platoon gefahren werden, womit betriebstaugliche Voraussetzungen geschaffen wären.

Im Falle der Nutzung der rechten Fahrspur wären jedoch Abklärungen zu Anpassungen der Einfahrtsstrecken an die Hand zu nehmen. Tendenziell müssten diese namhaft verlängert werden. Für den Fall der Nutzung der linken Fahrspur wären die gesetzlichen Grundlagen entsprechend anzupassen und Abklärungen hinsichtlich Verkehrssicherheit einzuleiten.

Auch wenn die Nutzung der linken Fahrspur für Platooning auf den ersten Blick abenteuerlich erscheint, zeigen bestehende Situationen im Ausland auf zweistreifigen Autobahnen mit einer quasi geschlossenen Lastwagen-Kette auf der rechten Fahrspur (z.B. Inntal-Autobahn), dass für die verbleibenden PW ein viel einfacherer Zustand geschaffen wäre, wenn Ein- und Ausfahrten nicht jeweils durch die Lastwagen-Kette hindurch erfolgen müssten.

6.3 Leistungsfähigkeit

Als Argument, wieso sich die Infrastrukturbetreiber stärker für Platooning engagieren sollten, wurde von Seiten der Experten die sicherere, ökologischere und effizientere Nutzung der Strasse angeführt. Wie Verkehrssimulationen im Ausland gezeigt haben, ist eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit jedoch erst zu erwarten, wenn mindestens 40% der Fahrzeuge Truck-Platooning-tauglich sind. Unterhalb dieser Rate wird gegenüber heute eine Abnahme der Leistungsfähigkeit vorausgesagt, weil Assistenzsysteme (ohne Vernetzung) zu grösseren Abständen zwischen den Fahrzeugen führen als heute.

Ein weiterer Punkt stellt die Tatsache dar, dass bei hohen Verkehrsbelastungen Platoon-Verbände zu Instabilitäten im Verkehrsfluss führen können. Entsprechend würden Platoons in verkehrsreichen Abschnitten oder Zeiten zu nachteiligen Situationen gegenüber heute führen. Auch hier könnte erst bei einer hohen Ausstattungsrate mit Platoon-tauglichen Fahrzeugen (LW und PW) eine Verbesserung gegenüber heute erreicht werden.

Der vielfach geäusserte Vorschlag, Platooning nur auf sechsspurigen Abschnitten zuzulassen, erweist sich bei genauerer Betrachtung als Trugschluss. Die Abschnitte mit sechs oder mehr Fahrspuren sind in der Schweiz generell relativ kurz und befinden sich im Zulauf zu Metropolitan-Zentren mit stark belasteten Abschnitten und Autobahn-Verzweigungen. Insofern sind diese Abschnitte für Platooning nicht geeignet.

6.4 Sicherheit

Der Einsatz von Assistenzsystemen bringt einen deutlichen Gewinn bei der Sicherheit. Bereits Assistenzsysteme wie ACC können in Verbindung mit Auffahrkollisionswarnungen einen wichtigen Beitrag zur Vermeidung von Unfällen leisten und zu namhaften Reduktionen von Sach- und Personenschäden führen.

Grundsätzlich führen Assistenzsysteme zu einer höheren Homogenisierung des Verkehrs und damit zu einer Verstetigung des Verkehrsflusses. Bei hoher Ausstattungsrate kann dadurch auch ein Leistungsfähigkeitsgewinn resultieren.

Der bei Truck-Platooning empfohlene Abstand zwischen zwei LW von 15m kann durch die volle Vernetzung zwischen den Fahrzeugen sicher betrieben werden. Dabei sind jedoch die Bremsleistungen sowie der Ladungsmix der an einem Platoon beteiligten Fahrzeuge zu berücksichtigen. In Anlehnung an die Gesetzmässigkeiten im Bahnverkehr sollten bei der Platoon-Zusammensetzung die Fahrzeuge anhand ihrer Bremsleistung und ihrer momentanen Last eingereiht werden. Entsprechende Regelungen wären zu standardisieren.

In nach Bremsleistung zusammengesetzten Platoon-Verbänden führen selbst starke Betriebsbremsungen nicht zu unsicheren Zuständen (jedoch zu wenig komfortablen Situationen für den Chauffeur). Erst eine Kollision des führenden LW in ungebremstem Zustand führt zu Auffahrkollisionen der nachfolgenden LW.

6.5 Infrastruktur

Während aus Platooning keine neuen Einwirkungen auf den Strassenkörper auf der freien Strecke erwartet werden, die kritisch sein könnten, bestehen bei Brücken Unsicherheiten bezüglich den statischen und dynamischen Einwirkungen.

Entsprechend sollten vorgängig zu Pilotprojekten oder der Einführung von Platooning eingehende Untersuchungen zu den möglichen Konsequenzen für die Tragsicherheit von Tragwerken von Kunstbauten vorgenommen werden.

Ein besonderes Augenmerk ist den dynamischen Einwirkungen zu schenken. Hier sind die Einflüsse von Bremskräften auf Widerlager und Stützen vertieft zu betrachten. Insbesondere Brücken in Gefälle wären im Speziellen zu untersuchen. Allgemein wird erwartet, dass die Konsequenzen aus den dynamischen Einwirkungen umso grösser ausfallen werden, je umfangreicher ein Platooning-Verband wäre.

Würden unzulässige Lasteinwirkungen nachgewiesen, müssten Platoon-Verbände bei Brücken aufgelöst werden oder spezielle Geschwindigkeits-Limiten eingehalten werden. Aufgrund der hohen Dichte an Brückenbauwerken würden diese Restriktionen das No-Go für Platooning bedeuten.

In Tunnels muss in Anlehnung an die aktuellen Regelungen hinsichtlich Brandschutz der Platoon-Verband ab einer Tunnellänge von 300 m aufgelöst und in einen offenen Verband mit LW-Abstand 100 m überführt werden. Beim Gotthard-Tunnel würden die existierenden Regelungen mit einem erhöhten Sicherheitsabstand von 150 m beibehalten.

6.6 Umsetzung

Pilotprojekte für Platooning ohne Auflösung könnten wichtige Erkenntnisse zur Praktikabilität von Betriebsformen mit vernetzten Fahrzeugen ergeben. Angesichts dessen, dass die Vernetzung unter den Fahrzeugen – seien es PW oder LW – stark voranschreitet und in naher Zukunft entsprechende Fahrzeuge auf dem Markt verfügbar sein werden, bietet es sich an, durch Pilotprojekte zu Platooning erste Erfahrungen zu sammeln. Weiter bietet die Ankündigung eines Pilotprojekts auch die Gewissheit, dass auf allen Stufen (Behörden, Wirtschaft, Gesellschaft) entsprechende Abklärungen und Vorbereitungen ernsthaft und mit aller Konsequenz an die Hand genommen würden.

Als mögliche Teststrecke bietet sich der Abschnitt Bern – Vevey der A12 an, ab Verzweigung La Veyre (Ausfahrt 1) bis Niederwangen (Ausfahrt 11), Länge rund 74 km. Dieser Abschnitt eignet sich einerseits aufgrund der generell moderaten Belastung (DTV), andererseits könnten hier vertieft der Einfluss eines grossen Gefälles (Abschnitt östlicher Talhang der Veveyse mit Gefälle bis 6%) und grosser Brückenbauwerke (Viaduc du Lac de la Gruyère: 2044 m lang, 33 Pfeiler, mit einer Pfeilerhöhe bis 85 m) geprüft werden. Ebenso könnte die Auflösung des Platoon-Verbands bei Tunnels (Tunnel de Gumefens: 340 m lang) getestet werden.

Aus European Truck Platooning Challenge ist bekannt, dass die Vorlaufzeit für ein Pilotprojekt rund 12-18 Monate beträgt. Somit könnte ein Schweizer Pilotprojekt für Truck Platooning auf Sommer 2019 ins Auge gefasst werden. Eine definitive Einführung von Platooning erfordert jedoch noch weitergehende Abklärungen und ist auch bei positivem Verkauf des Pilotprojekts erst mittelfristig denkbar. Somit kann Truck Platooning nicht als „Sofortmassnahme Verkehrsmanagement“ verwendet werden.

Rapp Trans AG



Jörg Jermann
Berater Verkehr und Mobilität



Bernhard Oehry
Geschäftsführer Rapp Trans AG

Basel, 11. August 2017 / 2060.966 / JJö

Literaturverzeichnis

- [Adolfson 2016] COMPANION: Business models and commercialization, presentation at final project conference at 14th and 15th of September 2016 at the Applus IDIADA Technical Centre
- [Alkim / van Vliet /Aarts / Eckhardt 2016] European Truck Platooning Challenge 2016. Creating next generation mobility. Lessons Learnt
- [ASTRA 2011] ASTRA, Gigaliner – Verkehrstechnische Beurteilung, Mai 2011
- [ATA Technology and Maintenance Council 2015] Future Truck Program: Automated Driving and Platooning Task Force: White Paper: Automated Driving and Platooning, Issues and Opportunities
- [Bakermans 2016] Truck Platooning: Enablers, Barriers, Potential and Impacts, MSc Thesis, Delft University of Technology
- [Ballarin 2016] Atari + Logistik + Maschinenbau = Platooning. URL: <https://blog.daimler.com/2016/09/19/mercedes-benz-platooning-mit-dem-highwaypilot/> (Stand: 18.04.2017)
- [Batlle / Pillado / Garcia-Sol / Sanchez / Freixas / Shadeghian / Friedrichs 2015] COMPANION D7.1: Limited results of the on-board coordinated platooning system performance evaluation via physical testing
- [Bergenheim / Shladover / Coelingh 2012] Overview of platooning systems, Paper for the 19th ITS World Congress, 22-26 October 2012, Vienna
- [BFS 2016] BFS Aktuell. Güterverkehr in der Schweiz 2015.
- [Bfu 2016] Automatisiertes Fahren. Herausforderungen für die Verkehrssicherheit.
- [BMVI 2015] Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren: Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten
- [Bundesverfassung 2016] Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft.
- [Busch / Krause / Motamedidehkordi / Hoffmann / Hartmann / Vortisch 2017] Auswirkungen des teil und hochautomatisierten Fahrens auf die Kapazität der Fernstrasseninfrastruktur. In: Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (296)
- [Chesaux 2015] Bessere IT-Systeme erleichtern Zollabfertigung. Die Volkswirtschaft 10/2015
- [Continental AG 2016] Continental Mobilitätsstudie 2016. Der vernetzte Truck.
- [Coulon-Cantuer 2016] COMPANION: Update on recent developments related to Connected and Automated Driving, presentation at final

	project conference at 14th and 15th of September 2016 at the Applus IDIADA Technical Centre
[C-ITS Platform 2016]	C-ITS Platform. Final report
[Dietrich / Rotach / Boppart 1993]	Strassenprojektierung. Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau. ETH Zürich
[ETSI 2017]	building the future. Work Programme 2017 - 2018
[Europäische Kommission 2016]	EU-Strategie für eine kooperative, vernetzte und automatisierte Mobilität, EC Press Release, 30. November 2016
[EZV 2017]	DaziT – Das Wichtigste in Kürze (Stand 02.2017)
[Gorter 2015]	Adaptive Cruise Control in Practice: A Field Study and Questionnaire into its influence on Driver, Traffic Flows and Safety, MSc Thesis, Delft University of Technology
[Hanelt / Hildebrandt / Leonhardt 2016]	COMPANION D8.4: Documentation on the socio-economic impacts of the project
[Heikoop / de Winter / van Arem 2017]	Effects of platooning on signal-detection performance, workload, and stress: A driving simulator study, Applied Ergonomics 60 (2017) 116-127
[Huisman 2016]	Impacts of (Cooperative) Adaptive Cruise Control Systems on Traffic Flow: A simulation case study on the effects of (cooperative) adaptive cruise control on the A15 highway, MSc Thesis, Delft University of Technology
[Irttenkauf / Klaussner 2013]	Studienarbeit Nr. 21. Autonome Kolonnenfahrt auf Autobahnen. Stand der Technik, Umsetzung, Auswirkungen auf den Verkehrsfluss. Universität Stuttgart
[Jacob 2017]	Truck Platooning on Highways for long distance efficient freight transport, PIARC TC B4 "Freight Transport", 27.-28. März 2017, Mexico City
[Janssen / Zwijnenberg / Blankers / de Kruijff 2015]	Truck Platooning: Driving the future of transportation, TNO White Paper
[Jones 2013]	Cooperative Adaptive Cruise Control: Human Factors Analysis. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Georgetown Pike.
[Justen / Mathys / Kowald / Dennisen / Kritzinger /	Gesellschaftliche Trends und technologische Entwicklungen im Personen- und Güterverkehr bis 2040. ARE

Altenburg / Auf der Maur /
Mayer 2016]

- [Kenis 2017] (Truck) platooning in Flanders, European Truck Platooning Challenge Networking Event, 21. März 2017, Brüssel
- [Lex / Grasser / Jäger 2017] Analyse zum Stand und Aufzeigen von Handlungsfelder beim vernetzten und automatisierten Fahren von Nutzfahrzeugen. In: In: Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (297).
- [Martensson 2016] COMPANION: Real-Time Coordination of Truck Platoons, presentation at final project conference at 14th and 15th of September 2016 at the Applus IDIADA Technical Centre
- [Menendez / Saeednia 2016] Analysis of Strategies for Truck Platooning. Hybrid Strategy. Institute for Transport Planning and Systems (IVT). Swiss Federal Institute of Technology Zürich
- [Mihelic / Roberts / Roeth 2016] Trucking efficiency. Confidence report: Two-Truck Platooning. NACFE.
- [Müller 2012] Makroskopische Verkehrsmodellierung mit der Einflussgröße Telematik, Dissertation, Technische Universität Berlin
- [Nowakowski / Shladover / Lu 2015] Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC) for Truck Platooning: Operational Concept Alternatives, California PATH, part of FHWA Exploratory Advanced Research Program
- [Pillado 2016] COMPANION: Validation and Assessment of truck platoons, presentation at final project conference at 14th and 15th of September 2016 at the Applus IDIADA Technical Centre
- [Prokop & Stoller 2012] Der Güterverkehr von morgen. LW zwischen Transporteffizienz und Sicherheit. Heinrich Böll Stiftung, Band 30
- [Robert Bosch GmbH 2010] Chassis Systems Control. Entspannter fahren mit Adaptive Cruise Control. Heilbronn
- [Roland Berger & fka 2016] Index „Automatisierte Fahrzeuge“, 3. Quartal 2016
- [SAE International 2014] Automated Driving. Levels of driving automation are defined in new SAE International standard J3016.
- [Sadek 2015] Road Network Operations & Intelligent Transportation Systems. Its Basics. Its Technologies. World Road Association (PIARC)
- [Scania 2017] Scania übernimmt Vorreiterrolle bei vollständig autonom fahrenden LW im Platooning, Press Info, 16. Januar 2017

[Schmid 2017]	ASTRA-Truck-Platooning. Vortrag für die ETH. Zürich.
[Schweizerische Eidgenossenschaft 2016]	Strassenverkehrsgesetz (SVG)
[Schweizer Bundesrat 1999]	Verordnung über die Zollabfertigung mit elektronischer Datenübermittlung (ZEDV).
[Schweizer Bundesrat 2016]	Automatisiertes Fahren – Folgen und verkehrspolitische Auswirkungen. Bericht des Bundesrates in Erfüllung zur Motion von Oberholzer-Leutenegger.
[Schweizer Bundesrat 2017]	Verkehrsregelverordnung (VRV)
[Shladover / Nowakowski / Lu / Ferlis 2015]	Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC) definitions and operating concepts, Conference Paper, TRB 2015 Annual Meeting, Washington DC
[Sjöberg 2016]	Smart Infrastructure and Intelligent Vehicles, Presentation at FFI-konferens: Transporter i en hållbar stad, 23 November 2016
[Ställberg 2016]	COMPANION D2.7: Documentation of the Exploitation of the Results.
[Urpi & Pont 2016]	COMPANION D7.4: Consolidated validation results of the COMPANION system
[Van Arem / van Driel / Visser 2006]	The Impact of Cooperative Adaptive Cruise Control on Traffic-Flow Characteristics, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 7, No. 4, December 2006
[Van Driel 2007]	Driver Support in Congestion: An assessment of user needs and impacts on driver and traffic flow, PhD Thesis, University of Twente
[Van Vliet 2017]	Driver Support in Congestion: An assessment of user needs and impacts on driver and traffic flow, PhD Thesis, University of Twente
[VDA 2015]	Automatisierung: Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren

Abkürzungsverzeichnis

ACC	Adaptive Cruise Control
ASTRA	Bundesamt für Strassen
ATA	American Trucking Associations
BFS	Bundesamt für Statistik
bfu	Schweizer Beratungsstelle für Unfallverhütung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
CACC	Cooperative Adaptive Cruise Control
C-ITS	Cooperative Intelligent Transport System
DE	Bundesrepublik Deutschland
DSRC	Dedicated Short Range Communication
EATA	European Association for Transactional Analysis
FAS	Fahrerassistenzsystem
FAT	Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V.
ITS	Intelligent Transport System
I2V	Infrastructure to vehicle
i-ACC	Intelligent Adaptive Cruise Control
LW	Lastwagen
NL	Niederlande
PATH	California Partners for Advanced Transportation Technology
PW	Personenwagen
SAE	Society of Automotive Engineers
SVG	Strassenverkehrsgesetz
TNO	Niederländische Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung
VDA	Verband der Automobilindustrie
VRV	Verkehrsregelverordnung
V2V	Vehicle to vehicle

Anhänge

Anhang A: Recherche	66
A.1 Literatur-Recherche	66
A.1.1 Automatisiertes Fahren	66
A.1.2 Entwicklungsstand der Technologie (ACC, CACC, Truck Platooning)	66
A.1.3 Verkehrliche Wirkungen (ACC, CACC, Truck Platooning)	73
A.1.4 Regelungen bei Pilotprojekten im Truck Platooning	78
A.1.5 Business Case	81
A.1.6 Betrieb	87
A.1.7 Akzeptanz	89
A.1.8 Infrastruktur	91
A.1.9 Rechtliche Rahmenbedingungen (inkl. Haftpflicht)	93
A.2 Experten-Interviews	94
A.2.1 Gesprächsnotiz Peter Galliker, CEO Galliker Transport AG	94
A.2.2 Gesprächsnotiz Josef Jäger, CEO Camion Transport AG	95
A.2.3 Gesprächsnotiz Nils Planzer, CEO Planzer Transport AG	96
A.2.4 Gesprächsnotiz Rainer Deutschmann, Migros-Genossenschafts-Bund	97
A.2.5 Gesprächsnotiz Bernhard Adamek, SBB Cargo	98
A.2.6 Gesprächsnotiz Ueli Lüdi, PostLogistics	99
A.2.7 Gesprächsnotiz Tom Alkim, Driving bei Rijkswaterstaat (NL)	100
A.2.8 Gesprächsnotiz Dr. Ane-Kristin Reif-Mosel, Schenker AB (DE)	102
A.2.9 Gesprächsnotiz Bernard Jacob, IFSTTAR (FR)	105
A.2.10 Gesprächsnotiz Joris Cornelissen, Rijkswaterstaat (NL)	107
Anhang B: Betrieb	109
B.1 Herleitung Betrieb	109
B.1.1 Berechnung der Platoon-Bildung	112
B.2 Anwendung Betrieb auf die Schweiz	114
B.2.1 Platooning-Betrieb mit Auflösung	114
B.2.2 Platooning-Betrieb ohne Auflösung	118
B.3 Ermittlung optimaler Geschwindigkeiten für den Platooning-Betrieb	122
B.4 Auswirkung der Beschleunigung auf das Platooning	123
Anhang C: Charakteristika Schweiz	125
C.1 Relevante Charakteristika Schweiz	125
C.1.1 Sicherheitsabstand	125
C.1.2 Alpenschutzartikel	125
C.1.3 Zollabfertigung	126
C.1.4 Fahrverbot	126
C.1.5 Übersicht Hochleistungsstrassennetz	129

A Anhang A: Recherche

A.1 Literatur-Recherche

A.1.1 Automatisiertes Fahren

Für das automatisierte Fahren werden bis heute keine einheitlichen Begriffe verwendet. So existieren verschiedene internationale Klassifizierungssysteme bezüglich der Automatisierungsgrade. Grundsätzlich können die verschiedenen Klassifizierungssysteme inhaltlich gleichgestellt werden (vgl. bfu 2016, 6). Die SAE hat folgendes Klassifizierungssystem entwickelt.

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes

Abbildung 15 SAE Automatisierungslevel (SAE International 2014)

A.1.2 Entwicklungsstand der Technologie (ACC, CACC, Truck Platooning)

In diesem Kapitel wird der heutige Entwicklungsstand der Technologie für ACC, CACC und Truck Platooning dargestellt.

ACC

Heute steht für fast alle Fahrzeuge eine Vielzahl von Fahrerassistenzsystemen zur Verfügung. Bspw. können 71% der Neuwagen (Oberklassefahrzeugen) mit einem ACC erworben werden (siehe Abbildung 16).

Um das Umfeld erfassen zu können, benötigt ein ACC Daten und Informationen, die es von seinen Sensoren erhält (insb. Radarsensoren, siehe Abbildung 17). Die Leistungsfähigkeit der Sensoren und die Datenverarbeitung verbessern sich stetig und durch hochentwickelte Software werden diese Informationen immer schneller ausgewertet.

Wo in der Vergangenheit Sensoren für voneinander unabhängige Funktionen verwendet wurden, werden heutzutage Systeme, Sensoren und Algorithmen kombiniert. Bspw. werden alle relevanten Daten mithilfe der Sensorfusion intelligent und zeitlich verknüpft. Durch Redundanzen und Plausibilitätsprüfungen wird eine fehlerhafte Interpretation der Daten verhindert. Folgende Informationen werden für die ACC-Funktion ermittelt:

- Distanz, Richtung und Relativgeschwindigkeit zum vorausfahrenden Fahrzeug
- Geschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs

(vgl. Robert Bosch GmbH 2010).

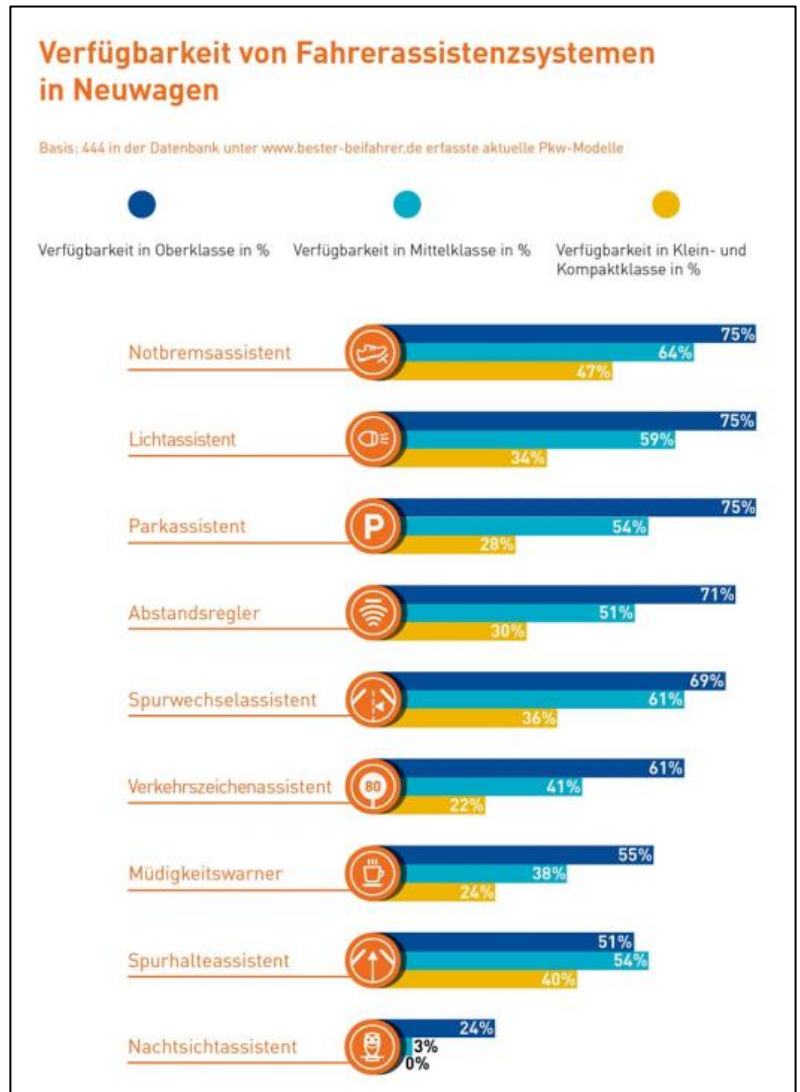


Abbildung 16 Verfügbarkeit von ACC (Abstandsregler) in Neuwagen

Die Entwicklung von ACC zeigt, dass ein modularer Systemaufbau vielfältige funktionale Erweiterungen ermöglicht. Ein „normales“ ACC lässt sich ab einer Geschwindigkeit von etwa 30 km/h aktivieren und unterstützt den Fahrer vor allem bei Überlandfahrten und auf der Autobahn. Die Variante ACC-Stop & Go ist auch bei Geschwindigkeiten unter 30 km/h aktiv. Diese aktuell verbreitete Variante ist dazu in der Lage, selbsttätig abzubremsen, bis das Fahrzeug steht, und nach Freigabe durch den Fahrer automatisch wieder anzufahren.

Beide Varianten werden bereits heute in Fahrzeuge eingebaut. Häufig haben die Fahrer dabei die Möglichkeit die Einstellung für den Abstand zu ändern. So können bspw. beim Volvo V40 fünf unterschiedliche Stufen des Sicherheitsabstands eingestellt werden. Diese entsprechen einem Abstand von 1 – 3 s (bspw. 22 - 67m bei 80 km/h, vgl. Volvo 2017). In der Praxis ist der gesetzlich geregelte Sicherheitsabstand des jeweiligen Landes vorrangig zu beachten. Das ACC ist häufig mit einem Notfallbremsassistenten verknüpft. Dieser warnt den Fahrer bei Gefahr zum vorausfahrenden Fahrzeug. Falls der Fahrer nicht reagiert, so löst es einen Bremsvorgang aus (Sadek 2015, 52)

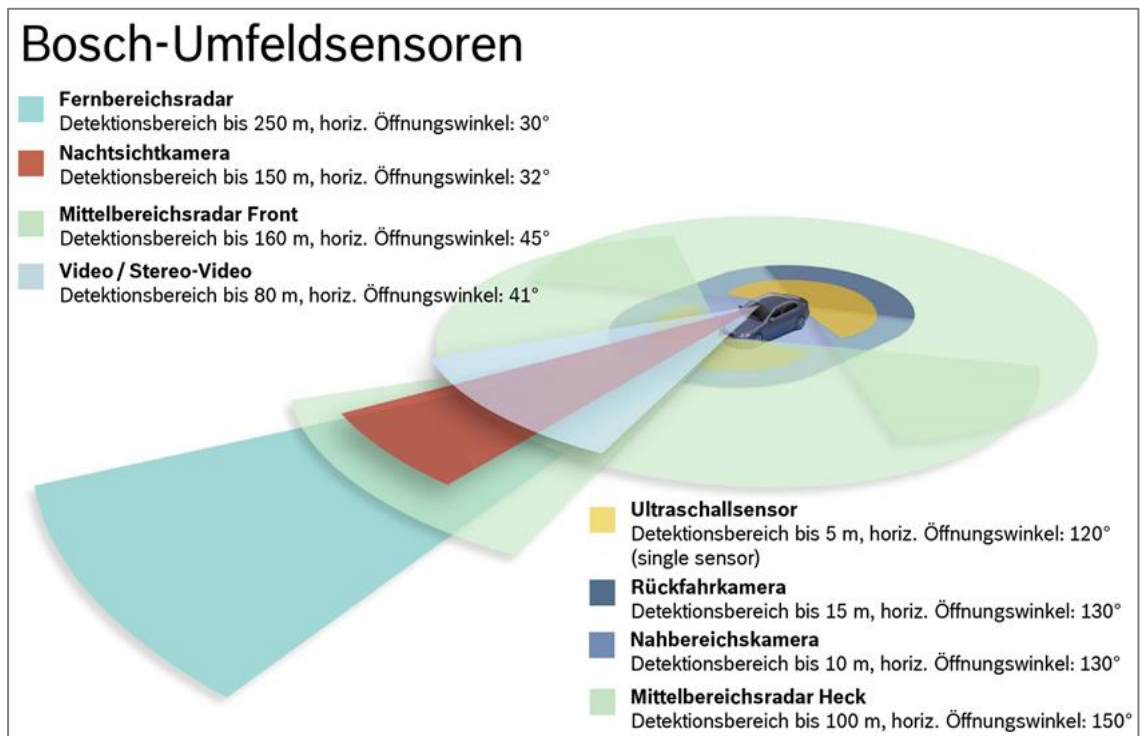


Abbildung 17 Umfeldsensoren für Fahrerassistenzsysteme¹⁹

Im Frühjahr 2015 führte Honda das weltweit erste vorausschauende Geschwindigkeitsregelsystem i-ACC (Intelligent Adaptive Cruise Control) im neuen CR-V ein²⁰. Das i-ACC sei mit Hilfe von Radar und Kamera in der Lage, das Einscheren anderer Fahrzeuge auf die eigene Fahrspur vorherzusagen und automatisch darauf zu reagieren. Daraufhin wende es einen Algorithmus an, mit dessen Hilfe es das Einscheren anderer Fahrzeuge von den Nebenspuren frühzeitig vorhersagen könne. Im Gegensatz zum "normalen" ACC, könne i-ACC bis zu fünf Sekunden früher und dementsprechend sanfter reagieren.

Honda's i-ACC wäre ein Beispiel für die Kategorie „neueres ACC“, die in der Studie von Huisman (2016) beschrieben wird. Eine Weiterentwicklung der ACC-Technologie wird in dieser Studie als „verbessertes ACC“ bezeichnet und basiert auf der Annahme, dass ACC-Systeme in naher Zukunft einen kleineren Sicherheitsabstand als bisher anwenden können. Basiert auf der Sensorik und der Funktionsweise von ACC-Stop & Go arbeitet bspw. Bosch derzeit an einem Stauassistenten²¹. Als teilautomatisierte Komfortfunktion übernimmt das System die Längs- und Querführung des Fahrzeugs: es kann automatisch anfahren, beschleunigen und bremsen sowie im Rahmen gewisser Grenzen selbsttätig lenken. Die erste Ausbaustufe des Stauassistenten ging 2015 in Serie. In den Folgejahren wird das Assistenzsystem höhere Geschwindigkeitsbereiche und komplexere Fahrsituationen abdecken können, inklusive selbständiger Spurwechsel.

¹⁹ <http://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/bosch-umfeldsensoren-34699.html> (Abgerufen: 20.04.2017)

²⁰ <http://www.autobild.de/artikel/honda-cr-v-2015-mit-i-acc-5531533.html> (Abgerufen: 7.4.17)

²¹ <http://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/stauassistent-35545.html> (Abgerufen: 7.4.17)

Zukünftige Entwicklungsschritte von ACC finden sich in der Abdeckung komplexerer Fahrsituationen (z. B. das automatische Ausweichen und Umfahren von Hindernissen) und in der Vernetzung von ACC-Systemen (CACC, siehe unten). Hierbei werden Informationen und Funktionen der bewährten und zukünftigen Fahrerassistenzsysteme Schritt für Schritt zu einem Gesamtsystem gebündelt.

CACC

CACC ist eine Weiterentwicklung des ACC-Systems und zielt auf Synergien durch die Vernetzung von mehreren ACC-Systemen. Viele Funktionalitäten von CACC basieren auf ACC und stellen deutliche Erweiterungen dar. Am wichtigsten hierbei ist die Funkkommunikation zwischen Fahrzeugen mit CACC (V2V-Kommunikation). Durch die V2V-Kommunikation werden die Informationen bezüglich Geschwindigkeit und Beschleunigung der vorausfahrenden Fahrzeuge direkt übermittelt. Deshalb kann der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug exakter kontrolliert werden. Dies führt zu einer schnelleren Reaktion bei Geschwindigkeitsänderungen von vorausfahrenden Fahrzeugen. Dadurch kann der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug aus technischer Sicht ohne Beeinträchtigung der Sicherheit auf bis zu 7 m (bei 80 km/h) reduziert werden²².

Insb. das vernetzte Bremsen ermöglicht einen kleineren Sicherheitsabstand als von einem menschlichen Fahrer sicher verwaltet werden kann (ATA Technology and Maintenance Council 2015, siehe Abbildung 18).

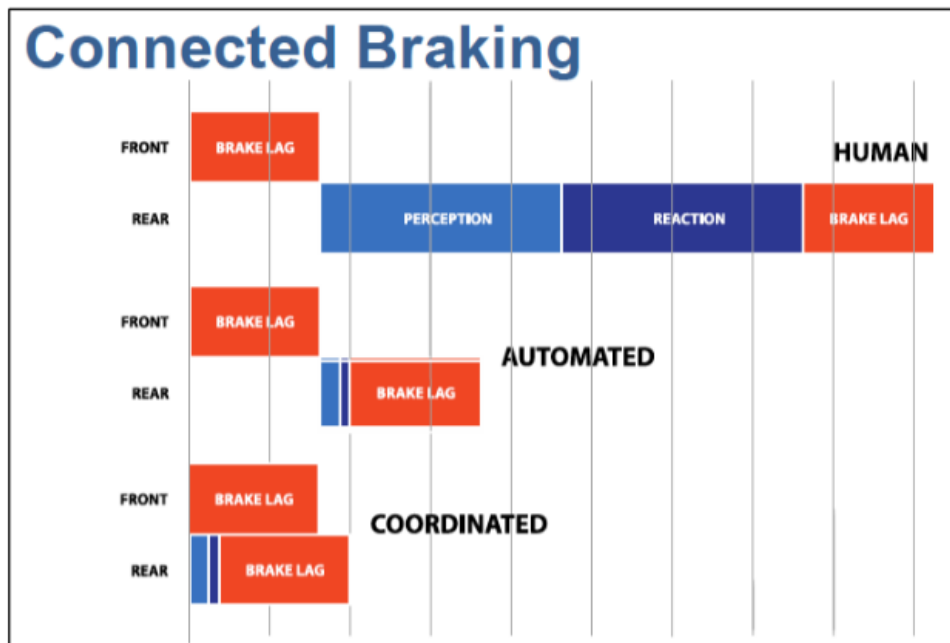


Abbildung 18 Vernetztes Bremsen durch V2V-Kommunikation ermöglicht einen kleineren Sicherheitsabstand (ATA Technology and Maintenance Council 2015) (Automated = ohne V2V, Coordinated = mit V2V)

²² <https://www.tno.nl/en/focus-areas/urbanisation/mobility-logistics/reliable-mobility/automated-and-cooperative-driving/> (Abgerufen: 18.04.2017)

Eine zusätzliche Erweiterung von CACC ist die Funkkommunikation zwischen Infrastrukturanlagen und Fahrzeugen (I2V-Kommunikation). Durch die I2V-Kommunikation können Informationen zwischen Infrastrukturanlagen und den Fahrzeugen ausgetauscht werden. Bspw. können Fahrzeuge, welche mit I2V-Kommunikation ausgerüstet sind, digitale Geschwindigkeitsschilder erkennen. Die maximale Geschwindigkeitsgrenze kann so automatisch gehalten werden (vgl. Jones 2013, 3).

Im Allgemeinen wird erwartet, dass die Vernetzung und die Digitalisierung innerhalb und außerhalb des Fahrzeugs zukünftig eine immer wichtigere Rolle spielen werden. Grundlage für die Vernetzung sind Kommunikationstechnologien.

In ihrer Erklärung von Amsterdam vom April 2016 forderten die europäischen Verkehrsminister die Europäische Kommission mit Nachdruck auf, eine europäische Strategie für kooperative, vernetzte und automatisierte Fahrzeuge auszuarbeiten. Genauso wichtig war die erklärte Absicht der Industrie, mit dem groß angelegten Einsatz C-ITS-fähiger Fahrzeuge ab 2019 zu beginnen. Am 30. November 2016 hat die Europäische Kommission die Europäische Strategie für Kooperative Intelligente Verkehrssysteme (C-ITS) verabschiedet (COM(2016 766)). Ziel dieser Strategie ist es, bis 2019 den Einsatz von Fahrzeugen zu ermöglichen, die miteinander und mit der straßenseitigen EU-Verkehrsinfrastruktur „reden“ können (Europäische Kommission 2016). Um die Erwartungen zu erfüllen, dass alle verkehrs- und sicherheitsrelevanten Informationen europaweit nahtlos empfangen werden können, stellt die Strategie ein Konzept für einen hybriden Kommunikationsmix aus einer Kombination von ETSI ITS-G5 und bereits vorhandenen zellularen Netzen vor.

In Europa beruht CACC auf Nahbereichskommunikation im Sinne von ETSI ITS-G5. Die Technologie ist bereit für den Markt. Die US-amerikanische National Highway Traffic Safety Administration hat einen Vorschlag zum verpflichtenden Einbau von Dedicated Short Range Communication (DSRC)-Systemen veröffentlicht und setzt auf eine breite Einführung in allen Neufahrzeugen und Infrastrukturelementen ab 2018, auch um hinsichtlich der Verkehrsbeeinflussung unabhängig vom Mobilfunk zu bleiben (Roland Berger & fka 2016). Für die Fahrzeughersteller ist es von großer Bedeutung, dass V2X-Systeme in den USA und Europa kompatibel sind. Das europäische System (ETSI ITS-G5 / IEEE 802.11p) und das amerikanische System (Wave / IEEE 802.11p) sind hardwarekompatibel.

Der Regelbetrieb für das automatisierte und vernetzte Fahren steht in einem unmittelbaren Zusammenhang mit der digitalen Leistungsfähigkeit der (möglichst) flächendeckenden Infrastruktur. Verschiedene internationale Initiativen, wie der Oettinger Roundtable auf EU-Ebene und die EATA Allianz, fokussieren auf die digitalen Aspekte des vernetzten und automatisierten Fahrens: Netzwerkabdeckung, Standards, Interoperabilität, Cybersicherheit, usw. (Coulon-Cantuer 2016). Auch die Empfehlungen und Handlungsvorschläge der C-ITS-Plattform für die Kommission und andere relevante Akteure entlang der C-ITS-Wertschöpfungskette werden für die schnelle Inanspruchnahme von C-ITS in Europa als wichtig erachtet (C-ITS Plattform 2016).

Truck Platooning

Truck Platooning stand in den vergangenen 20 Jahren in einer Reihe von Forschungsprojekten im Fokus, z. B. in den Projekten CHAUFFEUR und SARTRE der Europäischen Kommission, KONVOI in Deutschland, PATHs Truck Platooning Projekt in

Kalifornien und das Energy ITS-Projekt in Japan (Bergenheim et al. 2012). All diese Truck Platooning-Studien beruhen auf „Control Distance Gap“-Kontrollstrategien – im Gegensatz zu „Constant Time Gap“-Kontrollstrategien bei CACC, wo der Abstand zwischen Fahrzeugen proportional zum Geschwindigkeit ist (Nowakowski et al. 2015). Ein zweiter Unterschied ist, dass in den späteren Truck Platooning Projekten mit CACC nur die LW-Geschwindigkeitsregelung automatisiert ist (nur die Längsführung, nicht die Querverführung). Aus diesen Gründen wird in den USA eine Reihe von LW mit CACC bevorzugt als *String* statt als *Platoon* bezeichnet.

CACC wird als ein wichtiger Schritt in Richtung automatisiertes Truck Platooning gesehen. Wo PW erst bei hoher Ausstattungsrate von der CACC-Technologie profitieren können, profitieren Transporteure bereits, sobald sie zwei LW mit der Technologie ausgestattet haben. In der Praxis werden momentan Tests mit 2-3 angeschlossenen LW gefahren, wobei das erste Fahrzeug aktiv fährt und die anderen bei z. B. ca. 10 m automatisch folgen. Die Folgefahrzeuge müssen dafür mit V2V und CACC ausgerüstet sein, das Führungsfahrzeug muss zumindest mit V2V ausgerüstet sein.

Scania arbeitet zurzeit am weltweit ersten komplett autonom fahrenden Platooning-System. Die LW-Kolonne wird auf öffentlichen Straßen fahren und im Hafen von Singapur Container von einem Terminal zum anderen transportieren. Vier LW sollen in einem geringen Abstand hintereinander fahren, d. h. drei LW fahren autonom hinter einem Führungs-LW her. Darüber hinaus sollen die Vorgänge für präzises An- und Abdocken der Fracht komplett automatisiert werden. Auch arbeitet Scania derzeit an einer Verbesserung der Vernetzung zwischen LW, sodass die Abstände zwischen den Fahrzeugen sicher reduziert werden können. Zu diesem Zweck hat sich Scania mit Ericsson zusammengeschlossen (Scania 2017).

Die notwendigen Technologien für Truck Platooning existieren: Sensors (Radar, Lidar, Kamera) und Servo- und Robotertechnik (Jacob 2017). Die Zuverlässigkeit dieser Technologien wird künftig weiter zunehmen. Weitere Schritte sind u.a.:

- Entwicklung von Algorithmen als Reaktion auf das Einscheren von anderen V2V- oder nicht-V2V-ausgerüsteten Fahrzeugen in die Kolonne (siehe z. B. AdaptiVe Projekt)
- Entwicklung von Strategien zur Platoon-Bildung, z. B. zentralorganisiert/„scheduled“ oder fahrerorganisiert/„on-the-fly“ (siehe z. B. Truck Platoon Matching Projekt²³)

Die im European Truck Platooning Challenge identifizierten technologischen Herausforderungen und offene Fragen beinhalten (Alkim et al. 2016):

- Multibrand Platooning und standardisierte Kommunikationsprotokolle
- Sichtbarkeit der Platoons für andere Verkehrsteilnehmer (z. B. Signalleuchten)
- Platoon-Sequenzierung: LW mit verschiedenen Drehmomentwerten, Bremsleistungen und Beladungsgewichten
- Drahtlose V2X-Kommunikationssicherheit
- Vollständige Platoon-Kontrolle unter allen gemischten Verkehrssituationen
- Disparitäten bei LW-Herstellern in der Technologie-entwicklung (Roadmap) (z. B.

²³ <https://www.tno.nl/en/focus-areas/urbanisation/mobility-logistics/reliable-mobility/truck-platoon-matching-paves-the-way-for-greener-freight-transport/> (Abgerufen: 11.04.17)

- Disparitäten bei LW-Herstellern in der Technologieentwicklung (Roadmap) (z. B. Überspringen von Automatisierungsstufe 3)
- Effektive und Echtzeit-Schätzung des sicheren Sicherheitsabstands

Viele Stakeholder im European Truck Platooning Challenge sind zuversichtlich, dass diese technologischen (und anderen) Herausforderungen gemeistert werden können. Zukünftige Forschungsprojekte (z. B. H2020 ART03 "Multibrand Truck Platooning", voraussichtlich ab Q3 2017) und Großversuche im realen Verkehr (z. B. „Real Life Cases“ in NL, Feldversuch DB Schenker und MAN ab 2018 in DE) sollen genutzt werden, um mehr Wissen zu erlangen, damit die nächsten Schritte zur Realisierung der Truck Platooning Vision 2025 gemacht werden können und ab 2020 die ersten kommerziellen LW-Kolonnen auf der Straße fahren (siehe Abbildung 19).

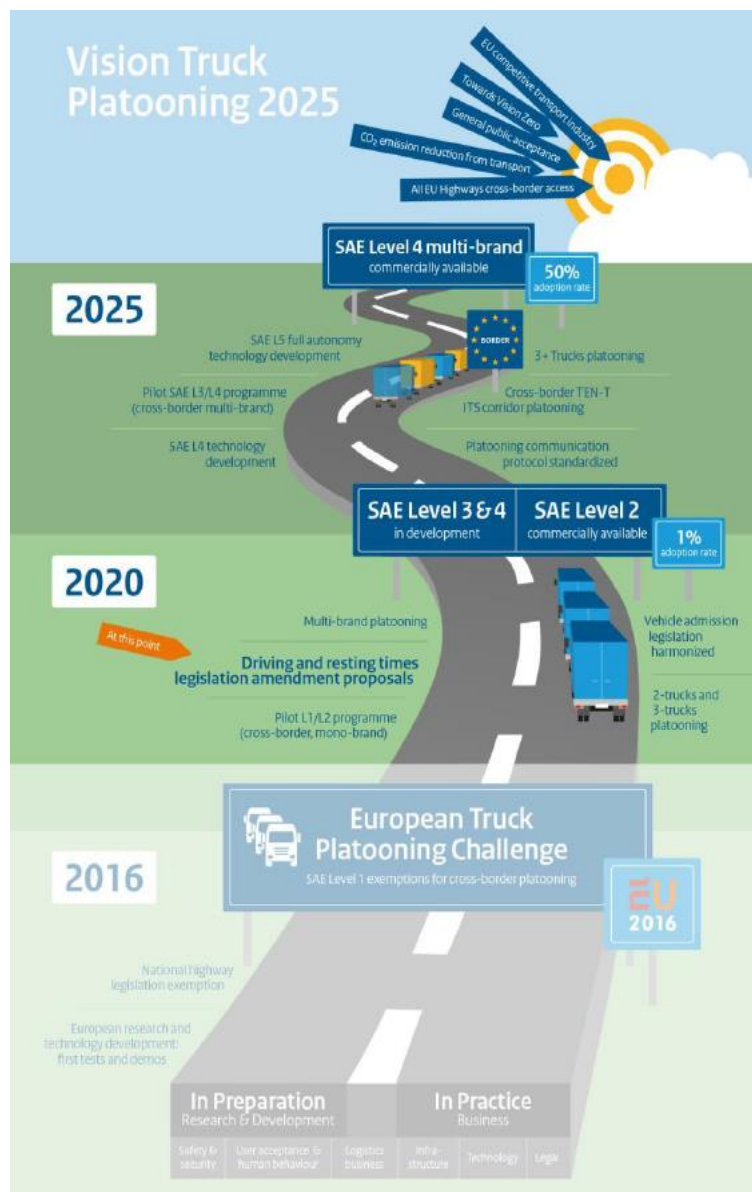


Abbildung 19 Truck Platooning Vision 2025 (Van Vliet 2017)

A.1.3 Verkehrliche Wirkungen (ACC, CACC, Truck Platooning)

In diesem Kapitel werden die verkehrlichen Wirkungen von ACC, CACC und Truck Platooning dargestellt.

ACC

Die Wirkungen von ACC-Systemen wurden bereits in vielen Forschungsprojekten untersucht, bspw. in Feldversuchen auf Teststrecken oder im realen Verkehr oder mithilfe von Computersimulationen, wobei das durch ACC veränderte Fahrzeugfolgeverhalten mikroskopisch simuliert wurde. Die Erforschung ist stark auf den PW-Verkehr ausgerichtet.

In einem Feldtest von Gorter (2015) in den Niederlanden wurde festgestellt, dass die Kapazität der Autobahn deutlich abnimmt, da Fahrer mit ACC einen größeren Abstand zum vorderen Fahrzeug halten als Fahrer ohne ACC. Dieser Abstand steigt mit 16,7% im freien Verkehr, mit 25,8% im kapazitätsbedingten Verkehrszustand und mit 16,8% im Stau. Die Benutzer bemerken dies auch, aber das führt nicht zu niedrigeren ACC-Bewertungen. Allerdings ist der Verkehr mit aktiviertem ACC besser in der Lage, Stoßwellen zu verhindern bzw. mindern, da das Abstandsverhalten konstanter wird. Zum Beispiel ist die Standardabweichung des Abstandes deutlich kleiner und kommen sehr kleine Abstände selten vor. Die Aktivierung von ACC führt auch zu konstanteren Geschwindigkeiten, sowohl im freien als auch kapazitätsbedingten Verkehr.

Um Effekte von (C)ACC auf den Verkehrsfluss zu untersuchen, hat Huisman (2016) mikroskopische Simulationen mit Aimsun durchgeführt. Simuliert wurde die Autobahn A15 in den Niederlanden in realistischen Verkehrssituationen mit mehreren Engpässen. In den Szenarien wurden zwei Hauptkomponenten variiert: (C)ACC-Type (nur PW) und Ausstattungsrate (von 0-50% in Stufen von 10%). Die Geschwindigkeitslimite der Fahrzeuge wurde auf 105 km/h gesetzt. Die betrachteten (C)ACC-Typen sind:

- ACC: auf dem Markt, nicht in der Lage, Fahrzeuge auf benachbarten Spuren zu erkennen, langsame Reaktion auf Einscheren anderer Fahrzeuge auf die eigene Fahrspur
=> Zeitabstand 1.6s, Reaktionszeit 0.8 s
- Neueres ACC: in der Lage, Fahrzeuge auf benachbarten Spuren zu erkennen, verringerte Reaktionszeit im Vergleich zu ACC
=> Zeitabstand 1.6s, Reaktionszeit 0.4 s
- Verbessertes ACC: weitere Entwicklung mit verringertem Zeitabstand
=> Zeitabstand 1.2s, Reaktionszeit 0.4 s
- CACC: Zeitabstand und Reaktionszeit noch weiter reduziert unter der Annahme, dass alle Fahrzeuge mit den CACC-Fahrzeugen kommunizieren können
=> Zeitabstand 0.8s, Reaktionszeit 0.2 s

Im Allgemeinen wurde festgestellt, dass die Einführung von ACC zu Verschlechterungen des Verkehrsflusses führt. Kleine Verbesserungen wurden mit dem neueren ACC erzielt; weitere Verbesserungen mit dem verbesserten ACC. Die Verbesserungen waren für CACC am bedeutendsten.

Bei Engpässen, wie Spurreduzierung oder Zufahrt, wurde festgestellt, dass ACC und neueres ACC einen negativen Effekt auf den Verkehrsfluss zeigen infolge der größeren Folgeabstände der Systeme. Dieser Effekt wurde nicht für das verbesserte ACC und CACC gefunden. Das deutet darauf hin, dass diese Fahrzeuge einen Folgeabstand anwenden, der gleich oder kleiner als der Folgeabstand von manuellen Fahrzeugen ist, was zu gleichen oder positiven Auswirkungen auf den Verkehrsfluss führt.

Diese letzten Erkenntnisse bestätigen die Ergebnisse einer Simulationsstudie von Van Driel (2007). In dieser Studie wurde u.a. festgestellt, dass ein Stauassistent mit ACC-Stop & Go (Zeitabstand 0.8 s oder 1.0 s) die Stauentwicklung durch eine Spurreduzierung positiv verändert: durch das ACC-Stop & Go wächst der Stau beim Stauende kaum an, während zur gleichen Zeit der Verkehr am Staukopf den Stau schneller verlässt.

Mehrere California PATH Autobahnverkehrssimulationen zeigten, dass ACC auch bei hoher Penetrationsrate wenig Einfluss auf die Kapazität hat (Shladover et al. 2015). Die jüngsten Feldversuche haben gezeigt, dass eine Reihe von autonomen ACC-Fahrzeugen „string instabil“ ist, was zu negativen Auswirkungen auf die Fahrbahnkapazität führt (siehe auch Abbildung 20).

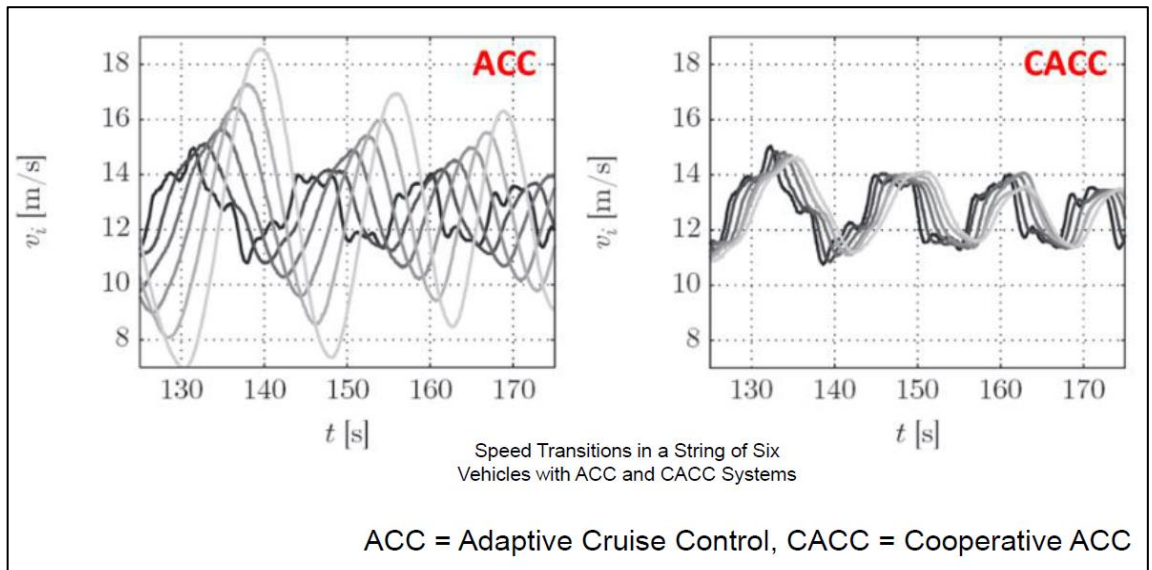










Abbildung 20 „String stability“ von ACC vs. CACC (Sjöberg 2016)

Unabhängig davon vermag ACC in Kombination mit einer Auffahrkollisionswarnung einen wichtigen Beitrag leisten Unfälle zu vermeiden (VDA 2015) (siehe Abbildung 21). Auch Müller (2012) verweist auf Studien, die besagen, dass durch LW mit ACC Auffahrunfälle von LW um 70% und Personenschäden um bis zu 7% verringert werden könnten.

WIE ABSTANDSREGELTEMPOMAT UND AUFFAHRKOLLISIONSWARNUNG HELFEN

Fahrzeugtyp	Straßenart	Anteil System eingeschaltet	Reduktion der kritischen Situationen
 Pkw	 Autobahn	51%	32 – 82%
 Pkw	 Landstraße	31%	32 – 45%
 Pkw	 innerorts	19%	32%
 Lkw	 Autobahn	42%	14 – 36%

Lesebeispiel: Wenn 51 Prozent der Pkw auf der Autobahn den Abstandsregeltempomaten und die Auffahrkollisionswarnung eingeschaltet haben, werden die kritischen Situationen um 32 bis 82 Prozent reduziert. Quelle: PWC Insurance Monitor

Abbildung 21 Unfallvermeidung durch ACC (in: VDA 2015)

CACC

Weil CACC noch nicht kommerziell verfügbar ist, werden insb. Computersimulationen des Verkehrsablaufes mit CACC als Analyseinstrument für die Ermittlung von Wirkungen eingesetzt.

Es gibt zwei primäre Motivationen für die Entwicklung von CACC: (1) Verbesserung des Verkehrsflusses und (2) sinkender Kraftstoffverbrauch (Shladover et al. 2015). Zusätzliche Motivationen für CACC beinhalten Sicherheit, Komfort, Bequemlichkeit und Kundenzufriedenheit. Die V2V-Kommunikation bietet erweiterte Informationen, so dass Fahrzeuge ihrem Vorgänger mit höherer Genauigkeit, schnelleren Reaktionszeiten und kürzeren Abständen folgen können, was zu einer erhöhten Stabilität des Verkehrsflusses und evtl. einer verbesserten Verkehrssicherheit führt. Bspw. könnte die Spurkapazität von 2200 Fahrzeuge pro Stunde auf fast 4000 Fahrzeuge pro Stunde erhöht werden, wenn alle Fahrzeuge mit CACC ausgerüstet wären. Das Mass der Verkehrsverbesserungen von CACC hängt stark von den Wechselwirkungen mit anderen ausgerüsteten Fahrzeugen und somit von den Clustering- und Trennungsstrategien von CACC-Fahrzeugen ab.

Van Arem et al. (2006) haben die Effekte von CACC auf den Verkehrsfluss anhand mikroskopischer Simulationen mit MIXIC untersucht. Simuliert wurde ein 4-Km-langer Autobahn-Abschnitt mit 4 Spuren, bei dem nach 3 Km die Strecke auf 3 Spuren reduziert wurde. Die Verkehrszusammensetzung wurde nach Daten der niederländischen A4-Autobahn implementiert; die Simulationsergebnisse repräsentieren insb. den Einsatz von CACC bei PW. Der CACC-Zeitabstand betrug 0.5 s (für nicht-ausgerüstete Fahrzeuge 1.4 s). Verschiedene

Szenarien mit unterschiedlicher Ausstattungsrate (0-100%) und separater CACC-Spur (ja/nein) wurden berechnet. Die wichtigsten Ergebnisse sind, dass CACC insb. bei hoher Ausstattungsrate (>40%) positive Auswirkungen auf den Verkehrsfluss bewirkt und die Autobahnkapazität im Umfeld einer Spursperrung erhöhen kann.

Bei hohem Verkehrsaufkommen gibt es mehr Interaktion zwischen Fahrzeugen und mehr Fahrzeuge können sich an einem CACC-Platoon beteiligen. Mit CACC wird der Sicherheitsabstand verkürzt und die „string stability“ verbessert, was vor einem Engpass zu einer höheren durchschnittlichen Geschwindigkeit, weniger Stoßwellen und einer kleineren Standardabweichung der Geschwindigkeit führt. Die Simulationen mit separater CACC-Spur zeigen wenig Einfluss auf den Durchsatz von Fahrzeugen und geringere Verbesserungen als bei den Simulationen ohne CACC-Spur (siehe Abbildung 22).

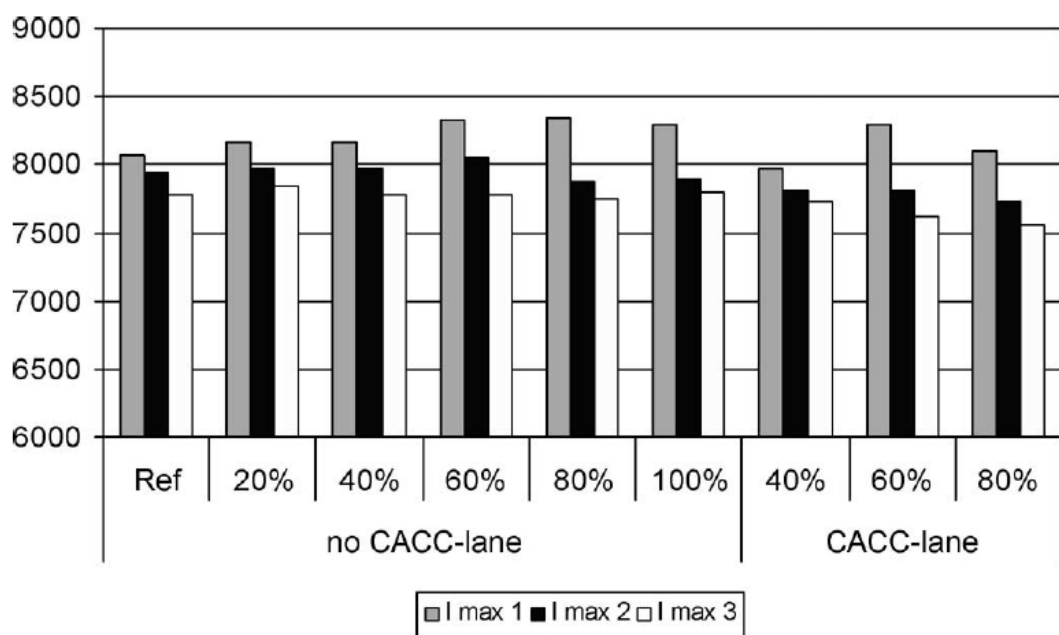


Abbildung 22 Potenzielle Auswirkungen von CACC auf die Spurkapazität (Spur 1-3) nach einer Spursperrung (Van Arem et al. 2006)

Wenn die Kommunikation zwischen Fahrzeugen auf Längsrichtung beschränkt ist, hat CACC einen negativen Einfluss auf die Verkehrssicherheit, wenn andere Fahrzeuge in die CACC-Platoons einfädeln wollen. Einige Verbesserungsvorschläge wurden präsentiert, z. B. Kooperation auf Basis von Kommunikation in Querrichtung („cooperative highway merging“) oder Begrenzung der Platoon-Länge.

Das Forschungsprojekt der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT), „Auswirkungen des teil- und hochautomatisierten Fahrens auf die Kapazität der Fernstrasseninfrastruktur“, beinhaltet verschiedenen Simulationen bezüglich verkehrlichen Auswirkungen. Die Ergebnisse zeigen, dass erst ab einem Ausstattungsgrad von 50% (Fahrzeuge mit CACC) ein Anstieg der Strassenkapazität zu erwarten ist. Des Weiteren ist in einem Beispielszenario eine Prognose für den Ausstattungsgrad für LW und PW im Mischverkehr (ohne, ACC, CACC) erstellt worden (siehe Tabelle 10). Die

Simulationsergebnisse zeigen auf, dass für das Jahr 2050 eine Kapazitätsreduktion von 9% zu erwarten ist (Busch et al. 2017, 70).

Ausstattung (Fahrzeugabstand)	Ausstattungsgrad PW (max. Geschwindigkeit = 130 km/h)	Ausstattungsgrad LW (max. Geschwindigkeit = 80 km/h)
Fahrzeuge ohne FAS (1.1 – 1.4s)	13%	2%
Fahrzeuge mit ACC (1.8s)	63%	54%
Fahrzeuge mit CACC (1s)	24%	44%

Tabelle 10 Prognostizierter Ausstattungsgrad von ACC und CACC bei Fahrzeugen im Jahr 2050 (bearbeitet: Busch et al. 2017, 12/69)

Die Studienarbeit von Irtenkauf / Klaussner 2013 an der Universität Stuttgart, welche von der ARE zitiert wird (vgl. Justen et al. 2016, 35) gibt hingegen an, dass die Strassenkapazität bereits bei einem geringen Anteil von teilautonomen Fahrzeugen erhöht wird. Für das Jahr 2040 wird der Anteil teilautonomer LW und PW auf 20% resp. 10% angenommen. Die teilautonomen Fahrzeuge werden der Automatisierungsstufe 3 zugeordnet. Die Kapazität der Nationalstrasse erhöht sich bei diesem Szenario um 6.7%. Die Ergebnisse der vorherigen Studien widersprechen zum Teil dieser Annahme. Dort wird eine Kapazitätserhöhung erst ab einem Anteil von 40% erwartet, allerdings basierend auf Fahrzeugen, die mit CACC ausgerüstet sind. Die Unterschiede sind auch darauf zurückzuführen, dass Irtenkauf / Klaussner 2013 die theoretische Strassenkapazität als Grundlage verwendet. In der Praxis wird aufgrund des kürzeren Abstands eine deutlich grössere Kapazität gemessen.

Truck Platooning

Die deutlichsten Wirkungen von CACC im PW-Verkehr zeigen sich in der Regel erst bei hoher Verkehrsstärke und hohem Ausstattungsgrad der Fahrzeuge. Im LW-Verkehr können positive Effekte von CACC im Sinne von Truck Platooning schon früher erzeugt werden. Hier profitieren Transportunternehmen bereits, wenn sie zwei LW mit der CACC-Technologie ausrüsten und in Kolonne fahren lassen.

In der Arbeit von Müller (2012) wurden die Wirkungen von CACC, eingesetzt bei LW über 12 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht und Sattelzugmaschinen, auf den Verkehrsfluss auf dreispurigen Autobahnen mit VISSIM ermittelt. Bei den Simulationen konnten bis zu 7 LW in einem Abstand von 10 m miteinander gekoppelt werden und vollautomatisch fahren, wenn das Massen-Leistungsverhältnis der Fahrzeuge zueinander passend bzw. ähnlich war. Welche und wieviel LW sich in einem Platoon koppeln, ist in der Modellierung zufällig. Die Simulationen mit LW-Anteilen von 0-25% und CACC-Ausstattungsgraden von 0-50% zeigten, dass sich die Kapazität von Autobahnen mit drei Spuren um bis zu 5,5% erhöhen lässt und sich die Reisegeschwindigkeit von PW um bis zu 6,5% steigern kann.

Das Forschungsprojekt der FAT untersucht Fahrzeuge, welche mit Hilfe einer CACC-Funktion in sehr geringem Abstand fahren. Der Abstand wird auf 0.5s festgelegt und kann deshalb mit

dem Platooning verglichen werden. Aus den Simulationsergebnissen ist ersichtlich, dass erst bei einem Ausstattungsgrad von 50% (LW und PW) eine Kapazitätserhöhung um ca. 9% erwartet wird. Bei einem Ausstattungsgrad von 100% wird eine Kapazitätserhöhung um 40% prognostiziert (Busch et al. 2017, 69).

Für die Betrachtung des Potentials bezüglich Platzersparnis wird das COMPANION Projekt betrachtet. In diesem Projekt sind unterschiedliche Ausgangslagen getestet worden. Dabei sind jeweils die Geschwindigkeit, der Abstand zwischen den LW und die Anzahl LW im Platoon geändert worden. Für die Berechnung des Platzersparnisses wird ein Platooning von 3 LW mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h und einem Sicherheitsabstand von 15 m verwendet. Unter anderem diese Ausgangslage ist beim COMPANION Projekt getestet worden (Batlle et al. 2015). Christian Ballarin von der Daimler AG sieht die Sicherheit beim Platooning bei einer solchen Ausgangslage als gewährleistet an (vgl. Ballarin 2016). Für die Berechnung wird eine LW-Länge von 18 m angenommen. Ohne Platooning wird ein Sicherheitsabstand von 100 m verwendet, welcher in der Schweiz gesetzlich vorgeschrieben ist (vgl. Kapitel 3.1.1).

	LW 1	Sicherheit s-abstand	LW 2	Sicherheits- abstand	LW3	Total
ohne Platooning	18 m	100 m	18 m	100 m	18 m	254 m
mit Platooning	18 m	15 m	18 m	15 m	18 m	84 m

Tabelle 11 Platzreduktion beim Platooning in der Schweiz (eigene Tabelle)

Aus diesem modellhaften Beispiel resultiert eine Platzersparnis von 170 m resp. 67 %. Die Berechnung beruht auf der Annahme, dass die gesetzlichen Grundlagen von den LW-Fahrern eingehalten werden. Hingegen ist während des Pilotversuchs der European Platooning Challenge beobachtet worden, dass etliche LW-Fahrer ohne Platooning-System eine geringere Distanz zum vorderen LW hielten als die LW im Platoon. Die Sicherheit ist bei einer solchen Fahrweise jedoch nicht gewährleistet (Alkim et al. 2016, 71). Des Weiteren ist bei der European Truck Platooning Challenge je nach Behörde ein unterschiedlicher Abstand für die Platoons definiert worden, dementsprechend unterschiedlich waren die Platzersparnisse (Alkim et al. 2016, 12-16).

A.1.4 Regelungen bei Pilotprojekten im Truck Platooning

Die Truck Platooning-Technologie muss sich in erster Linie als sicher und zuverlässig erweisen. Der beste Ort, um dies zu testen, ist auf nicht-öffentlichen Straßen, bevor auf öffentliche Straßennetze skaliert werden kann.

Für Großversuche auf öffentlichen Straßennetzen ist eine spezielle Gesetzgebung erforderlich. Bspw. wurde im März 2017 in Deutschland einem Entwurf der Bundesregierung zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes zugestimmt²⁴. Der Gesetzentwurf stellt klar, dass der Betrieb von Kraftfahrzeugen mittels hoch- und vollautomatisierter Fahrfunktion „im Rahmen der bestimmungsgemäßen Verwendung“ zulässig ist. Die niederländischen Rechtsvorschriften

²⁴ <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2017/kw13-de-automatisiertes-fahren/499928> (Abgerufen: 12.04.17)

wurden bereits 2015 geändert, damit Erfahrungen mit automatisierten Funktionen in Fahrzeugen im Realverkehr gesammelt werden können²⁵.

Obwohl das Platooning technisch machbar wäre, sind in den Gesetzgebungen viele Anpassungen erforderlich, um die LW-Kolonnen auf europäischen Straßen zu ermöglichen (Hanelt et al. 2016). Zum Beispiel muss eine Ausnahme für den minimalen Sicherheitsabstand für LW, die in einer Kolonne fahren, eingerichtet werden. Darüber hinaus ist es ratsam, auf technologische Standards zu setzen, wodurch die Interoperabilität zwischen verschiedenen LW-Marken oder Logistikunternehmen ermöglicht und somit das Potenzial von Platooning maximiert wird.

Insb. die European Truck Platooning Challenge 2016 hat gezeigt, welche Aspekte bei Pilotprojekten im Truck Platooning wichtig sind. Straßenverkehrsbehörden haben Bedingungen festgelegt, die aus ihrer Sicht nötig sind damit Truck Platooning auf Autobahnen im normalen Verkehr sicher betrieben werden kann (siehe

z.B. Abbildung 23). Durch die Bedingungen sind bspw. potentielle Risiken abgeschwächt worden. Allerdings soll beachtet werden, dass die teilnehmenden Länder die Challenge als einmalige Demonstration betrachtet haben und Bedingungen für künftige (größere) Feldversuche anders aussehen könnten.

Derzeit hat jedes Land ein eigenes Bewilligungs-verfahren, das die Hersteller vor einem Feldtest durchlaufen müssen. Abbildung 24 zeigt zum Beispiel das Verfahren in den Niederlanden. Während der Challenge sind LW-Kolonnen aus fünf Ländern nach Rotterdam (NL) gefahren. Es wurden insgesamt 19 Ausnahmen (exemptions) erteilt. So musste ein Fahrzeughersteller, der durch fünf Länder und drei deutsche Bundesländer gefahren ist, sechs Ausnahmen beantragen.

Where platooning was NOT allowed

- At fixed and mobile traffic work zones
- C48/C49 signs: Cruise Control ban
- In tunnels - starting 200 m upfront
- New or slippery road surfaces
- Vision restricted to < 200 m
- Road curvature < 250 m
- No at lefthandside motorway entries
- No changing of lanes



Abbildung 23 Platooning-Verbot in Belgien während der European Truck Platooning Challenge (Kenis 2017)

²⁵ <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/mobiliteit-nu-en-in-de-toekomst/inhoud/zelfrijdende-autos> (Abgerufen: 12.04.17)

Dutch exemption process

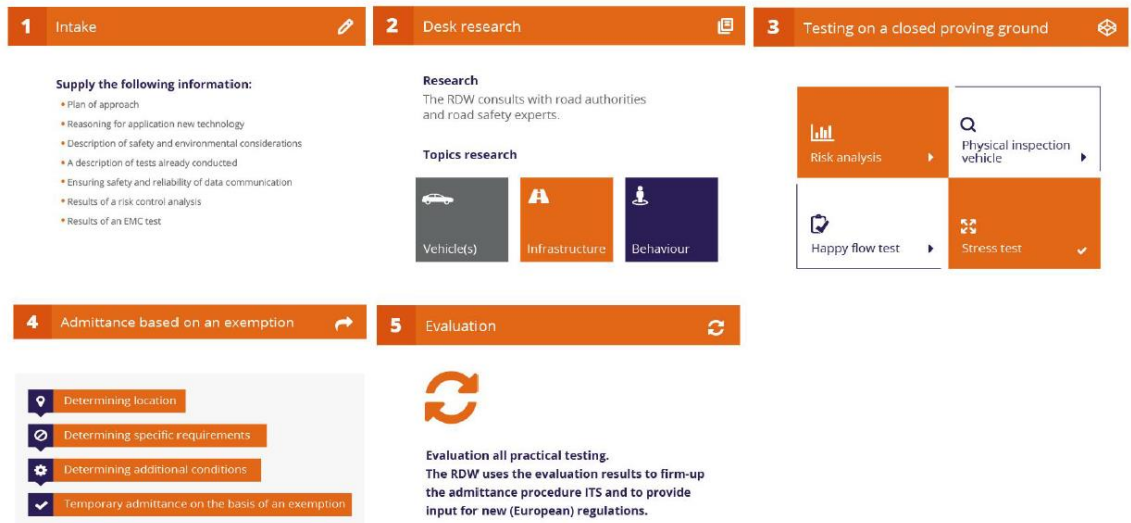


Abbildung 24 Freistellungsverfahren in den Niederlanden (Van Vliet 2017)

Eine Harmonisierung der Zulassungsbedingungen auf EU-Ebene ist zurzeit hoch in der Diskussion. Am 2017 Follow-up-Treffen nach der Erklärung von Amsterdam (2016) haben Vertreter der Europäischen Kommission, der Automobilindustrie, der Telekom-Unternehmen und nationaler Behörden die Auffassung vertreten, dass es für die Hersteller leichter sein muss, neue Technologien auf öffentlichen Straßen in Europa zu testen.

Bspw. sollen generelle Anforderungen hochautomatisierter Fahrzeugtechnologie für Typpergenehmigungen und Prüfverfahren auf internationaler Ebene festgelegt werden und z. B. der Anwendungsbereich des bewährten „European Code of Practice“ zur sicheren Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen auf automatisierte und vernetzte Fahrsysteme ausgeweitet werden (BMVI 2015). Hinsichtlich Truck Platooning bilden Sicherheitsabstand, Höchstgeschwindigkeit, maximales Bruttogewicht und Fahrverbote die Elemente zur Harmonisierung; eine Harmonisierung aller Elemente ist jedoch nicht notwendig (Alkim et al. 2016).

A.1.5 Business Case

Truck Platooning hat das Potenzial, viele geschäftliche und gesellschaftliche Vorteile zu bieten. Logistikdienstleister werden motiviert sein Platooning umzusetzen, wenn die monetisierten Nutzen ihre Kosten übersteigen. Wenn gesellschaftliche Vorteile sehr groß sind, werden Regierungen motiviert sein Platooning z.B. durch Rechtsvorschriften zu fördern.

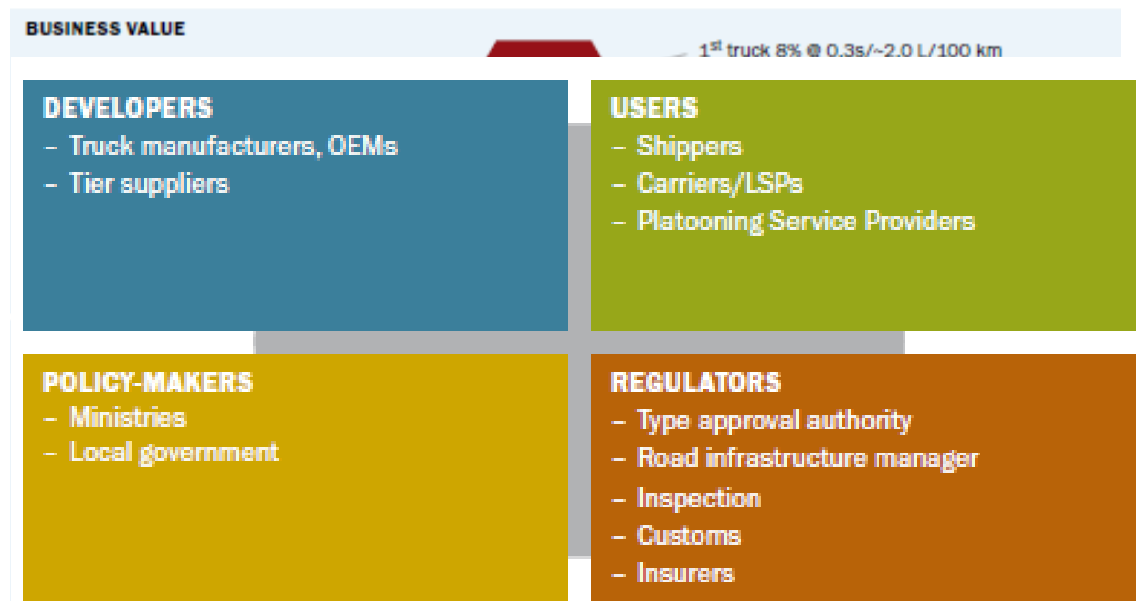


Abbildung 25 Vorteile des Truck Platoonings (Janssen et al. 2015)

Truck Platooning wird eine Verschiebung in der Logistik und im Supply-Chain-Management verursachen, die eine gemeinsame Anstrengung vieler Stakeholder benötigt (siehe Abbildung 25). Insb. die Effekte von Truck Platooning auf die Geschäftsmodelle spielen eine wichtige Rolle und sind entscheidend dafür, ob Truck Platooning künftig kommerziell eingeführt wird. Hierbei stehen insb. die Geschäftsmodelle der Logistikdienstleister im Fokus.

Janssen et al. (2015) analysierten drei reale Business Cases von Logistikdienstleistern in den Niederlanden, basierend auf den Annahmen²⁶ in Abbildung 26. Im Geschäftsmodell wird die Situation mit Platooning mit der Benchmarksituation mit Cruise Control verglichen. Beim Platooning wird zwischen den Szenarien A (2 LW und 2 Fahrer) und B (2 LW und 1 Fahrer) unterschieden. Die Ergebnisse der drei Business Cases sind in Abbildung 27 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Gesamtleistungen in allen Fällen die Kosten weit überwiegen. Die größten Vorteile sind auf eine Verringerung der Arbeitsstunden und des Treibstoffs zurückzuführen.

²⁶ Die Annahmen beruhen teils auf Ergebnissen aus dem SARTRE Projekt (D5.1 „Commercial Viability“, 2013), aus einem Interview (keine klare Infos) und aus einem TLN-Artikel im Internet (nicht mehr online)

BOX 5

BUSINESS CASE FOR CARRIERS: THE ASSUMPTIONS

We calculate the factors in comparison to the Cruise Control situation. In both scenario's the same route is driven by two trucks, the key difference being cruise control vs platooning.

Factors taken into account	Explanation	Assumptions
Benefits		
Fuel consumption	The savings of fuel usage over the platooning route, stemming from air drag reduction	- 10% reduction of fuel for both trucks, an average of the Leading and Following Vehicle ¹⁴ - Average fuel consumption of 4 km/L ²³ - Price of diesel € 1.20 per litre ²⁴
Labour cost	Two scenario's: A. 2 trucks-2 drivers. Resting times can be reduced. B. 2 trucks -1 driver. Part of the time, a driver can be omitted.	- Labour costs of € 20 to € 25 per hour per driver, dependent on the carrier - The labour costs of the reduction in man-hours, are the savings Scenario A. 8% savings in resting times per day Scenario B. Reduction in man-hours of 15% to 25%, depending on case
Asset utilisation optimisation	Only applicable in Scenario A. 2 trucks-2 drivers. The truck is additionally employable for the reduction in resting times per driver.	Scenario A. 2 trucks-2 drivers - A truck is worth € 4 per hour, based on depreciation of a € 160,000 truck combination, over 7 years. We assume the truck is used 51 weeks a year, 110 hours a week.
Costs		
Technology	Annual depreciation of the technology	- Technology costs € 2,000 per truck - Average depreciation period for a truck is 7 years
Service Provider	Annual membership costs for service provider	- € 150 per year per truck
Additional periodic testing	Annual costs for additional testing & maintenance	- € 150 per year per truck
Training drivers	Annual depreciation for the training	- € 75 per year per driver

Abbildung 26 Annahmen für Business Case der Logistikdienstleister (Janssen et al. 2015)

Parameters	Peter Appel Transport	De Winter Logistics	Europe Container Terminals
Number of trucks used for platooning	35	44	10
Number of km per year per truck platooning	77,500	44,000	40,000
Number of man-hours	169,500	246,800	7,500

Fig. 11. The parameters used in the three business cases for carriers

Business Case – per year ³					
Case	Scenario	Total benefits	Total Costs	Profits	Profits per truck
Peter Appel Transport (PAT)	A. 2dr	492,000	28,400	463,500	13,200
	B. 1dr	1,157,200	28,400	1,128,800	32,300
De Winter Logistics (DWL)	A. 2dr	572,000	32,400	539,600	12,300
	B. 1dr	870,800	32,400	838,400	19,100
Europe Container Terminals (ECT)	A. 2dr	19,800	6,600	13,200	1,300
	B. 1dr	30,500	6,600	23,900	2,400

Abbildung 27 Ergebnisse von drei realen Business Cases (Szenario A: 2 LW und 2 Fahrer; Szenario B: 2 LW und 1 Fahrer) (Janssen et al. 2015)

Auch im COMPANION Projekt wird betont, dass Truck Platooning erst implementiert wird, wenn die Nutzen die Kosten deutlich übersteigen (Hanelt et al. 2016). Allerdings muss für eine spontane Platoon-Bildung eine gewisse Marktabdeckung erreicht werden, um den Anteil der Kilometer zu erhöhen, die LW in einer Kolonne fahren können (Platooning-Rate). Sobald die Marktdurchdringung ein höheres Niveau erreicht, wird davon ausgegangen, dass sog. Platooning Service Providers für die Koordination des Platoonings entstehen. Mittel- oder langfristig können weitere Vorteile erzielt werden, wie z. B. eine verbesserte Zusammenarbeit zwischen (konkurrierenden) Transportunternehmen oder die Nutzung und Vermarktung der durch das COMPANION Projekt angesammelten Daten.

Die Ergebnisse der Business Case-Analyse im COMPANION Projekt zeigen, dass Logistikunternehmen besonders vom niedrigeren Kraftstoffverbrauch, der sich aus dem reduzierten Luftwiderstand ergibt, profitieren (Hanelt et al. 2016). Abbildung 28 zeigt, dass die erwarteten Vorteile von Kraftstoffeinsparungen die Kosten für die Implementierung und den Betrieb von Platooning-Systemen überwiegen, obwohl die Gesamtleistungen für eine Platooning-Rate von 30% noch sehr niedrig sind. Es ist jedoch zu beachten, dass Logistikunternehmen, die sich für die Einführung von Platooning entscheiden, sich aufgrund der hohen Anschaffungskosten dann vollständig zu Platooning verpflichten sollten. Zum Beispiel wird für eine angenommene Platooning-Rate von 50% die Investitionsrendite erst im vierten Jahr erreicht.

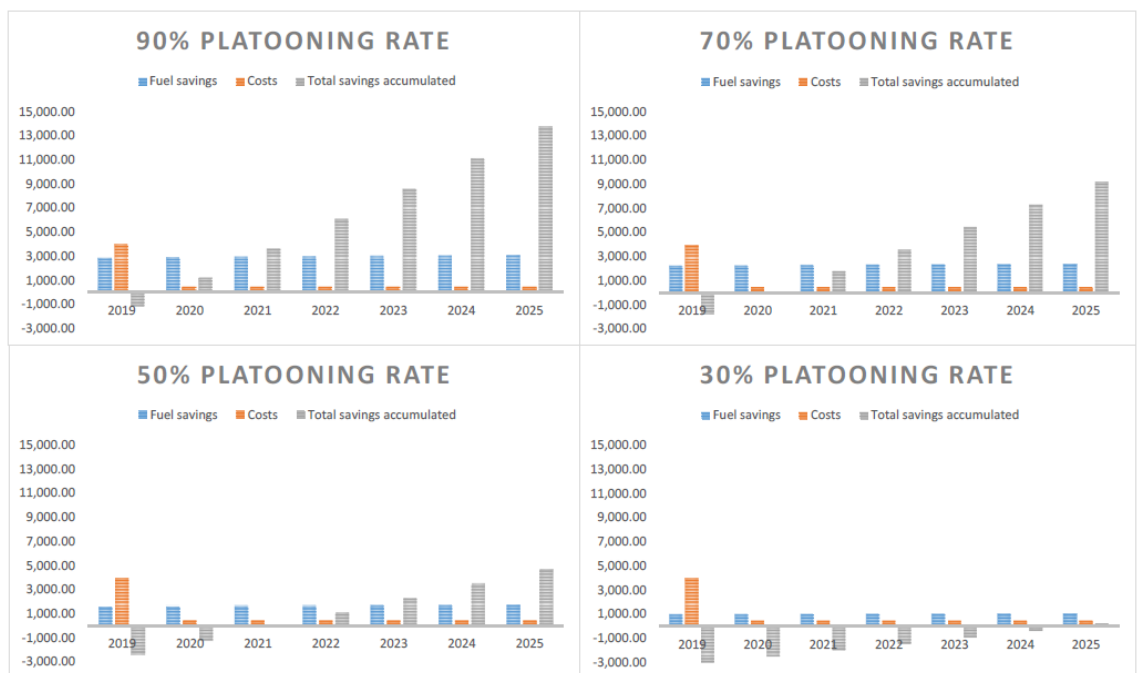


Abbildung 28 Jährliche Kraftstoffeinsparungen, Kosten und kumulierte Gesamteinsparungen für Logistikunternehmen (Hanelt et al. 2016)

Die Gesamteinsparungen in Europa hängen von der Anzahl der LW ab, die mit der Platooning-Technologie ausgestattet sind. Wenn z. B. 200.000 LW in der Lage sind in LW-Kolonnen zu fahren und dies im Durchschnitt 50% ihrer jährlichen Distanz tun, würden die Gesamteinsparungen einen Jahresdurchschnitt von mehr als 133 Mio. € (Kosten bereits

enthalten) betragen. Abbildung 29 stellt das gesamte Einsparpotenzial bzgl. Kraftstoffeinsparung in Europa pro Jahr dar, in Abhängigkeit der Platooning-Rate und der Anzahl der LW.

		Platooning Rate			
		30%	50%	70%	90%
Number of Trucks	1.500.000	29.408.874,00	999.014.790,00	1.968.620.706,00	2.938.226.622,00
	1.250.000	24.507.395,00	832.512.325,00	1.640.517.255,00	2.448.522.185,00
	1.000.000	19.605.916,00	666.009.860,00	1.312.413.804,00	1.958.817.748,00
	800.000	15.684.732,80	532.807.888,00	1.049.931.043,20	1.567.054.198,40
	600.000	11.763.549,60	399.605.916,00	787.448.282,40	1.175.290.648,80
	400.000	7.842.366,40	266.403.944,00	524.965.521,60	783.527.099,20
	200.000	3.921.183,20	133.201.972,00	262.482.760,80	391.763.549,60
	100.000	1.960.591,60	66.600.986,00	131.241.380,40	195.881.774,80

Abbildung 29 Jährliche Einsparpotenzial bzgl. Kraftstoffeinsparung in Europa (Adolfson 2016)

Die Energieeffizienz wird durch die Verringerung des Luftwiderstands beim Fahren in Platoons erreicht. Je näher die LW hintereinander fahren, desto geringer ist der Luftwiderstand für den hinteren LW (siehe Abbildung

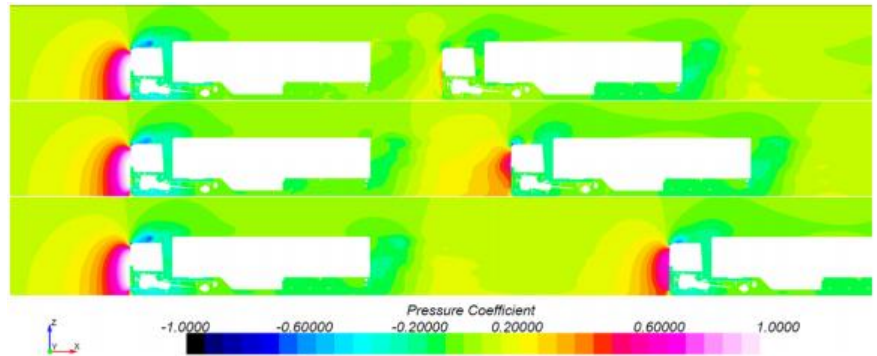


Abbildung 30 Simulation der Luftwiderstand von zwei LW mit unterschiedlichem Abstand (Ställberg 2016, 6)

30). Die Energieeffizienz von vielen weiteren Faktoren abhängig, wie bspw. Wetterbedingungen oder die Strassenführung. Des Weiteren ist die Energiereduktion des einzelnen LW davon abhängig, in welcher Position er im Platoon fährt (Alkim et al. 2016, 71). So haben verschiedene Pilotversuche gezeigt, dass der hintere LW weniger Energie als der Vordere benötigt. Dies ist im Forschungsbericht der North American Council for Freight Efficiency (NACFE) ersichtlich. Die NACFE hat folgende Liste der Pilotversuche und deren Ergebnisse bezüglich Energiereduktion zusammengestellt.










Investigation	Image	Following Distance	% Fuel Consumption Change vs. Alone		Conditions
			Lead	Follower	
Browand: USC PATH Testing 2003		3m (10ft) 4m (13ft) 6m (20ft) 8m (26ft) 10m (33ft)	9.2% 9.1% 7.1% 5.6% 6.0%	11.6% 12.2% 9.2% 10.8% 10.0%	Airport Runway No traffic 50-55mph Unladen Trailers MY 2001 Non-Aero Tractors Non-Aero Trailers Variable Winds
Roeth: Peloton Fleet Test 2013		(11m) 36ft	4.5%	10.0%	On highway Minimal Traffic 64 mph Laden Trailers MY 2011 Aero Tractors Skirted Trailers Variable Winds
Rotz: Daimler 3-Truck Platoon SAE Presentation 2015		(8m) 25ft	3%	7%	No Details
Lammert: NREL SAE Paper 2014	 Lead Follower	(6m) 20ft (9m) 30ft (9m) 30ft (9m) 30ft (12m) 40ft (15m) 50ft (15m) 50ft (23m) 75ft	5.3% 65mph 4.3% 55mph 4.1% 65mph 4.4% 70 mph 2.7% 65mph 2.2% 55mph 3.1% 65mph 1.7% 65mph	2.8% 8.4% 7.5% 4.6% 9.1% 9.7% 9.2% 9.4%	Oval Track No Traffic Varied Speeds 55-70 mph Laden Trailers 65k MY 2011 Aero Tractors Skirted Trailers Variable Winds
Bonnet: Daimler-Chrysler PROMOTE-CHAUFFEUR European Project 2000		6.7m (22ft) 7m (23ft) 8m (26ft) 10m (33ft) 12m (39ft) 14m (46ft) 16m (53ft)	9.5% 8.5% 8.5% 6% 5% 3% -	20.4% 20.6% 21% 20.8% 19% 17.3% 15.7%	Oval Track No Traffic Speed 50 mph Lead Truck Unladen 14.5t Following Truck Laden 28t Straight Trucks No Aero Treatments Constant Winds
Alam: Scania KTH Grand Cooperative Challenge Project		Not Specified – controlled time gap	4.7%-7.7% Identical Trucks 3.8%-7.4% Lead 10t Lighter 4.3%-6.9% lead 10t Heavier		On Highway Minimal Traffic Speed 43 mph 39t GVW COE Aero Variable Winds
KONVOI German Platooning in Traffic Study 4 Truck Platoon 2005-2009		10-15m (33-49 ft)	None	None	On Highway With Traffic Varying Speeds COE Non-Aero Variable Winds
European Commission SARTRE Project Mixed Platoon 2010-2012		5m (16ft) 6m (20ft) 7m (23ft) 8m (26ft) 9m (29ft) 10m (33ft) 12m (39ft) 15m (49ft)	7.5% 8.4% 7.5% 7.0% 5.4% 5.2% 3.7% 1.1%	16% 14% 12.5% 12.1% 10% 9.9% 8.1% 8.1%	Oval Track No Traffic 56 mph Unspecified weights Straight Truck Aero Variable Winds
Japan Energy ITS Project 3 & 4 Truck Platoon 2013		5m (16ft) 10m (33ft) 12m (39ft) 15m (49ft) 20m (66ft)	9.0% 3.3% 2.5% 1.0% 0%.	22.5% 19.0% 17.0% 15.1% 12.0%	Oval Track No Traffic 50 mph Unspecified weights Straight Truck Aero Variable Winds

Abbildung 31 Ergebnisse bezüglich Energiereduktion bei Pilotversuchen (NACFE 2016, 37)

Insgesamt gibt es viele unterschiedliche Einschätzungen zum Einsparpotenzial²⁷. So würde laut Continental das Folgefahrzeug bis zu 15% weniger Kraftstoff verbrauchen²⁸. Und Daimler AG gibt bspw. folgende Energiereduktion der einzelnen LW an: 1. LW = 3%, 2. LW = 7%, 3. LW = 6% (Mihelic et al. 2016, 31+37). Die beiden neusten Pilotprojekte, COMPANION und European Truck Platooning Challenge 2016, geben diesbezüglich keine Auskunft. Das COMPANION Projekt gibt an, dass der Energieverbrauch um durchschnittlich mindestens 5% reduziert wird (Ställberg 2016, 6; Batlle et al. 2015). Das Pilotprojekt „European Truck Platooning Challenge 2016“ hat den Energieverbrauch der LW nicht überwacht (Alkim et al. 2016, 71).

In Jacob (2017) werden die Einsparungen, die durch eine erhöhte Fahrerproduktivität erzielt werden können, erläutert. Wenn die LW-Fahrer ihre Fahraufgabe in einer LW-Kolonne intelligent aufteilen würden, könnte der Aktionsradius bspw. von 720 auf 960 km erhöht werden (siehe Abbildung 32). Das würde einem Produktivitätsgewinn von 30% entsprechen. In diesem Beispiel wird erwartet, dass die Zeit während dem Platooning für den hinteren Fahrer als „Erholung“ bewertet werden kann. Dies ermöglicht den Fahrern eine längere Zeit unterwegs zu sein. In der Praxis muss für dieses Anliegen das Arbeitsrecht geprüft und allenfalls angepasst werden.

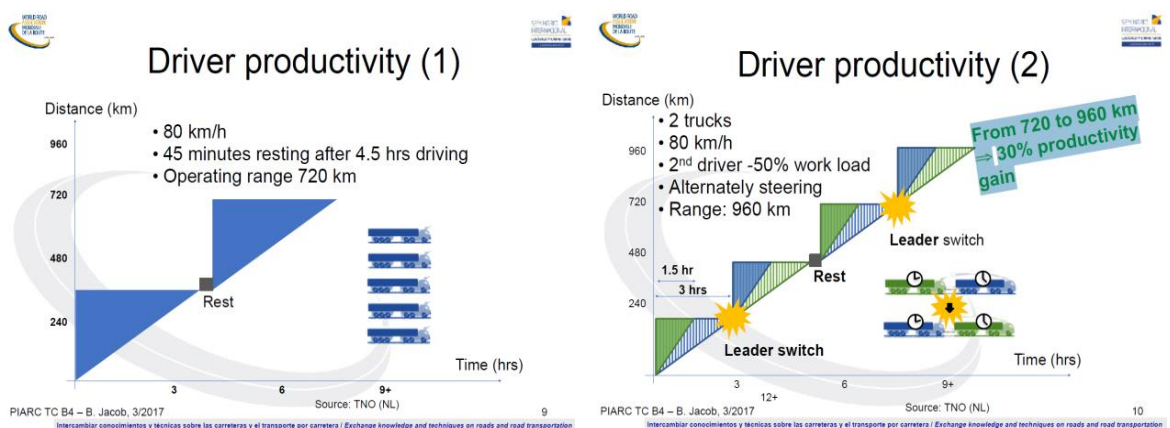


Abbildung 32 Produktivitätsgewinn durch erhöhte Fahrerproduktivität im Platooning (Jacob 2017)

Eines der wichtigsten Ziele der aktuellen Großversuche in Europa²⁹ ist es, zu untersuchen, ob die geschäftlichen und gesellschaftlichen Vorteile sich in der Praxis bewähren können.

Bakermans (2016) hat neben Treibstoffeinsparung und erhöhter Fahrerproduktivität noch andere Treiber identifiziert: u.a. erhöhte Strassenkapazität und erhöhte Verkehrssicherheit (siehe Abbildung 33). Aspekte, die als negativ für die Umsetzung von Truck Platooning

²⁷ N.B. Auch aerodynamische Verbesserungen ermöglichen ein signifikantes Einsparpotential. Bspw. kann das Einsparpotential eines aerodynamisch optimierten LW bis zu 25% betragen (in: Prokop & Stoller, 2012)

²⁸ http://www.continental-corporation.com/www/presseportal_com_de/themen/pressemitteilungen/1_topics/automatisiertes_fahren_de/pr-2016-09-02-platooning-de.html (abgerufen: 27.04.2017)

²⁹ Z. B. Real Life Cases (NL), DB Schenker & MAN (DE), Sweden4Platooning und SERET (SE), Concorde (CEF project proposal), ENSEMBLE (H2020 project proposal)

wahrgenommen werden können, wurden in der Tabelle als Hindernisse (Barriers) kategorisiert.

Enablers	Barriers
Use of existing and public infrastructure	Bundling of goods is needed
Realization of fuel savings	Platoon formation time
Larger truck driver productivity	Potential reverse modal shift
Increase in road safety	Many different stakeholders with conflicting interests
Increase in infrastructure capacity	Cooperation between shippers is needed
	Uncertain consequences make adopters hesitant
	Low penetration rate at first stages of implementation

Abbildung 33 Treiber und Hindernisse für die Umsetzung von Truck Platooning (Bakermans 2016)

A.1.6 Betrieb

TNO rechnet damit, dass Platoon-Bildung vorläufig von Transporteuren und Transportplanern selber geplant wird („scheduled platooning“, mono-brand), weil anfangs die Ausstattungsrate der LW sehr gering sein wird (Janssen et al. 2015). Sobald das Truck Platooning eine gewisse Verbreitung erfährt, wird es möglich sein, sich unterwegs dynamisch mit anderen LW zu verbinden („on-the-fly platooning“, multibrand). Bspw. hat der Botlek-Tunnel auf der niederländischen Autobahn (A15) hierfür grosses Potential. Der Tunnel wird pro Minute von 12 LW durchquert. Platooning Service Providers können als Vermittler zwischen verschiedenen Transportunternehmen fungieren, um Platoons mit zuverlässigen Partnern zu bilden. Neben der Rolle als „Kordinator“ können sie sich auch mit administrativen Aspekten befassen, wie z. B. Versicherungen und eine gerechte Verteilung der Vorteile unter den Platooningpartnern.

Beide Methoden zur Platoon-Bildung (scheduled/on-the-fly) wurden im Truck Platoon Matching Projekt mit Simulationsmodellen umfassend getestet und führten zu vielversprechenden Ergebnissen³⁰. Das Projekt wird von TNO geleitet und beinhaltet eine Kooperation mit 13 Akteuren aus der Transportwelt. Im Projekt geht es darum, ein Tool zu entwickeln um die richtigen LW zusammenzubringen. Dazu müssen z.B. die LW alle in die gleiche Richtung fahren, aber auch die Details ihrer Lasten müssen bekannt sein, weil es am effektivsten ist, wenn der LW mit der schwersten Last vorne fährt. Es ist auch wichtig, dass die Motorleistung der LW weitgehend übereinstimmen, da sie in der Lage sein müssen, mit etwa der gleichen Geschwindigkeit zu bremsen und zu beschleunigen. Die Ergebnisse aus diesem Projekt werden voraussichtlich im künftigen H2020 Projekt „ART03“ (geführt von TNO) weiter ausarbeitet. Die Schwerpunkte des H2020 Projekts liegen auf der Entwicklung und der Validierung von Platooning-Konzepten, -Technologien und -Funktionalitäten. Des Weiteren soll die Robustheit von Multibrand Platooning auf einem echten (vorzugsweise internationalen) Korridor demonstriert werden.

Im COMPANION Projekt (2014-2016) wurde u.a. ein Echtzeit-Koordinationssystem entwickelt um LW-Platoons nach einem Entscheidungsmechanismus dynamisch zu erstellen, zu pflegen und aufzulösen, wobei historische und Echtzeitinformationen über den Zustand der

³⁰ <https://www.tno.nl/en/focus-areas/urbanisation/mobility-logistics/reliable-mobility/truck-platoon-matching-paves-the-way-for-greener-freight-transport/> (Abgerufen: 11.04.17)

Infrastruktur (Verkehr, Wetter) berücksichtigt werden. Bspw. wurden drei Fahrzeuge, die von verschiedenen Orten abgefahren sind, in Echtzeit koordiniert, damit sie eine Kolonne auf dem gemeinsamen Teil ihrer Route bilden konnten.

Insb. koordinierte Abfahrtszeiten ermöglichen Platooning (Martensson 2016). Im COMPANION wurde daher folgender Lösungsansatz angewandt (siehe auch Abbildung 34):

1. Optimale Route für jeden LW
 - Routing
 - Platoon-Paare festlegen
2. Positionen der LW im Platoon bestimmen und fixen Fahrplan erstellen
 - Paarweise planen
 - Bestimmen ob ein LW als „Leader“ oder „Follower“ unterwegs sein wird
3. Zeitplan für die einzelnen LW einstellen

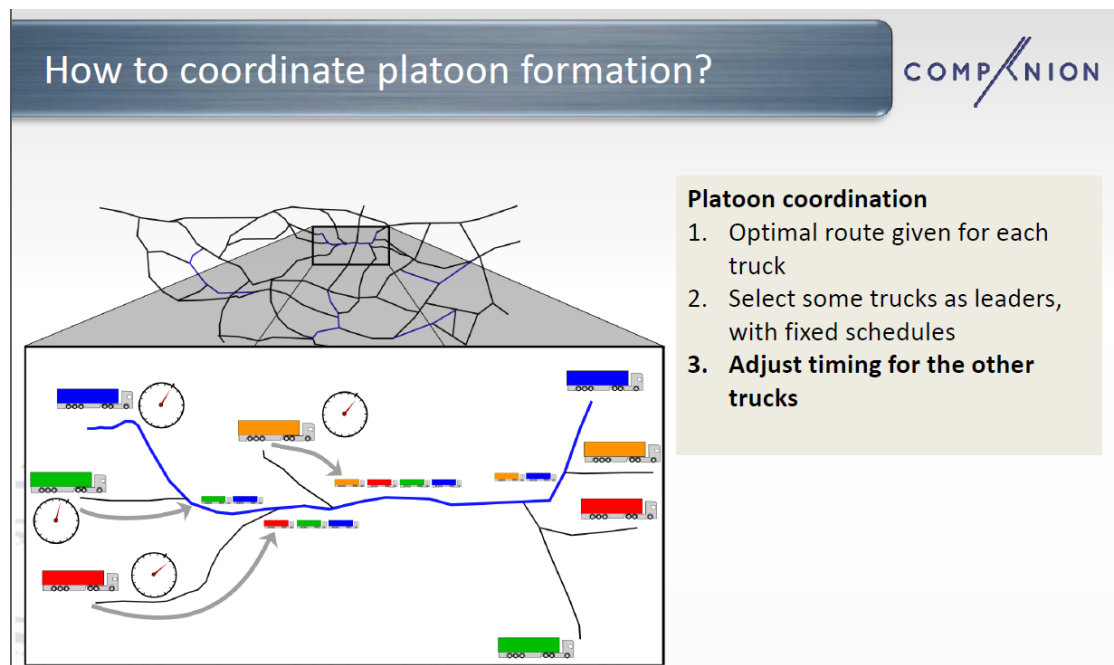


Abbildung 34 Platoon-Bildung nach koordinierten Abfahrtszeiten im COMPANION Projekt (Martensson 2016)

In der European Truck Platooning Challenge haben die Straßenverkehrsbehörden die Bedingungen festgelegt, die aus ihrer Sicht nötig sind damit Truck Platooning auf Autobahnen im normalen Verkehr sicher betrieben werden kann. In manchen Regelungen (Exemptions) wurden z. B. komplexe Verkehrssituationen, wie Ein- und Ausfahrten, Stau und schlechtes Wetter, fürs Platooning ausgeschlossen. Eine automatische Entkopplung wird initiiert, wenn andere Verkehrsteilnehmer in eine Kolonne „eindringen“.

Nach der Regelung in den Niederlanden (Code of Practice) musste eine LW-Kolonnie bei Ein- und Ausfahrten entkoppeln. Allerdings wurde während der Challenge anhand Luftaufnahmen eine Situation in der Nähe von einer Einfahrt wahrgenommen, wo es wahrscheinlicher gewesen wäre, wenn die Kolonne nicht entkoppelt hätte (vgl. Alkim et al. 2016, 53).

Immerhin werden CACC- und Truck Platooning-Systeme immer wieder auf das sichere Umgehen mit anderen Verkehrsteilnehmern getestet, insb. bei Einfahrten. Bspw. wurde im Adaptive Projekt (2014-2017) ein System zum „cooperative highway merging“ entwickelt und getestet³¹. Im März 2017 haben Volkswagen und Volvo Group Trucks Technology in der Nähe von Wolfsburg erfolgreich demonstriert, wie ein LW auf der Autobahn in der Nähe von einer Einfahrt mit einem PW auf dieser Einfahrt kommunizieren kann, damit genügend Platz fürs Einfädeln geschaffen wird. Im Projekt wurde ein neues Nachrichtenformat für V2X Kommunikation erstellt, das es ermöglicht, die On-Board-Sensordaten zwischen Fahrzeugen zu teilen.

Auch die Zollabfertigung stellt beim Truck Platooning im grenzüberschreitenden Verkehr ein Thema dar. Bereits heute besteht unter gewissen Voraussetzungen die Möglichkeit einen Grossteil der Zollabfertigung mit elektronischer Datenübermittlung abzuwickeln (Chesaux 2015). Für ein grenzübergreifend funktionierendes Truck Platooning kann die Digitalisierung der Zollprozesse entscheidend sein. Grundsätzlich sind zwei Möglichkeiten vorstellbar: Zum einen kann die Zollabfertigung für den einzelnen LW des Platoons separat abgewickelt werden. Zum anderen könnten die LW des Platoons für die Zollabfertigung als eine Einheit betrachtet werden. Das Letztere kann zu einer zusätzlichen Beschleunigung der Zollabfertigung führen. Inwiefern dies in der heutigen gesetzlichen Grundlage erlaubt ist, muss noch geprüft werden.

A.1.7 Akzeptanz

Die bisherigen Truck Platooning-Feldversuche wurden in der Regel mit hochqualifizierten und motivierten LW-Fahrern, die mit den Systemen und deren Einschränkungen vertraut waren, ausgeführt. Bspw. hatten alle 18 Testfahrer in der European Truck Platooning Challenge schon Erfahrung mit Truck Platooning.

Die meisten Testfahrer der Challenge fanden die Erkenntnis Teil einer größeren Entität zu sein und die Position dieser neuen Entität im Verkehr den Hauptunterschied zwischen dem Fahren in einem normalen LW und in einer LW-Kolonnie. Insb. der LW-Fahrer des Führungs-LW trägt eine große Verantwortung für die ganze Kolonne und muss sich immer von der vollen Länge des Platoons bewusst sein. Seine Hauptaufgabe ist es, die Kolonne zusammenzuhalten und dabei auf potenzielle Probleme zu antizipieren, bei der Annäherung an Ein- und Ausfahrten auf andere Verkehrsteilnehmer (insb. LW) zu achten, einen größeren Sicherheitsabstand zum Fahrzeug vor der Kolonne zu halten, usw. Weiter wurde behauptet, dass die Steilheit der Straße für den Fahrer stressiger ist als der kürzere Sicherheitsabstand.

Die Funkkommunikation ist wichtig für den Informationsaustausch mit den Fahrern in den Folge-LW. Alle Fahrer müssen bei der Bewältigung von Verkehrssituationen zusammenarbeiten (z. B. Spurwechsel). Im COMPANION Projekt wurde eine grafische Benutzeroberfläche implementiert, um den Fahrer im Folge-LW über die verschiedenen Manöver der LW-Kolonnie zu informieren (Hanelt et al. 2016) (siehe Abbildung 35). Der Informationsaustausch über diese Schnittstelle soll insb. das Potenzial für Stressgefühle und den Mangel an Situationsbewusstsein, der durch die eingeschränkte Sicht beim Fahren in engen Abständen verursacht wird, reduzieren. Es wurden mehrere Tests verwendet (z. B.

³¹ <https://www.adaptive-ip.eu/index.php/reader/adaptive-partners-synchronised-cooperative-highway-merging.html> (Abgerufen: 11.04.17)

Situation Awareness Rating Technique, Think Aloud Technique) um den Prototyp für den Feldtest zu entwickeln bzw. optimieren. Die Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass die bereitgestellten Informationen das Bewusstsein der Fahrer vergrößern. Die Benutzeroberfläche wurde insgesamt als nutzbar gesehen (Achtung: Stichprobe: N=3).



Abbildung 35 Benutzeroberfläche im COMPANION Projekt (Pillado 2016)

Im Allgemeinen gibt es beim Platooning Bedenken über den psychologischen Zustand des Platoon-Fahrers, der von der direkten Kontrolle befreit ist, aber dennoch verantwortlich ist für die Überwachung der Außenumgebung, um potenzielle Bedrohungen zu erkennen. Heikoop et al. (2017) haben die Effekte von Platooning auf die Signaldetektionsleistung, die Arbeitsbelastung und den Stress mittels einer Fahrsimulatorstudie untersucht. Insgesamt 22 Probanden sind unter verschiedenen Bedingungen (No Task, Voluntary Task, Detection Task) 3x 40 Min. in einer vollautomatisierten 5-PW-Kolonne (im 3. PW) gefahren. Die Idee, dass automatisiertes Fahren Menschen in eine äußerst stressige Überwachungsrolle bringt, wurde in dieser Studie nicht bestätigt. Obwohl die Voluntary Task-Bedingung die geringste Arbeitsbelastung erzeugte und am wenigsten stressvoll war, blieben die Testfahrer in der Detection Task-Bedingung die ganze Zeit aufmerksam, mit einer durchschnittlichen Trefferquote von 94,7%. Um die Leistung zu erhöhen und den Stress abzubauen, wird empfohlen die Art der Aufgabe und die time-on-task Komponente im Systemdesign zu berücksichtigen.

Automatisierte und vernetzte Fahrsysteme stellen dem Fahrer neue Funktionen zur Verfügung, die derzeit noch nicht Gegenstand der Fahrausbildung sind. Neue Anforderungen, wie die Übergabe und Übernahme der Fahraufgabe, sollen in die Fahrlehrer- und Fahrausbildung aufgenommen werden (BMVI 2015). Die Zertifizierung von Fahrern und Transportunternehmen könnte zu einer erhöhten Akzeptanz der Fahrer führen (vgl. Alkim et al. 2016).

Im COMPANION Projekt wurde gestellt, dass andere Verkehrsteilnehmer zunächst einen gewissen Widerstand gegen das Platooning haben könnten, der mit der Zeit abnimmt, denn sobald einem bewusst wird, dass das Platooning die CO₂-Emissionen reduziert und die Sicherheit erhöht, wird dies die Akzeptanz des Systems deutlich erhöhen (Urpi & Pont 2016).

Auch einige Testfahrer in der European Truck Platooning Challenge behaupten, dass LW-Kolonnen für andere Verkehrsteilnehmer (insb. LW) lästiger sind als für die Fahrer der Kolonne selbst. Es wurde u.a. vorgeschlagen, andere Verkehrsteilnehmer zu unterrichten, wie sie mit LW-Kolonnen umgehen sollen. Hierdurch könnte auch das gefährliche Nachahmungsverhalten von einzelnen (nicht-ausgerüsteten) LW, das einige Testfahrer während der Challenge beobachtet haben, vermieden werden.

Bspw. war es für die Testfahrer nervig, wenn andere Fahrzeuge, insb. LW, in die Kolonne einfädelt und die Kolonne dadurch automatisch entkoppelt wurde. Das Wiederanschließen nachher war zeitaufwendig. Platooning mit kürzeren Abständen (z. B. 11 m) kann dabei helfen anderen Verkehrsteilnehmern zu signalisieren, dass Einscheren in die LW-Kolonne nicht erwünscht ist. Auch haben die blinkenden Lichter am Platoon (in Deutschland) geholfen, andere Verkehrsteilnehmer auf die Kolonne aufmerksam zu machen, wodurch die Kolonne weniger oft „gebrochen“ wurde.

Im COMPANION Projekt wurde ein „vergrößerte Lücke“-Manöver („increased gap“ maneuver) entwickelt, um Fahrzeuge, die in die LW-Kolonne einfädeln möchten, automatisch zu erkennen und die Lücke zu einem sicheren Abstand zu erhöhen (Hanelt et al. 2016). Diese Funktionalität sollte der Öffentlichkeit weitgehend mitgeteilt werden, so dass andere Verkehrsteilnehmer sich bewusst sind, dass sie sich in eine LW-Kolonnen einfädeln können, ohne sich um den Sicherheitsabstand zu kümmern.

A.1.8 Infrastruktur

Es soll immer klar sein, wo – auf welchen Teilen der Infrastruktur – das Truck Platooning stattfinden darf, z. B. auf der Grundlage der Straßennetz-Eignung, High-Definition Karten und zuverlässigen Echtzeit-Verkehrsinformationen (Alkim et al. 2016). Bspw. war Truck Platooning in Baden-Württemberg während der European Truck Platooning Challenge nur auf Autobahnen mit Pannestreifen zugelassen.

Im Allgemeinen wird die Effektivität von Truck Platooning reduziert, wenn es eine hohe Dichte an Ein- und Ausfahrten gibt. Die Frage inwieweit die Infrastruktur für Truck Platooning (und automatisiertes Fahren im Allgemeinen) angepasst werden sollte, ist noch offen (Alkim et al. 2016). Langfristig wird angedacht, dass das Verkehrsmanagement einen Anreiz für Truck Platooning geben sollte, z. B. durch die dynamische Zuordnung von Spuren für Truck Platooning. Auch das Zertifizieren von Strecken für Truck Platooning könnte nützlich sein.

Die Tunnel auf den Strecken der European Truck Platooning Challenge 2016 sind so kurz, dass Systemausfälle nach den Herstellern als höchst unwahrscheinlich bewertet wurden. Deshalb forderte nur Belgien, dass die LW-Kolonnen 200m vor dem Tunnelportal entkoppeln müssen (Alkim et al. 2016). Über mögliche Systemausfälle in Kurven oder auf Steigungen bzw. Gefällen ist wenig bekannt.

Über die Auswirkungen des Truck Platoonings auf den Verschleiß von Straßen und Brücken wären vertiefte Forschungsarbeiten erforderlich (Alkim et al. 2016). Negative Effekte könnten durch Systemeinstellungen verringert werden, wie z. B. ein anderes Spurverhalten als der Vordermann (Versetztes Fahren). Einige Ausnahmen (Exemptions) erforderten ein Höchstgewicht von 20 Tonnen und eine obligatorische Entkopplung auf Brücken. Schweden

hat angegeben, in künftigen Feldversuchen mit Truck Platooning auf Brücken einen längeren Abstand zwischen den LW zu verlangen.

Jacob (2017) besagt, dass LW-Kolonnen für neue Brücken nicht sehr kritisch sein sollten. Erhöhte Lasteffekte werden schon berücksichtigt durch z. B. Lastsicherheitsfaktoren, Stau und Extrapolation von Langzeit-Lasteffekten. Ein besonderes Augenmerk sollte auf Truck Platooning auf längeren Brücken gerichtet werden (siehe Abbildung 36). Hier wäre eine Effektminderung möglich durch u.a.:

- Begrenzung der Anzahl der LW im Platoon
- Obligatorische Entkopplung des Platoons vor der Brücke (z. B. Verkehrszeichen)
- ITS-Lösungen:
 - Überwachung des Gesamtgewichts (mittels Weigh-in-Motion)
 - Bewertung der Lasteffekte für eine gegebene Brücke
 - Genehmigung / Verbot des Platoons über die Brücke oder einen Mindestabstand in Abhängigkeit von den Lasten und der Anzahl der LW

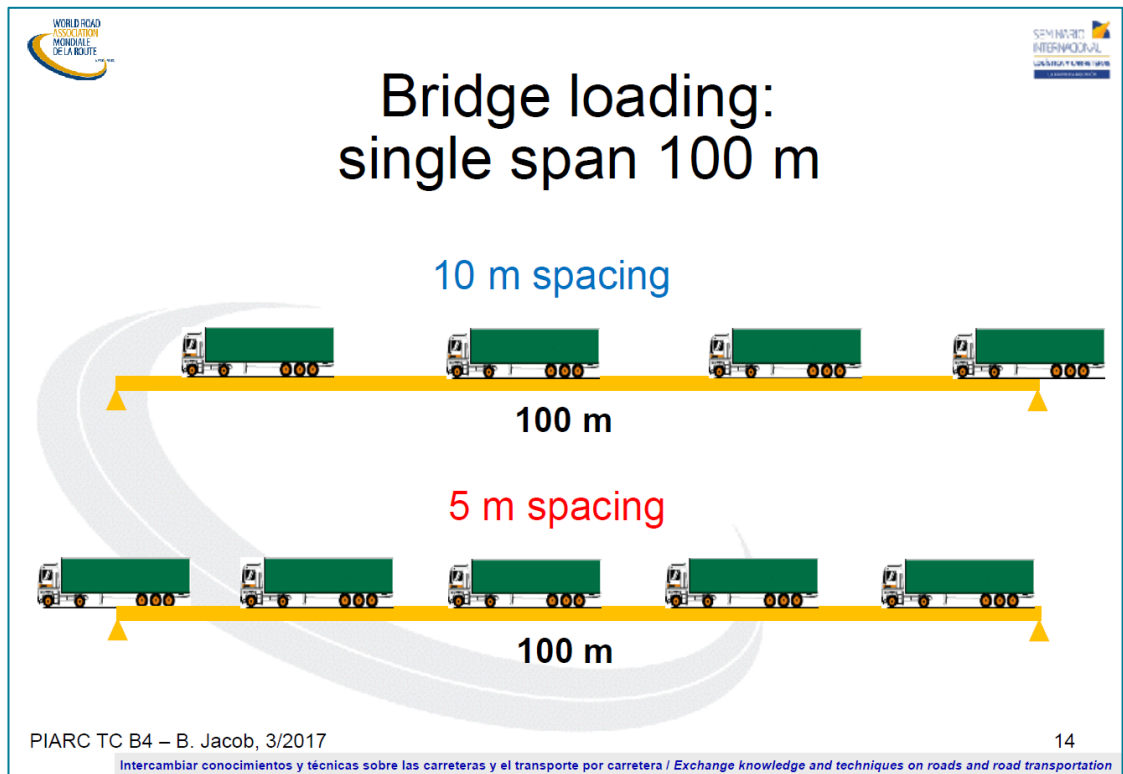


Abbildung 36 Augenmerk auf Truck Platooning auf längeren Brücken (Jacob 2017)

A.1.9 Rechtliche Rahmenbedingungen (inkl. Haftpflicht)

Die Einführung von Truck Platooning -oder breiter betrachtet - von automatisiertem Fahren bedarf der nationalen und internationalen Anpassung rechtlicher Rahmenbedingungen.

Lange stand Artikel 8 des Wiener Übereinkommens von 1968, mit welcher der Straßenverkehrsregeln weltweit vereinheitlicht werden, verschiedenen technologischen Entwicklungen entgegen. Als Grundlage für nationale Regelungen wurde im März 2014 von der zuständigen Arbeitsgruppe der UN-ECE eine Änderung des entsprechenden Artikels verabschiedet³². Das Übereinkommen erlaubt nun, dass automatisierte Systeme die Führung eines Fahrzeugs beeinflussen – allerdings nur, wenn sie vom Fahrer jederzeit übersteuert oder abgeschaltet werden können. Das Übereinkommen fordert jedoch weiterhin, dass jedes Fahrzeug einen Fahrer haben muss. Damit ist der Betrieb automatisiert fahrender Fahrzeuge ohne Fahrer nach heutigem Stand nicht möglich. Allerdings arbeitet die Arbeitsgruppe bereits an einer neuerlichen Erweiterung des Übereinkommens, damit künftig auch automatisierte Systeme zugelassen werden können. Darüber hinaus müssen weitere internationale technische Regelwerke (UN-R-Vorschriften) als auch die Lenk- und Ruhezeiten für LW-Fahrer (Verordnung (EG) Nr. 561/2006) geprüft bzw. überarbeitet werden.

Eine offene Frage ist die Verantwortung und Haftung im Falle eines Unfalls, wenn die Kontrolle auf das Truck Platooning-System übertragen wird (Alkim et al. 2016). Bspw. wird in der neuen Gesetzgebung in Deutschland zugelassen, dass der Fahrer in einem vernetzten und automatisierten Fahrzeug dem technischen System in bestimmten Situationen die Fahrzeugsteuerung übergeben kann³³. Die letzte Verantwortung bleibt aber bei ihm. Allerdings darf die ordnungsgemäße Nutzung automatisierter und vernetzter Fahrzeuge gegenüber dem Fahrer den Vorwurf einer Sorgfaltspflichtverletzung nicht begründen; ihm sollen hierdurch keine zusätzlichen Haftungsrisiken aufgebürdet werden (BMVI 2015).

Vorgeschlagen wird, dass eine Art „Blackbox“ die Schuldfrage bei einem Unfall klären soll³⁴. Das Gerät zeichnet die wesentlichen Daten der Fahrt auf. Damit lässt sich nach einem Unfall klären, ob die Technik (und damit Hersteller) oder der Fahrer die Schuld trägt. Die Aufzeichnung soll zudem sicherstellen, dass sich der Fahrer nicht pauschal auf ein Versagen des automatisierten Systems berufen kann. Vorbereitungen zu den entsprechenden technischen Spezifikationen laufen derweil auf Ebene der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN-ECE).

Die Haftung spielt nicht nur eine Rolle zwischen Fahrzeughersteller und Logistikdienstleister; auch die Haftung der Straßenbehörde könnte sich ändern, insb. wenn die Straßenbehörde verpflichtet wäre, bestimmte Anpassungen der Infrastruktur fürs vernetzte und automatisierte Fahren vorzunehmen (z. B. Straßenmarkierungen). Ob dies realistisch ist oder nicht, muss weiter auf EU-Ebene diskutiert werden (Alkim et al. 2016).

³² Bspw. wurde in Deutschland im April 2016 den vorgelegten Gesetzentwurf zur Umsetzung des geänderten Wiener Übereinkommens über den Straßenverkehr beschlossen

³³ <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2017/01/2017-01-25-automatisiertes-fahren.html> (Abgerufen: 12.4.17)

³⁴ <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2017/01/2017-01-25-automatisiertes-fahren.html> (Abgerufen: 12.4.17)

A.2 Experten-Interviews

A.2.1 Gesprächsnotiz Peter Galliker, CEO Galliker Transport AG, Telefonat vom 12. April 2017, 9.45- 10.15 Uhr

Bereits heute sind die LW der Firma Galliker standardmässig mit Abstandhaltersystemen ausgerüstet. Die Entwicklungen im Bereich Platooning verfolgt der Logistikdienstleister mit Interesse, sind doch die Treibstoffeinsparungen einerseits aufgrund der Kostenreduktion aber auch vor dem Hintergrund ökologischer Aspekte von Interesse. Nach der LSVA und dem Personal sind die Treibstoffkosten der drittgrösste Kostenblock und so sind Einsparungen von 5%, welche über die gesamte Flotte erzielt werden können, bezüglich Business-Case durchaus relevant. Beim Personal werden keine nennenswerten Einsparungen erzielt. Einen Chauffeur wird es ähnlich dem Piloten im Flugzeug immer brauchen, seine Arbeit wird durch die Automatisierung etwas stressfreier, aber seine Präsenz wird im Interventionsfall und für den Be- und Entlad des Fahrzeugs weiterhin nötig sein.

Die Galliker Transport AG versucht in Abstimmung mit Verladern, stärker Einfluss auf die technologische Entwicklung der Fahrzeuge zu nehmen und man ist offen und bereit, in neue Themen wie die Digitalisierung/Automatisierung und Dekarbonisierung zu investieren. Ob nun die CO₂-Einsparung durch Platooning von konventionellen Dieselfahrzeugen oder durch eine Komplettumstellung auf Elektro-LW oder Gasfahrzeuge erzielt wird, ist offen. Derzeit hat man den Eindruck, die Fahrzeughersteller beschäftigen sich noch mehr mit der Digitalisierung und weniger mit der Dekarbonisierung. Es kann nicht sein, dass die Fahrzeughersteller alleine den Bedarf und die Bedürfnisse beeinflussen. Mutmasslich braucht es etwas regulatorischen Druck, damit sich Innovationen auf dem Markt rascher verbreiten. Die Bemühungen von Coop in der Rolle eines Verladers, einen H₂-LW auf den Markt zu bringen, repräsentieren die Situation gut. Bisher sind es Start-up Entwicklungen und Nischenanbieter (E-Force, Esoro), welche vorangehen. Seitens etablierter Fahrzeugindustrie (Volvo, IVECO etc.) bewegt man sich langsam in diese Richtung.

Die Einführung eines Truck Platooning auf Nationalstrassen dürfte in der kleinen Schweiz mit den vielen Autobahneinfahrten in Ballungsräumen einige Hürden zu überwinden haben. Bereits heute stellt sich das Problem des Spurwechsels, Personenwagen müssen sich zwischen den Abstand zweier LW von 150 m hineindrängen, um auf die Ausfahrten zu gelangen. Ein LW-Platoon im Dreierverbund könnte zwar kompakter unterwegs sein, zwischen den Platoons müssten aber Mindestabstände eingehalten werden, damit der Spurwechsel funktioniert. Ein LW-Platoonig könnte z.B. zwischen Bern und Lausanne möglich sein. Ein übergeordnetes Leitsystem müsste garantieren, dass der Verkehrsfluss im gemischten Personen und Güterverkehr auf Autobahnen funktioniert. Die LW-Platoons müssten sich spontan und überbetrieblich bilden lassen. Eine angeordnete disponente betriebliche Paketbildung auf Autobahnen ist in der Schweiz unvorstellbar. Denkbar ist, dass sich die ASTAG für ein offenes überbetriebliches System in der Schweiz einsetzen könnte, damit die Vorteile bezüglich verringertem Flächenverbrauch auf Autobahnen, verbesserter Sicherheit und ökologischem Mehrwert realisiert werden können.

Fazit:

- Treibstoff- und Kosteneinsparungen durch Platooning sind aus Sicht Logistikdienstleister relevant
- Platooning auf Schweizer Nationalstrassen könnte zwischen Bern – Lausanne erfolgen
- Platoon-Bildung muss spontan und überbetrieblich erfolgen können

Für die Gesprächsnotiz, Thomas Schmid
Zürich, 12. April 2017

A.2.2 Gesprächsnotiz Josef Jäger, CEO Camion Transport AG, Telefonat vom 18. April 2017, 11.00-11.30 Uhr

Die Camion Transport AG ist in der Stückgutlogistik aktiv und nutzt mit dem dualen Transportsystem die Bahn für den Nachtsprungtransport im Hauptlauf und LW und Lieferwagentransporte im Vor- und Nachlauf für die Sammlung und Verteilung der Güter. Die Fahrzeughersteller reagieren auf den Druck, Kosteneinsparungen beim Betrieb der Nutzfahrzeuge zu ermöglichen. Deshalb sind Ansätze, welche den Hebel bei den grossen Kostenblöcken Treibstoff und Personal ansetzen, nachvollziehbar und erwünscht. Erfahrungsgemäss müssen jedoch die Transporteure ihre Produktivitätsgewinne, die sie im Transport erwirtschaften, an die Verlader durch Preissenkungen weitergeben. Die Stossrichtung der Fahrzeugindustrie, selbstfahrende Fahrzeuge auf den Markt zu bringen, bringt für sich alleine nicht sehr viel, die Lösung liegt in der Vernetzung von Fahrzeug mit der Betriebssteuerung der Infrastruktur. Es geht darum, die bestehende Infrastruktur besser und sicherer zu nützen, deshalb ermöglicht das Platooning einen Business-Case, der ganz klar von Seite des Infrastrukturbetreibers getrieben werden soll.

Lediglich 40-45 von insgesamt über 600 Fahrzeugen setzt die Camion Transport AG für Langdistanz-Transporte ein, das wäre auch jener Einsatzbereich, wo ein Truck Platooning seinen grössten Nutzen für das Unternehmen erzielen könnte. Produktivitätsgewinne dank Treibstoffeinsparungen und beim Personal sind interessant, sofern sie auch tatsächlich unter den real existierenden Verhältnissen auf dem schweizerischen Nationalstrassennetz realisiert werden können. Aufgrund der vielen Ein- und Ausfahrten bräuchte es in der Schweiz eine Zufluss- und eine Fahrbahnbelegungssteuerung, damit eine Verflüssigung des Verkehrs erreicht und die unterwünschten Handorgeleffekte reduziert werden können. Eine Anwendung des Truck Platooning könnte zwischen Bern und Lausanne aber auch auf der Nord-Süd-Achse erfolgen.

Sofern sich die Technik in Europa etabliert, wird aufgrund des zweckmässigen Anwendungsbereichs im Langdistanztransport der Druck auf die Schweiz steigen, die Transit-Achsen für Truck Platooning zugänglich zu machen. Die Technologie schwächt mutmasslich die Wettbewerbsposition der Bahn, weil die LW-Transporte im Langdistanz- und Volumengeschäft produktiver werden. Die Schweiz möchte jedoch den Transitgüterverkehr auf der Bahn abwickeln, deshalb dürfte auch die politische Akzeptanz für eine Anwendung von Truck Platooning auf der Nord-Süd-Achse fraglich sein.

Fazit:

- Die Kopplung von Fahrzeugen mit Abstandhaltersystemen ermöglicht in erster Linie eine bessere und sicherere Nutzung der bestehenden Infrastruktur, deshalb sollte der Business-Case durch den Infrastrukturbetreiber getrieben werden.
- Ohne Zufluss- und Fahrbahnbelegungssteuerung ist Truck Platooning auf dem Schweizer Nationalstrassennetz aufgrund der hohen Einfahr-/Ausfahrtsdichte nicht anwendbar.
- Setzt sich die Technik in Europa durch, wird sich die Schweiz insb. auf der Nord-Süd-Achse nicht der Zulassungs-Diskussion entziehen können.

Für die Gesprächsnotiz, Thomas Schmid
Zürich, 19. April 2017

A.2.3 Gesprächsnotiz Nils Planzer, CEO Planzer Transport AG, Telefonat vom 20. April 2017, 8.15-8.45 Uhr

Die Planzer Transport AG ist sehr offen gegenüber den neuen Technologien, welche die Nutzung der Strassen in erster Linie sicherer und ökologischer machen. Das Unternehmen möchte die Technologien sobald wie möglich nutzen, sieht sich selber jedoch nicht als Treiber der Entwicklung.

Mutmasslich sind die Fahrzeughersteller in wenigen Jahren bereit, Platooning-Technologien anzubieten, welche überbetrieblich und zwischen den unterschiedlichen LW-Typen funktionieren. Hemmnisse dürften jedoch auf Seite Infrastruktur vorhanden sein, z.B. sind eine sehr gute Netzabdeckung und ein globaler Standard (5G) seitens Telekomanbieter erforderlich. Zudem ist das engmaschige Strassennetz in der Schweiz wahrscheinlich wenig für die Nutzung der Technologien geeignet. Man müsste auf Autobahnen eine dritte Spur für die gekoppelten Fahrzeuge zur Verfügung stellen, damit der Fluss nicht durch die ständigen Spurwechsel gestört wird und das Potential voll ausgeschöpft werden kann. Die Schweiz ist aus Logistikperspektive kein Komplettladungsland. Aus diesem Grund besteht seitens Logistik wahrscheinlich kein genügender Bedarf aus der Schweiz und für die Schweiz nach Truck Platooning. Massengüter und Komplettladungen, welche über lange Distanzen transportiert werden, sollten auf der Schiene abgewickelt werden.

Als Treiber der Entwicklung sieht Planzer primär die Infrastrukturbetreiber und Telekomanbieter, welche dank den Technologien die Strassennutzung für sämtliche Nutzer sicherer, ökologischer und stressfreier machen. Diesbezüglich besteht auch eine gewisse Erwartungshaltung gegenüber der öffentlichen Hand und einer Swisscom, mit den Technologien Schritt zu halten, damit die Vorteile der Technologien genutzt werden können. Vorstellbar wären Tests zwischen Bern und Lausanne / Vevey, denn es braucht wohl eine gewisse Distanz, damit Einsparungen beim Treibstoff realisiert werden können. Die Planzer Transport AG würde sich mit Interesse an einem überbetrieblichen Pilotversuchen in der Schweiz beteiligen.

Generell wird der Beitrag der Abstandhaltersysteme zur Linderung der Kapazitätsprobleme auf Nationalstrassen, solange sie sich nur auf ein Truck Platooning beziehen, als eher gering eingestuft. Auch der internationale Druck nach einer Zulassung von Truck Platooning auf der Nord-Süd-Achse dürfte verhalten sein. Die Schweiz hat im Transitverkehr mit dem Bau der NEAT ihre Hausaufgaben gemacht und der transitierende Güterverkehr sollte weiter auf die Schiene verlagert werden. Sowohl aus strategischer als auch aus wirtschaftlicher Sicht ist es daher sinnvoll, wenn die ASTAG bezüglich Truck Platooning eine passive Haltung einnimmt, denn Truck Platooning soll nicht die Verlagerung von der Strasse auf die Schiene untergraben.

Fazit:

- Die Schweiz ist aus Logistikperspektive kein Komplettladungsland. Aus diesem Grund besteht seitens Logistik wahrscheinlich kein genügender Bedarf aus der Schweiz und für die Schweiz nach Truck Platooning.
- Infrastrukturbetreiber und Telekomanbieter sollen dafür sorgen, dass dank der Technologien die Strassennutzung für sämtliche Nutzer sicherer, ökologischer und stressfreier wird.
- Die Planzer Transport AG würde sich mit Interesse an einem überbetrieblichen Pilotversuch in der Schweiz beteiligen. Die Autobahn Bern-Lausanne oder Bern-Vevey wäre für Testversuche geeignet.

Für die Gesprächsnotiz, Thomas Schmid
Zürich, 20. April 2017

A.2.4 Gesprächsnotiz Rainer Deutschmann, Leiter Direktion Logistik Transport, Migros-Genossenschafts-Bund, Telefonat vom 24. April 2017, 8.00-08.20 Uhr

Die Migros ist ein Grossunternehmen bestehend aus zahlreichen unterschiedlichen Unternehmenseinheiten (Industrie, Detailhandel der 10 regionalen Genossenschaften, Migros-Genossenschafts-Bund mit der Logistik etc.). Es herrscht somit eine gewisse Meinungsvielfalt und die Einschätzung zu den Chancen und Risiken von Abstandhaltersystemen auf Nationalstrassen und dem Truck Platooning dürften unterschiedlich ausfallen. Während die Genossenschaften einen eigenen Fuhrpark besitzen, konzentriert sich die Direktion Logistik Transport auf das Management und die Disposition von eigenen und Drittfahrzeugen.

Abstandhaltersysteme und das Truck Platooning stellt eine Weiterentwicklung hin zum automatisierten Fahren dar. Die Entwicklung verfolgt die Migros mit grossem Interesse und sie steht ihr positiv gegenüber. Die Direktion Logistik Transport führt ein eigenes Dossier zum automatisierten Fahren, damit eine eigene Einschätzung erreicht werden kann, welche Möglichkeiten die technischen Neuerungen bieten. Mutmasslich wird das automatisierte Fahren zuerst auf Autobahnen kommen, bevor es sich im untergeordneten Netz ausbreitet. Es ist jedoch noch zu früh, um über technische, betriebliche oder Business-Case Aspekte zu sprechen, hierzu fehlt es an einer vertieften Auseinandersetzung. Die Migros ist hocheifrig zu hören, dass sich das ASTRA dem Thema annimmt.

Jede Massnahme, welche zur Verbesserung der Verkehrssituation oder angesichts des bevorstehenden Wachstums nicht zu einer weiteren Verschlechterung beiträgt, sollte geprüft und weiter verfolgt werden. Das Truck Platooning oder generell die Abstandhaltersysteme ermöglichen, auf Autobahnen mit geringeren Abständen unterwegs zu sein, was zu einer Kapazitätssteigerung führt. Zudem dürfte die Verfügbarkeit von Fahrzeugdaten eine verbesserte Verkehrssteuerung ermöglichen.

Wichtig scheint, dass auch die Meinung der Öffentlichkeit bei den Abklärungen berücksichtigt wird. Werden Ängste geschürt, wenn plötzlich Lastwagenkolonnen unterwegs sind? Ferner stellen sich auch regulatorische Fragen, werden z.B. LW im Truck-Platoon bevorzugt behandelt?

Fazit:

- Truck Platooning stellt ein weiterer Schritt hin zum automatisierten Fahren dar. Die Migros steht der Entwicklung sehr positiv gegenüber und verfolgt sie mit grossem Interesse.
- Jede Massnahme, welche zur Verbesserung der Verkehrssituation beiträgt, sollte geprüft und weiter verfolgt werden.
- Die Akzeptanz des automatisierten Fahrens seitens Öffentlichkeit und regulatorische Fragen sollten in der Untersuchung ebenfalls mitberücksichtigt werden.

Für die Gesprächsnotiz, Thomas Schmid
Zürich, 24. April 2017

A.2.5 Gesprächsnotiz Bernhard Adamek (Leiter Markt, Innovation, Regulation) und Ronald Gressani (Berater Strategie & Projekte), SBB Cargo, Telefonat vom 24. April 2017, 10.30-11.00 Uhr

SBB Cargo beobachtet die Entwicklung der Automatisierung auf Seite der Strasse mit Interesse. Mutmasslich wird ein Truck Platooning (Automatisierungslevel 3) als Pilotbetrieb bereits vor 2025 auf Schweizer Nationalstrassen getestet, die vollen Effizienzgewinne werden jedoch erst bei höherem Automatisierungslevel langfristig erzielt. Ferner ist es fraglich, ob die kleinräumige Schweiz mit den vielen Ein- und Ausfahrten bei den Autobahnen das geeignete Anwendungsgebiet ist, braucht es doch ein gewisses Aufkommen mit gleicher Zieldestination. Am ehesten dürfte der Bedarf nach Truck Platooning auf grösseren Transportentfernungen und somit auf den Transitachsen in der Schweiz gegeben sein. Für ein Truck Platooning benötigt es ferner eine gewisse Kooperationsbereitschaft seitens der Logistikdienstleister. Gemäss heutiger Einschätzung ist dies Bereitschaft noch nicht gegeben. Es fehlt somit am Bedarf, Druck und auch an einer gewissen Nutzerakzeptanz.

Einerseits sind es die Fahrzeughersteller, welche die Technologie Richtung selbstfahrender Fahrzeuge treiben, andererseits dürften auch die Infrastrukturbetreiber aufgrund verbesserter Sicherheit und Kapazitätszugewinne der Strassen ein Interesse an der Anwendung der Technologien haben. Durch die Zugbildung von Fahrzeugen auf den Strassen wird letztendlich ein Bündelungskonzept der Bahn kopiert. Solange die an das Lead-Fahrzeug gekoppelten LW nicht führerlos sind, dürften die Effizienzgewinne für die Logistikdienstleister bescheiden ausfallen. Vermutlich dürfte die Entwicklung mit einer verstärkten Regulation (z.B. Sicherheitskontrollen bei Fahrzeugen) der Strasse einhergehen. Ein spontanes und überbetriebliches Truck Platooning im Binnenverkehr in der Schweiz wird erst mit einer zentralen Verkehrsflusssteuerung möglich sein. Somit würde eine weitere Annäherung des Verkehrssystems Strasse an jenes der Schiene erfolgen und mutmasslich dürften auch gewisse Vorteile des heutigen Strassenverkehrssystems (sehr hohe Flexibilität, geringe Regulierung) gegenüber dem Schienensystem schwinden.

Insgesamt wird die Automatisierungs-Entwicklung auf Seite Strasse die Tendenz zur stärkeren Ausprägung des Wettbewerbs weiter stützen. Grundsätzlich sollten Effizienzsteigerungen ermöglicht werden, solange die Wettbewerbsverhältnisse Strasse-Schiene fair bleiben. Kostensenkungen durch den Einsatz von innovativen Technologien werden auch im Bahnsystem angestrebt. Der Austausch zwischen Technologieanbietern, der Forschung und SBB Cargo wird auch das Bahnsystem weiter bringen. SBB Cargo steht aus diesem Grund der Entwicklung offen gegenüber.

Fazit:

- Durch die Zugbildung von Fahrzeugen auf den Strassen wird ein Bündelungskonzept der Bahn kopiert.
- Solange die an das Lead-Fahrzeug gekoppelten LW nicht führerlos sind, dürften die Effizienzgewinne für die Logistikdienstleister bescheiden ausfallen.
- Insgesamt wird die Automatisierungs-Entwicklung auf Seite Strasse die Tendenz zur stärkeren Ausprägung des Wettbewerbs weiter stützen.

Für die Gesprächsnotiz, Thomas Schmid
Zürich, 24. April 2017

A.2.6 Gesprächsnotiz Ueli Lüdi, Leiter Distribution und Systemtransporte, PostLogistics, Telefonat vom 25. April 2017, 17.00-17.30 Uhr

Postlogistics verfolgt die Entwicklung der Automatisierung des Strassenverkehrs mit grossem Interesse (siehe auch DPD-Studie Autonomes Fahren in der Paketzustellung, 11/2016). Das Platooning stellt einen Schritt Richtung Automatisierung dar. Die technischen Voraussetzungen dürften in wenigen Jahren gegeben sein, rechtliche und betriebliche Herausforderungen werden jedoch noch zu lösen sein.

Die Automatisierung von Transporten kann im Paketgeschäft bei den Systemverkehren zwischen den Paketzentren Frauenfeld, Härkingen und Daillens auf längeren Distanzen zu wünschbaren Effizienzgewinnen führen. Allerdings diktiert die knappen Verarbeitungszeitfenster die Organisationform und die Prozesse folgen bei der Post immer stärker dem Prinzip des kontinuierlichen Warenflusses. Es ist in den kritischen Zeitfenstern nicht vorstellbar, einen LW bei einem Paketzentrum im Systemtransport extra zurückzuhalten, um eine zeitliche Bündelung mit einem weiteren LW zu erzielen. Während den Zeitfenstern, die eine Bündelung ermöglichen, befördert die Post die Pakete zwischen den Sortierzentren auf der Schiene (Tendenz allerdings abnehmend). Mehr als 50% der Sendungen müssen am Folgetag zugestellt werden und es fehlt somit an Zeit, Sendungen für die Mengenbündelung zurückzuhalten. Einen echten Business-Case ergibt sich für die Post im Systemverkehr erst zum Zeitpunkt, wo die Fahrzeuge führerlos unterwegs sind. Gleiches gilt auch für die Transporte zwischen den Paketzentren und den rund 30 Distributionsbasen in der Schweiz, ab welchen die Zustellung erfolgt. Dort könnte eine Automatisierung interessant sein. Die Zustellfahrzeuge verlassen die Distributionsbasen alle zu einem ähnlichen Zeitpunkt und fahren dann in ihre Zustellgebiete (z.B. ca. 20 Lieferwagen von Daillens nach Lausanne, 5 Fahrzeuge von Rothenburg Richtung Stans). Würden diese Fahrzeuge gebündelt im Zug mit einer Person in das Zustellgebiet gefahren, könnte das Zustellpersonal die Fahrzeuge erst im Zustellgebiet übernehmen. Damit könnten längere Touren gefahren, die Fahrzeuge besser ausgelastet und Arbeitsfahrten des Zustellpersonals zu und von den Logistikzentren vermieden werden. Die Post besitzt eine genügend grosse Transportmenge, so dass keine überbetriebliche Kooperation zwingend nötig ist, um einen Business-Case für Postlogistics daraus abzuleiten. Die Entwicklung der Automatisierung wird durch die Fahrzeughersteller getrieben, wobei der Personenwagen und Consumer-Markt der Taktgeber ist. Bei den Nutzfahrzeugen hinkt die Entwicklung hinten her, es gibt auf dem Markt nicht einmal einen vernünftigen Elektro-Lieferwagen (<3.5t), den man noch mit einer Tonne Nutzlast beladen kann. Die Post beschafft jährlich ca. 250 Lieferfahrzeuge. Verglichen mit den grossen Akteuren in Europa kann damit noch keine Bestellermacht ausgespielt und die Fahrzeugentwicklung massgebend beeinflusst werden. Seitens Post hat die Inbetriebnahme von elektrischen Lieferwagen als Zustellfahrzeug derzeit eine hohe Priorität und es wäre wünschbar, die Automatisierung zusammen mit der Elektrifizierung der Fahrzeuge zu denken.

Fazit:

- Erst zum Zeitpunkt, wo die Fahrzeuge führerlos unterwegs sein können, ergibt sich für die Post einen interessanten Business-Case
- Sowohl im Systemverkehr als auch bei den Distributionstransporten könnten interessante Effizienzpotenziale realisiert werden.
- Die Elektrifizierung der Zustellfahrzeuge ist aktuell ein Bedürfnis, das kurzfristiger angegangen wird als die Automatisierung der Fahrzeuge.

Für die Gesprächsnotiz, Thomas Schmid
Zürich, 26. April 2017

A.2.7 Gesprächsnotiz Tom Alkim, Senior Advisor Connected & Automated Driving bei Rijkswaterstaat (NL), Telefonat vom 24. April 2017, 9.00-9.45 Uhr

Wann fahren die ersten LW-Platoons in der Schweiz? Im vergangenen Jahr wurde gedacht, dass Truck Platooning in fünf Jahre (2021) in der EU betrieben wird. Es ist durchaus denkbar, dass im Langstreckenverkehr LW-Platoons durch die Schweiz und Österreich fahren werden. Es ist jedoch wenig über die möglichen Treibstoffeinsparungen beim Truck Platooning auf bergigen Strassen bekannt. Durch das Testen von CACC in Staus (bergauf und bergab) kann Japan diesbezüglich eventuell Erfahrung aufweisen. Bei diesen Versuchen ging es jedoch vor allem um einen stabilen Verkehrsfluss.

Ob Truck Platooning tatsächlich im Jahr 2021 realisiert wird, ist noch fraglich. Eine wichtige Voraussetzung ist ein wesentlicher Bedarf für Truck Platooning bei Unternehmen, welche die notwendigen Investitionen rechtfertigen müssen. Hierbei spielen verschiedene Huhn-Ei-Probleme eine Rolle:

1. LW-Hersteller bieten Truck Platooning noch nicht kommerziell an und warten zuerst auf eine ausreichend hohe Marktnachfrage. Logistikunternehmen werden die Technologie erst kaufen, wenn sie im Handel erhältlich ist.
2. Truck Platooning ist über Ausnahmeregelungen möglich, aber die Rechtsgrundlage fehlt noch. Rechtliche Rahmenbedingungen werden erst geschaffen, wenn die soziale Nachfrage und Business Cases ausreichend nachgewiesen worden sind. LW-Hersteller und Logistikunternehmen werden die Technologie erst anwenden, wenn die Rechtsgrundlage da ist (Bei ACC ist die Rechtsgrundlage erst nach der Markteinführung angepasst worden).

Wirklich attraktiv scheint Truck Platooning erst bei Einführung als Multi-Marke zu sein, was noch nicht möglich ist. Die Weiterentwicklung von Truck Platooning mit verschiedenen Marken ist Zweck des H2020 Projekts ART-03. Dieses Projekt wird von TNO (Bastiaan Krosse) geführt und wird zwischen 2018 – 2021 stattfinden. Aufgrund der verschiedenen Marken der Technologien sind weitere Untersuchungen erforderlich. Dabei spielen die Zusammenarbeit und das Vertrauen der verschiedenen LW-Hersteller eine wichtige Rolle, weil die LW basierend auf Algorithmen anderer Hersteller fahren.

Zusammenfassend scheint es, dass Truck Platooning erst nach 2021 kommerziell zum Einsatz kommen wird und stark von folgenden Punkten abhängig ist:

- Eigene Bedürfnisse des Marktes: Treibstoffkosten- und (langfristig) Arbeitskostensparnisse (z.B. Singapur: Automatisierte Transporte ohne Fahrer auf eigenen Fahrspuren, EU: Umstellung Position des Fahrers während der Fahrt, Anpassung Ruhezeit)
- Weiterentwicklung von Multibrand Truck Platooning
- Anpassung der Rechtsvorschriften

Nach Angaben der Regierung liegt der Ball beim Markt: Das Konzept und die Herausforderungen sind klar. Wenn Truck Platooning in der Praxis nur mit grossen staatlichen Investitionen kommen würde, dann gibt es offensichtlich keinen guten Business Case. Auch für die weitere technologische Entwicklung ist die Regierung nicht erforderlich. In der EU kommen zurzeit viele Projekte hinzu, wie bspw. H2020 ART-03, Real Life Cases in NL,

Platooning4Sweden, Platooning Projekt in UK. Ob die verfügbare Kapazität noch ein einschränkender Faktor ist?

Bei den Real Life Cases in den NL wird ein halbes Jahr lang alles über das Truck Platooning im täglichen Logistikprozess untersucht. Studien über Truck Platooning zeigen oft eine ideale Umgebung auf. Die realen Fahrten von Tür zu Tür sind jedoch bei weitem nicht ideal, z.B. aufgrund der Platoon-Bildung (sich finden über eine Plattform wie bspw. COMPANION) oder den Verkehrsbedingungen (z.B. erschweren Einfahrten das Zusammenhalten vom Platoon). Interessant wäre es zu wissen, wie viel Prozent in der Praxis im Platoon gefahren werden kann (<50%, aktuelle Schätzungen scheinen zu rosig) und ab wann bzw. ab wie viel Km im Platoon sich die Investition lohnt. Die Regierung stellt einen finanziellen Anreiz zu Real Life Cases, obwohl die Kosten idealerweise zwischen LW-Hersteller und Transporteure geteilt werden sollten (z.B. 1/3 Transporteure, 1/3 LW-Hersteller, 1/3 Regierung. Mehr Infos von Joris Cornelissen, Rijkswaterstaat, joris.cornelissen@rws.nl).

Für Pilotprojekte sind Ausnahmeregelungen erforderlich, welche das Truck Platooning auf öffentlicher Strasse erlauben. Durch die European Truck Platooning Challenge ist diesbezüglich viel Erfahrung gesammelt worden. NL hat ein Verfahren festgelegt, wobei die Beurteilung durch den RDW und die Strassenbehörde in verschiedenen Schritten erfolgt (Test auf geschlossener Strasse, Test auf öffentlicher Strasse). Bei Pilotprojekten ist es zudem wichtig, diese mit einem „gesunden Menschenverstand“ zu starten. Zu welchem Zweck dienen Pilotprojekte? Truck Platooning ist technisch möglich. Interessanter ist es, sich auf die noch offenen Fragen zu konzentrieren und aus Experimenten zu lernen. Aus Sicht der Forschung ist bspw. folgendes interessant: Empirische Daten des Truck Platooning in Bergregionen sammeln. Da ein Pilotprojekt einen relativ grossen Aufwand mit sich bringt, ist es wichtig, Forschungsaspekte von Anfang an zu berücksichtigen (z.B. kann die Installation von Datenlogger oder Kameras notwendig sein). Gerne bietet Rijkswaterstaat der Schweiz Beratung (oder als Gutachter) bezüglich Pilotprojekten in der Schweiz an.

Momentan gibt es keine Subventionen oder Anreize in NL für ACC oder CACC für Personenwagen. Die verkehrlichen Auswirkungen von ACC scheinen eher negativ zu sein, da „string instabilität“ auftritt, wenn viele Autos mit ACC fahren. Die Kommunikation im Strassenverkehr, z.B. via CACC, steht ganz oben auf der politischen Agenda. Das Informieren von Verkehrsteilnehmern über Systeme, wie ACC und CACC, ist eine Aufgabe der öffentlichen Hand und könnte verbessert werden. Es bleibt abzuwarten, welche Prioritäten das neue Kabinett bilden wird.

Für die Gesprächsnotiz, Cornelia van Driel
Neustadt/Weinstraße, 24. April 2017

A.2.8 Gesprächsnotiz Dr. Ane-Kristin Reif-Mosel, Project Manager Corporate Development, Schenker AB (DE), Telefonat vom 25. April 2017, 9.30-10.15 Uhr

Wann fährt DB Schenker den ersten LW-Platoon in der Schweiz? Bestimmt nicht vor 2020. Obwohl DB Schenker und MAN erste Testfahrten für 2017 geplant haben und ab dem ersten Quartal 2018 mit einem LW-Platoon im Regelbetrieb auf dem digitalen Testfeld (Autobahn A9) testen werden, gibt es noch viele offene und ungeklärte Themen. Wir vermuten aus unseren Gesprächen mit den Ingenieuren der OEMs, dass technischen Herausforderungen für ein gebirgiges Land wie die Schweiz noch nicht 100% gelöst sind. Z.B. wie funktioniert die Kraftübertragung am Berg? Zudem handelt es sich um Pilotfahrzeuge, Serienfahrzeuge stehen noch nicht zur Verfügung.

Wir erwarten, dass es noch mind. 3 Jahre dauern wird, bevor Truck Platooning in DE im Regelbetrieb möglich ist. Für den grenzüberschreitenden Verkehr wird es vermutlich noch länger dauern. Bis jetzt wurden rein technische Tests der OEMs durchgeführt, jedoch noch nicht im Regelbetrieb und auch noch nicht über einen längeren Zeitraum. Aus diesem Grund ist die Vorteilhaftigkeit der praktischen Anwendung noch nicht erbracht. Z.B. wie lange kann im Platoon gefahren werden? Wieviel Km kann ein Platoon aufrecht gehalten werden? Weitere offene Themen sind u.a. Gesetzgebung, Versicherungen, Vorbehalten der Öffentlichkeit, Interaktion mit dem anderen Verkehr.

Truck Platooning wird voraussichtlich schrittweise umgesetzt werden:

- Zuerst orchestriert und gezielt gebildet, d.h. vorab verabredet (z.B. nach Fahrplan) innerhalb von Betreiberflotten gleichen Herstellertyps
- Danach mit Fahrzeugen verschiedener Hersteller innerhalb einer Flotte (spontan oder geplant gebildet)
- Erst später spontane Platoon-Bildung, d.h. Betreiber- und Herstellerübergreifend und multibrand und nicht vorab geplant

Kurzfristig geht es im Truck Platooning insb. um die Treibstoffeinsparung, z.B. 3% fürs erste Fahrzeug, 10% für das nachfolgende Fahrzeug. Bei mehr als 3-4 Fahrzeugen wird der Zugewinn an Vorteilen zumindest bzgl. der Treibstoffersparnis geringer. Längerfristig gibt es allerdings auch Produktivitätsgewinne, wenn der LW-Fahrer seine Zeit anders nutzen kann. Dies verlangt aber auch andere organisatorische Konzepte und eine Überarbeitung der Gesetzgebung. Erst beim spontanen Platooning (Schritt 3) wird der Prozentsatz, der in Platoons gefahren werden kann, rasch zunehmen und können die vollen Vorteile des Platooning ausge schöpft werden.

Insb. wird auch und ausdrücklich erwartet, dass Truck Platooning die Verkehrssicherheit erhöhen wird. Es stellt sogar auch eines der Hauptziele ihres Einsatzes dar. Allerdings gibt es natürlich Risiken, wenn die Technologie versagt – so wie heute auch schon, wobei 90% der Unfälle auf menschliches Versagen zurückzuführen sind. Vermutlich wird vor der Freigabe von Platoons zumindest in der Startphase geprüft werden müssen, wo und unter welchen Bedingungen in Platoons gefahren werden darf (Straßentyp, Brücken, Steigungen/Gefälle, Tunnel, Licht- und Wetterverhältnisse) und ev. auch mit welcher Art von Ladungen (auch wenn Teilladungen kombiniert werden), usw. Gleichwohl interessieren sich eine Reihe von

Kunden der OEMs vor allem vor dem Hintergrund gefährlicher Ladungen z.B. in Tanktransporten für Platooning, weil sie sich einen deutlichen Sicherheitsgewinn erhoffen, da der Mensch als Ursachenquelle reduziert wird.

Das Truck Platooning könnte die Wettbewerbsposition zwischen Straße und Schiene verändern, wenn es bestimmte Vorteile für die Straße bringen wird, insb. bei Verstärkung des Kostenvorteils, bzw. Flexibilitätsvorteils. Für Deutschland ist zu sagen, dass sich die DB sich Innovationen auch im Straßengüterverkehr nicht verschließen will. Autonomes Fahren auf der Schiene ist ebenfalls ein Thema. In Windschattengruppen d.h. Platoons fahrende Fahrzeuge werden nicht annähernd das Transportvolumen und Transportgewicht von mehreren hundert Metern erreichen können, die ein Güterzug bereitstellt. Gleichzeitig will DB Schenker zudem Treiber digitaler Geschäftsmodelle sein. Aber es ist den Beteiligten wichtig, dass in der konkreten Umsetzung solcher Projekte zusätzliche Wettbewerbsnachteile für den Güterverkehr auf der Schiene so weit wie möglich vermieden werden. Darüber hinaus wird man in späteren Stufen darüber nachdenken können, welche Möglichkeiten sich dafür ergeben, die beiden Systeme zum Vorteil des Kunden noch besser zu kombinieren und ihre jeweiligen Stärken zu bündeln. Das Verhältnis Platooning vs. Schiene wird in der Schweiz wahrscheinlich anders aussehen, weil dort schon ein größerer Anteil von der Transporte von der Straße auf die Schiene verlagert wurde.

Truck Platooning wird sich voraussichtlich schneller durchsetzen in Ländern, wie USA und Australien, weil dort die Straßen- und Verkehrsverhältnisse anders (vorteilhafter) sind als die in Europa. Insb. für ein Land, wie die Schweiz, ist es spannend, wie viel Infrastruktur zum Platooning übrig bleibt, wenn gebirgige Strecken oder bestimmte Tunnel oder Brücken nicht geeignet wären. Insb. auf gebirgigen Strecken gibt es noch viele technische Herausforderungen (bzgl. Gewicht, Bremsleistung, usw. die korrekt einfließen müssen) zu meistern. Im Hinblick auf das vorausschauende Fahren wird davon ausgegangen, dass zunehmend Umgebungsinformationen ins Fahrzeug einfließen werden, z.B. Infos über Staus, Wetter, usw.

DB Schenker geht davon aus, dass Truck Platooning die Attraktivität von Fahrerarbeitsplätzen erhöhen kann – auch wenn dies jetzt schwierig in einem Business Case zu erfassen ist. Der jetzige Fahrerberuf ist gleichzeitig monoton als auch stressig („Fahrer sterben aus“) und es gibt wenig mittel-europäischen Nachwuchs. Gedacht ist, dass die Digitalisierung und Automatisierung insb. bei der jüngeren Generation den Beruf attraktiver machen wird. Ein Ersatz des Fahrers wird es vorerst nicht geben, weil nicht in allen Fahrsituationen autonom / im Platoon gefahren werden kann (Land-, Stadt-, Fernstraßen). Vielmehr wird schrittweise eine gemischte Situation entstehen, in der autonom gefahrene Fahrzeuge, Platooning fähige Fahrzeuge und „traditionelle“ Fahrzeuge parallel auf den Strassen unterwegs sein werden. DB Schenker und MAN planen auch einen 2. Pilot, wobei ein autonom fahrender LW auf dem DB Schenker-Werksgelände vorgesehen ist.

Für den Business Case des Platoonings ist es wichtig, Truck Platooning im Licht der Digitalisierung und des automatisierten/vernetzten Fahrens zu beurteilen. Bspw. ermöglicht die Digitalisierung ein Zielbild gesteuerter Flotten ergänzt um Informationen über Fahrzeug-/Flotten-Standorte, -beladung, zukünftige Fahrzielen etc.), das es heutzutage in der Logistikbranche noch nicht gibt. Es wird erwartet, dass insb. OEMs, aber auch Technologie-Konzerne, versuchen werden, stärker in die Logistikkette einzugreifen und z. B. selber zum Flottenbetreiber und Kapazitätsbereitsteller werden. Die Entwicklung von Plattformen und

zugehörigen Anwendungen, wie FleetBoard von Daimler und RIO von MAN scheinen in diese Richtung zu weisen. Von Datenservices bzgl. der Fahrzeugzustände (z.B. bzgl. Wartung etc.) wird es vermutlich in Richtung Steuerungs- und Kontrollfunktionen gehen. Die Logistikbranche hält diese neue Konkurrenz-Situation im Blick und hat vorerst Vertrauen in ihren Kundenzugang und ihren logistischen Knowhow.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass vieles noch offen und ungeklärt ist und dass Piloten, wie die von DB Schenker und MAN, ein besseres Verständnis des Potenzials vom Truck Platooning ermöglichen. Speziell für die Schweiz ist es spannend, wie groß die Anwendbarkeit von Truck Platooning sein wird, z.B. wieviel Km Autobahn tauglich sein könnte.

Für die Gesprächsnotiz, Cornelia van Driel
Neustadt/Weinstraße, 25. April 2017

A.2.9 Gesprächsnotiz Bernard Jacob, Deputy Scientific Director, IFSTTAR (FR), Telefonat vom 25. April 2017, 11.30-12.00 Uhr

Wann wird der erste LW-Platoon in der Schweiz unterwegs sein? Es wird erwartet, dass wir in den nächsten 5-10 Jahren einige LW-Platoons auf europäischen Autobahnen sehen werden. Dennoch ist unklar, ob die Nachfrage des Truck Platooning in der Schweiz hoch sein wird. Bergige und kurvenreiche Strecken sind für das Truck Platooning nicht optimal. Die Vorteile bei einer entsprechenden Ausgangslage sind tief und die Risiken hoch. Vielleicht in den eher flachen Gebieten der Schweiz, als Teil einer längeren Strecke im Transitverkehr? Im Fall von Steigungen ist es sehr wichtig, die Differenzen der LW bezüglich Gewicht, Grösse, PS und Bremskraft zu berücksichtigen. Dies ist insb. hinsichtlich Geschwindigkeitsdifferenzen (speziell bergauf) und Abstandeinhaltung (speziell bergab) im Platoon wichtig. Kurvige Strecken kompensieren die Sichtbarkeitsthematik und können die aerodynamischen Vorteile reduzieren.

Eine der Vorteile von Truck Platooning ist die Reduktion von Treibstoff und CO₂-Emissionen. Der ökonomische Hauptvorteil ist es, die Produktivität durch die Erhöhung der LW-Reichweite (Erhöhung Fahrzeit des LW Fahrer) zu erhöhen. Z.B. hat eine Studie aus den Niederlanden gezeigt, dass die LW-Reichweite beim Platooning von 720 km auf 950 km erhöht werden kann. Dies mit einer Fahrzeit von rund 12 Stunden, indem die Platoon-Fahrer intelligent ihre Rolle tauschen. Die heutigen Regeln für LW-Fahrer müssen aber bezüglich Fahr- und Erholungszeit angepasst werden.

Truck Platooning kann Einfluss auf die Infrastruktur haben. Z.B. müssen LW auf Schnellstrassen mindestens 50 m Abstand halten und 100 m falls man in einem Tunnel ist. In einem Platoon würde die Distanz auf ca. 10 m reduziert werden. Infolge des kurzen Sicherheitsabstandes kann sich im Falle eines Brandes das Feuer in einer Kolonne rasch ausbreiten. Zurzeit wird mit den Betreibern des Mont Blanc Tunnels diskutiert, inwiefern in Tunnels das Risiko der Feuerverbreitung besteht. Die Wi-Fi Technologie, welche für das Truck Platooning verwendet wird funktioniert in Tunnels. Dennoch benötigt man möglicherweise ein zusätzliches Gerät für die Lokalisierung.

Es wird erwartet, dass mit dem Platooning die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls verringert wird (Reaktionszeit von Fahrer fällt weg), der Schadensausmass könnte jedoch erhöht werden. Diese Thematik wird zurzeit, insb. durch Modellierungstechniken, untersucht.

Bei kurzen Brücken (Breite 30-40 m) wird kein Einfluss vom Platooning erwartet. Bei längeren Brücken (>60-100 m) könnte es jedoch besser sein, das Platoon vor der Brücke zu trennen. Das Gesamtgewicht eines Platoons könnte die Belastung der Brücke signifikant erhöhen (speziell bei älteren Brücken) und zu Ermüdungsschäden für einige Stahl- und Verbundbrücken führen. Diese Thematik benötigt zusätzliche Untersuchungen, insb. von den Eigentümern der Brücken.

Das Truck Platooning kann auch einen Einfluss auf die Fahrbahn haben. Wenn die LW öfters die gleiche Spur benutzen, mit einer erhöhten Anzahl eng folgenden Achsen, führt dies zu einer höheren Belastung für die Fahrbahn. Dennoch wird dies nicht als Hauptaspekt betrachtet. Die Auswirkung auf die Fahrbahn hängt vom Typ der Fahrbahn ab (z.B. Beton: kein Problem, flexible Pflasterung in heissen Ländern: grösseres Thema). In naher Zukunft wird nicht erwartet, dass Platooning zu sofortigen Schäden der Fahrbahn führen wird. Dies könnte beim Unterhalt oder Installation der Schnellstrassen mitberücksichtigt werden.

Bezüglich Akzeptanz von LW-Fahrer wird angenommen, dass sich der zukünftige Beruf des LW-Fahrers in Richtung Piloten oder Zugfahrer verändern wird. Der Beruf wird qualifizierter und weniger stressig werden. Auch werden zusätzlichen Fähigkeiten bezüglich Wissen und Überwachung des Systems erwartet. Die ökonomischen Vorteile von Truck Platooning sollten auch genutzt werden, um das Salär der LW-Fahrer zu erhöhen. Die Nachfrage nach einem anderen Profil des LW-Fahrers hat zur Folge, dass die heutige Ausbildung angepasst werden muss.

Eine Hauptaspekt bezüglich Akzeptanz von Truck Platooning, speziell die Akzeptanz anderer Verkehrsteilnehmer, ist die Korrelation zwischen der Platoonlänge und der Interaktion zwischen dem Platoon und anderen Verkehrsteilnehmer. Dieser Aspekt ist auch Teil zukünftiger Forschungsprojekte. In Europa werden die Platoons relativ kurz sein, bspw. 2-5 LW. Heute werden sogar in mehrere EU-Länder LW gesehen, welche sehr nahe aneinander fahren ohne technischem System. Folglich wären „echte“ LW-Platoons im Vergleich mit dem heutigen Stand keine neue Situation. Dennoch werden Regeln benötigt, welche festlegen auf welchen Strecken in Platoons gefahren werden darf (z.B. ausserhalb von stark befahrenen Autobahn-Kreuzungen). Zudem sollten LW-Platoons für andere Verkehrsteilnehmer erkennbar sein. Dies bspw. durch ein blinkendes Licht, wenn LW in Platoons fahren.

Ein zukünftiges Pilotprojekt bezüglich Truck Platooning in der Schweiz soll gut vorbereitet und überwacht werden. Es sollte klar sein, was demonstriert und gemessen werden soll. Zusätzlich soll klar sein, wo es stattfinden wird und mit welcher Ausrüstung die LW ausgestattet sind etc. Aufgrund der Erfahrung bezüglich Pilotprojekten auf öffentlichen Strassen ist zu empfehlen, dass Leute in den NL kontaktiert werden. Auch das Netzwerk der European Truck Platooning Challenge kann verwertbare Informationen liefern.

In Frankreich ist zurzeit kein Pilotprojekt bezüglich Truck Platooning in Planung. Dies aufgrund dessen, dass der Innenminister nicht einwilligt das Fahrgesetz zu ändern (aktuelle Distanz zum vorausfahrenden Fahrzeug: 50 m), damit solche Pilotversuche genehmigt werden können. Dennoch besteht zurzeit keine grosse Nachfrage bezüglich Truck Platooning in Frankreich. Frankreich ist trotzdem sehr in der Entwicklung dieses Bereichs interessiert. IFSTTAR verfolgt intensiv die Diskussion in diesem Bereich und trägt auch zu dessen Forschung bei (z.B. Verkehrsmodellierung, Faktor Mensch). IFSTTAR wäre interessiert bei einem Pilotprojekt in der Schweiz mitzuarbeiten.

Für die Gesprächsnotiz, Cornelia van Driel
Neustadt/Weinstraße, 25. April 2017

A.2.10 Gesprächsnotiz Joris Cornelissen, Programme Manager Preparation Phase Real Life Cases Truck Platooning The Netherlands bij Rijkswaterstaat (NL), Telefonat vom 25. April 2017, 14.00-14.45 Uhr

Nach der European Truck Platooning Challenge wird jetzt an Real Life Cases in den Niederlanden gearbeitet (2017-2019), wobei Platooning im Tagesgeschäft der Logistikpartner getestet wird. Die Hauptmotivation ist für jeden anders.

In der Logistikbranche sind hauptsächlich die Treibstoffeinsparungen und die Sicherheit der Fahrer relevant. Der Verkehr in den NL ist relativ dicht, dies führt oft zu unsicheren Situationen, weil LW zu kurze Abstände halten. Die niederländische Regierung sieht es als ihre Aufgabe, diese kritischen Situationen sicherer zu gestalten. Das Truck Platooning könnte eine mögliche Lösung darstellen. Des Weiteren könnte Truck Platooning zu Treibstoffeinsparung (CO₂-Reduktion) führen und die Effizienz und Stabilität vom Verkehrsfluss verbessern. Inwiefern diese positiven Effekte in der Praxis auftreten werden, ist noch unklar. Deshalb ist die niederländische Regierung ermutigt weitere Forschungs- und Pilotprojekte auf öffentlichen Strassen zu führen und dabei eine koordinierende Rolle zu übernehmen. Anstatt durch Subventionen, wird versucht die Entwicklung durch die Mitfinanzierung der Regierung voranzutreiben.

Auch die Real Life Cases (oben genannt) zielen auf die zukünftige Umsetzung von grenzüberschreitendem Truck Platooning. Folgende positive Sozialleistungen werden erwartet: Sicherheit, Langlebigkeit, Effizienz und (möglicherweise) Verkehrsfluss. NL versucht im Allgemeinen mehr Raum für innovative Experimente anzubieten, um die Länge der Innovationszyklen zu verkürzen (NL präsentiert sich als Testland von Mobilität).

Die Zusammenarbeit ist eine notwendige Bedingung für das Truck Platooning. Auch die Real Life Cases zeigen, dass eine enge Zusammenarbeit zwischen den LW-Herstellern, der Logistikbranche (Spediteure, Carrier) und der Regierung wichtig ist. Die notwendigen Investitionen sieht die Regierung gleichermassen verteilt: Die Hersteller investieren in Prototypen, diese werden von der Logistikbranche gekauft (bei den Real Life Cases geleast) und die Regierung investiert in Forschungsprogramme/Koordination.

Derzeit steht vor allem die LW-Branche vor einer spannenden Entscheidung: Werden sie weiterhin in Truck Platooning investieren? Die European Truck Platooning Challenge war eine eintägige Veranstaltung und es ist etwas anderes wenn LW strukturell jahrelang in Platoons fahren. Die Nachfrage aus der Logistikbranche ist sehr hoch. Unternehmen zeigen, dass auch eine Treibstoffeinsparung von 1% (oft 10% angegeben) interessant wäre. Ausserdem wird in den NL bemerkt, dass Unternehmen sich gerne als sozial verantwortlich und innovativ präsentieren wollen. So beteiligen sich z.B. die grossen Namen wie Unilever, Jumbo und Ahold an den Real Life Cases.

Es wird erwartet, dass Truck Platooning fortgesetzt wird. Das dazugehörige Tempo ist noch unklar. Viel hängt von der LW-Industrie ab, welche die Technologie weiterentwickelt und auf dem Markt bringt. Die Zulassung durch die nationalen Regierungen spielt auch eine wichtige Rolle. Durch Experimente auf öffentlichen Strassen ermöglicht die Regierung eine Beschleunigung vom Innovationszyklus. Ob Truck Platooning negativen Einfluss auf die Attraktivität anderer Modalitäten haben kann, ist unklar. Die Konkurrenz mit anderen Modalitäten ist Gegenstand der Forschung. Es wird erwartet, dass Truck Platooning und

Schienengüterverkehr (weniger flexible Anordnung) nur begrenzt in Konkurrenz stehen werden. Das Verkehrswachstum in den NL wird voraussichtlich in den nächsten Jahren weiter anhalten. Es werden Methoden benötigt, welche den Verkehr so weit wie möglich über das gesamte Verkehrsnetz verteilen. In dieser Hinsicht soll unabhängig von Modalitäten die Frage, „wie können Güter so schnell wie möglich von A nach B transportiert werden“, zentral sein.

Es wird erwartet, dass eine ziemlich lange Zeit (50 Jahre?) die traditionell gesteuerten und automatisierten Fahrzeuge gemeinsam auf öffentlichen Strassen verkehren werden. Es liegt in der Verantwortung der Regierung diesen Mischverkehr zu vereinfachen. Ob dazu Infrastrukturanpassungen notwendig sind, ist noch unklar. Es ist nicht die Absicht bereits im Voraus alle möglichen Anpassungen zu tätigen. Im Sinne vom „learning by doing“-Prinzip sollen u.a. die Real Life Cases aufzeichnen, welche Anpassungen (z.B. bei Ein- und Ausfahrten) für ein konkretes Konzept, wie Truck Platooning, notwendig sind.

Für die Gesprächsnotiz, Cornelia van Driel
Neustadt/Weinstraße, 25. April 2017

B Anhang B: Betrieb

B.1 Herleitung Betrieb

Für das Platooning existieren grundsätzlich drei verschiedene Prozesse: Platoon bilden, Fahren im Platoon, Platoon auflösen. Diese können unterschiedlich stattfinden. Für den vorliegenden Bericht werden folgende Rahmenbedingungen angenommen und für die weiteren Analysen verwendet. Es wird ein Platooning-Betrieb mit drei LW analysiert.

Objekt	Definition	Bemerkung
Höchstgeschwindigkeit LW	80 km/h	Gesetzlich in der Schweiz festgelegt.
Platoon-Geschwindigkeit	75 km/h	Damit die hinteren LW mit der maximalen Geschwindigkeit aufschliessen können.
Beschleunigung	0.5 m/s ²	Gleichmässige Beschleunigung
Sicherheitsabstand	50/100m	Beim Platooning wird für Ein- und Ausfahrten ein Abstand von 50m und in Tunnels von 100m als ausreichend angenommen.
Abstand im Platoon	15m	Dieser Abstand wird in der Literatur-Recherche als sinnvoll eingeschätzt.
LW-Länge	18m	

Tabelle 12 Definierte Rahmenbedingungen für die Herleitung vom Platooning-Betrieb

Beim Verbinden und Auflösen ist zu ermitteln, wie lange diese Prozesse dauern/sind. Damit definiert werden kann, ab wann ein Platoon sich auflösen hat und ob es sich lohnt, das Platoon wieder zu bilden. Mögliche Gründe für ein Auflösen des Platoons können sein: Brücken, Tunnels, Kurven oder Ein- und Ausfahrten.

Im folgenden Abschnitt werden die beiden Prozesse des Platoonings erläutert. Für die Berechnung der Prozesslänge/-dauer ist eine Excel-Datei erarbeitet worden. Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse und Herleitungen der angenommenen Prozessabläufe aufgezeigt. Die Excel-Datei ist so aufgebaut, dass die Rahmenbedingungen und Prozessabläufe des Platoonings angepasst werden können. Die Grafik vom Verbinden und Auflösen sind nicht massstabgetreu und dienen nur zur besseren Übersicht.

Für das Bilden des Platoons bremst LW 1 von der Höchstgeschwindigkeit auf die Platoon-Geschwindigkeit ab. LW 2 fährt konstant mit der Höchstgeschwindigkeit, bis er zum LW 1 aufschliesst. LW 3 fährt auch konstant mit der Höchstgeschwindigkeit, bis er zum LW 2 aufschliesst.

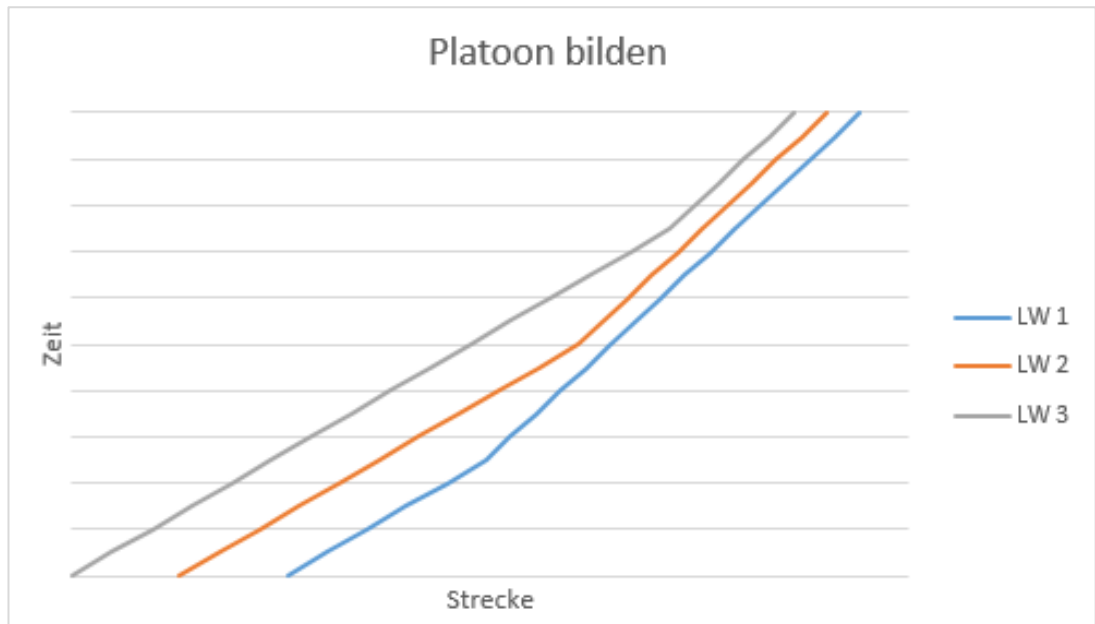


Abbildung 37 Überblick vom Ablauf „Platoon bilden“

Beim Auflösen des Platoons beschleunigt LW 1 auf die Höchstgeschwindigkeit und fährt dann konstant weiter. Wenn der Sicherheitsabstand zwischen LW 1 und LW 2 erreicht ist, beschleunigt LW 2 auf die Höchstgeschwindigkeit und fährt dann konstant weiter. Wenn der Sicherheitsabstand zwischen LW 2 und LW 3 erreicht ist, beschleunigt LW 3 auf die Höchstgeschwindigkeit und fährt dann konstant weiter.

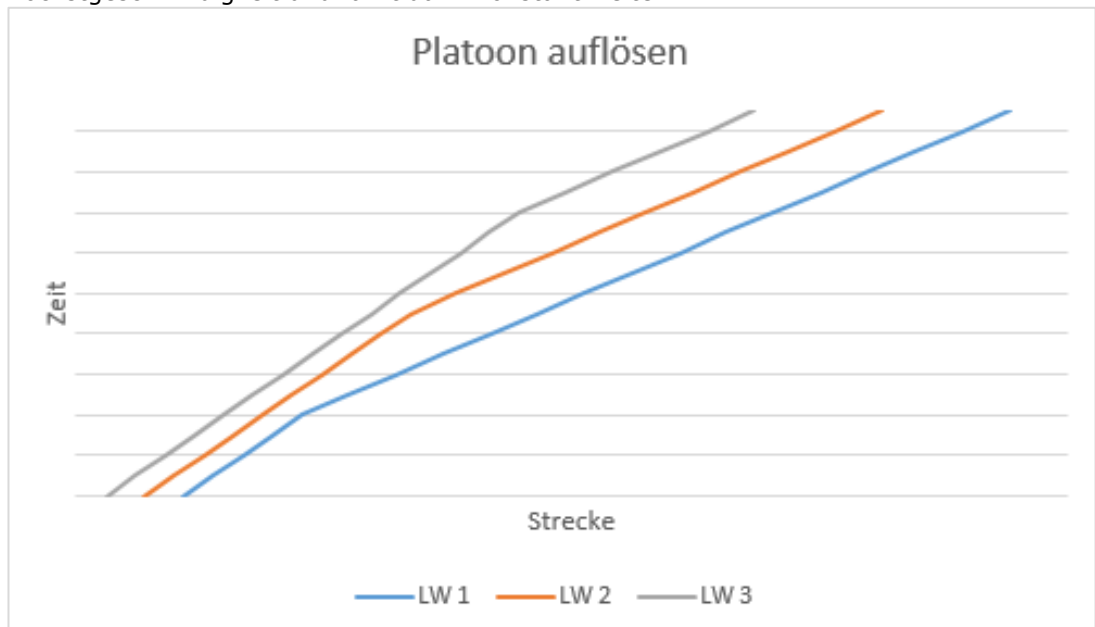


Abbildung 38 Überblick vom Ablauf „Platoon auflösen“

Für die Simulation der vorliegenden Studie ist die Platoon-Bildung und –Auflösung für Ein- und Ausfahrten und Tunnels relevant. Der Durchfahrt eines Tunnels ist folgendermassen zu absolvieren.

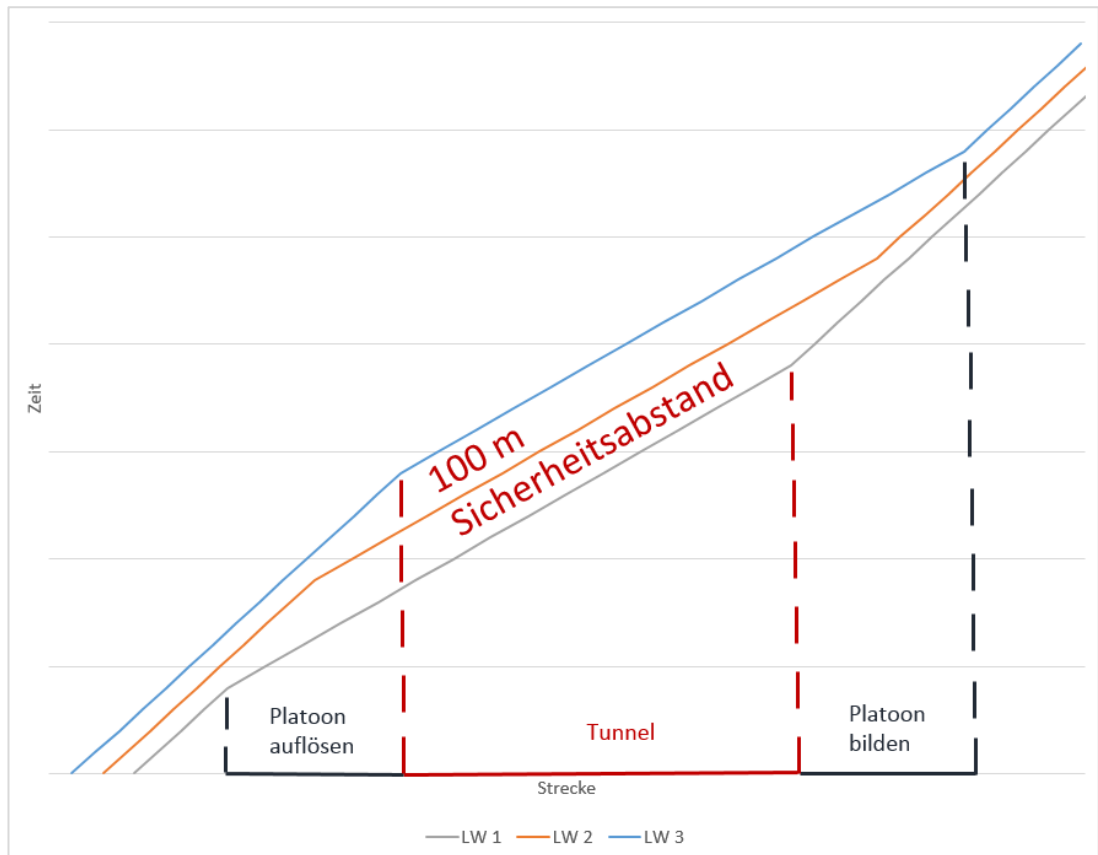


Abbildung 39 Platoon-Bildung und -Auflösung (schematisch)

Bei Ein- und Ausfahrten sieht der Ablauf sehr ähnlich aus. Der Sicherheitsabstand ist jedoch 50m und damit kürzer als beim Tunnel. Dies führt zu einer insgesamt kürzeren Strecke für die Platoon-Bildung und -Auflösung.

B.1.1 Berechnung der Platoon-Bildung

Die Berechnung für das Bilden und Auflösen der Platoons sind sehr ähnlich. Dabei wird jeweils nur die Zeit und Streckenlänge dieser Prozesse vom LW 1 zum LW 3 berechnet. Dies ist gleichbedeutend mit der gesamten Zeit und Streckenlänge der Platoon-Bildung und -Auflösung. Die verschiedenen Phasen der beiden Prozesse sind folgendermassen zu beschreiben.

Platoon bilden:

	Phase 1	Phase 2	Phase 3
LW 1	LW 1 bremst auf Platoon-Geschwindigkeit	Konstante Fahrt mit Platoon-Geschwindigkeit	
LW 3		Konstante Fahrt mit Höchstgeschwindigkeit	LW 3 bremst auf Platoon-Geschwindigkeit

Tabelle 13 Ablauf in Phasen (Platoon bilden)

Platoon auflösen:

	Phase 1	Phase 2	Phase 3
LW 1	LW 1 beschleunigt auf Höchstgeschwindigkeit	Konstante Fahrt mit Höchstgeschwindigkeit	
LW 3		Konstante Fahrt mit Platoon-Geschwindigkeit	LW 3 beschleunigt auf Höchstgeschwindigkeit

Tabelle 14 Ablauf in Phasen (Platoon auflösen)

Berechnung

Die Berechnungen werden nicht detailliert wiedergeben und können nach Wunsch genauer erläutert werden. Alle Angaben für die Berechnung der Fahrzeit und folgend die zurückgelegte Strecke der Phasen 1 und 3 sind vorhanden:

$$\text{Beschleunigungszeit} = \text{Geschwindigkeitsdifferenz} / \text{Beschleunigung}^{35}$$

$$\text{Zurückgelegte Strecke} = \text{Beschleunigung} * \text{Beschleunigungszeit}^2 / 2 + \text{Anfangsgeschwindigkeit} * \text{Beschleunigungszeit}^{36}$$

Gesucht ist nun die Fahrzeit der Phase 2. Mit der Fahrzeit wird dann der zurückgelegten Weg der Phase 2 (Geschwindigkeit * Fahrzeit) und folgend des gesamten Prozesses ermittelt. Die Fahrzeit vom LW 2 wird durch ein 2x2-Gleichungssystem ermittelt. Die Gleichungen beinhalten folgende Angaben, welche angepasst in die Gleichungen integriert werden.

³⁵ <http://rechen-fuchs.de/bremsdauer-eines-PKW-berechnen/> (Abgerufen: 31.05.2017)

³⁶ <http://www.walter-fendt.de/phys/mech/beschlbw.pdf> (Abgerufen: 31.05.2017)

Gleichung 1: Zurückgelegter Weg der Phasen 1 und 3, Geschwindigkeit * Fahrzeit (Phase 2), Platoon-Abstand, LW Länge oder Sicherheitsabstand

Gleichung 2: Differenz der Fahrzeiten von LW 1 und 3

Die Ergebnisse bez. Zeit und Streckenlänge für die Platoon-Bildung werden in der folgenden Tabelle dargestellt.

	Zeit (Nach wie vielen Sekunden ist ein Platoon gebildet/aufgelöst)	Streckenlänge (Nach wie vielen Metern ist ein Platoon gebildet/aufgelöst)
Platoon bilden (100m → 15m)	125s	2600m
Platoon bilden (50m → 15m)	53s	1100m
Platoon auflösen (15m → 100m)	125s	2800m
Platoon auflösen (15m → 50m)	53	1200m

Tabelle 15 Anforderungen bez. Zeit und Streckenlänge für die Platoon-Bildung

B.2 Anwendung Betrieb auf die Schweiz

- Theorie-Wert: Das Platoon bildet sich ab 1m Platooning.
- Praxis-Wert: Das Platoon bildet sich ab 2km Platooning.

B.2.1 Platooning-Betrieb mit Auflösung



Abbildung 40 Verhältnis (mit Auflösung): Abstand / Strecke, Bern - Lausanne (Theorie-Wert)

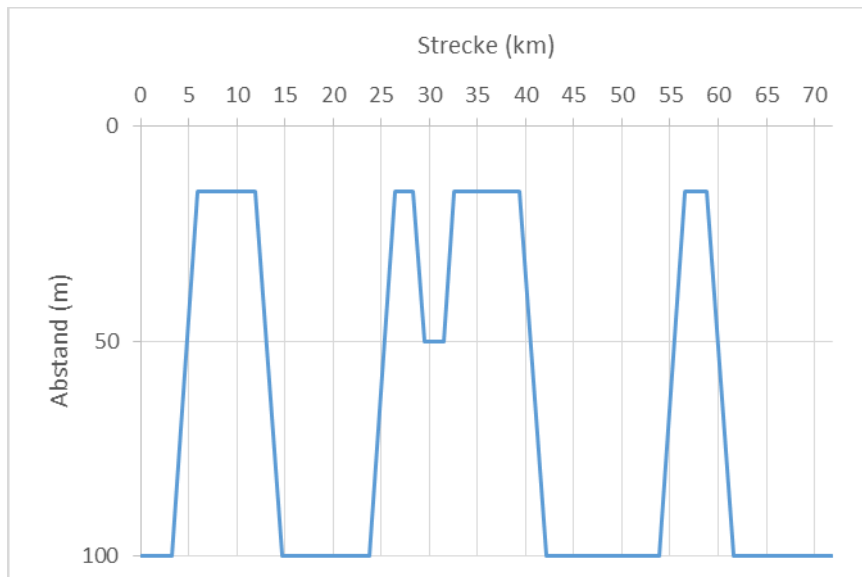


Abbildung 41 Verhältnis (mit Auflösung): Abstand / Strecke, Bern - Lausanne (Praxis-Wert)



Abbildung 42 Verhältnis (mit Auflösung): Abstand/Strecke, Bern - Vevey (Theorie-Wert)



Abbildung 43 Verhältnis (mit Auflösung): Abstand / Strecke, Bern - Vevey (Praxis-Wert)

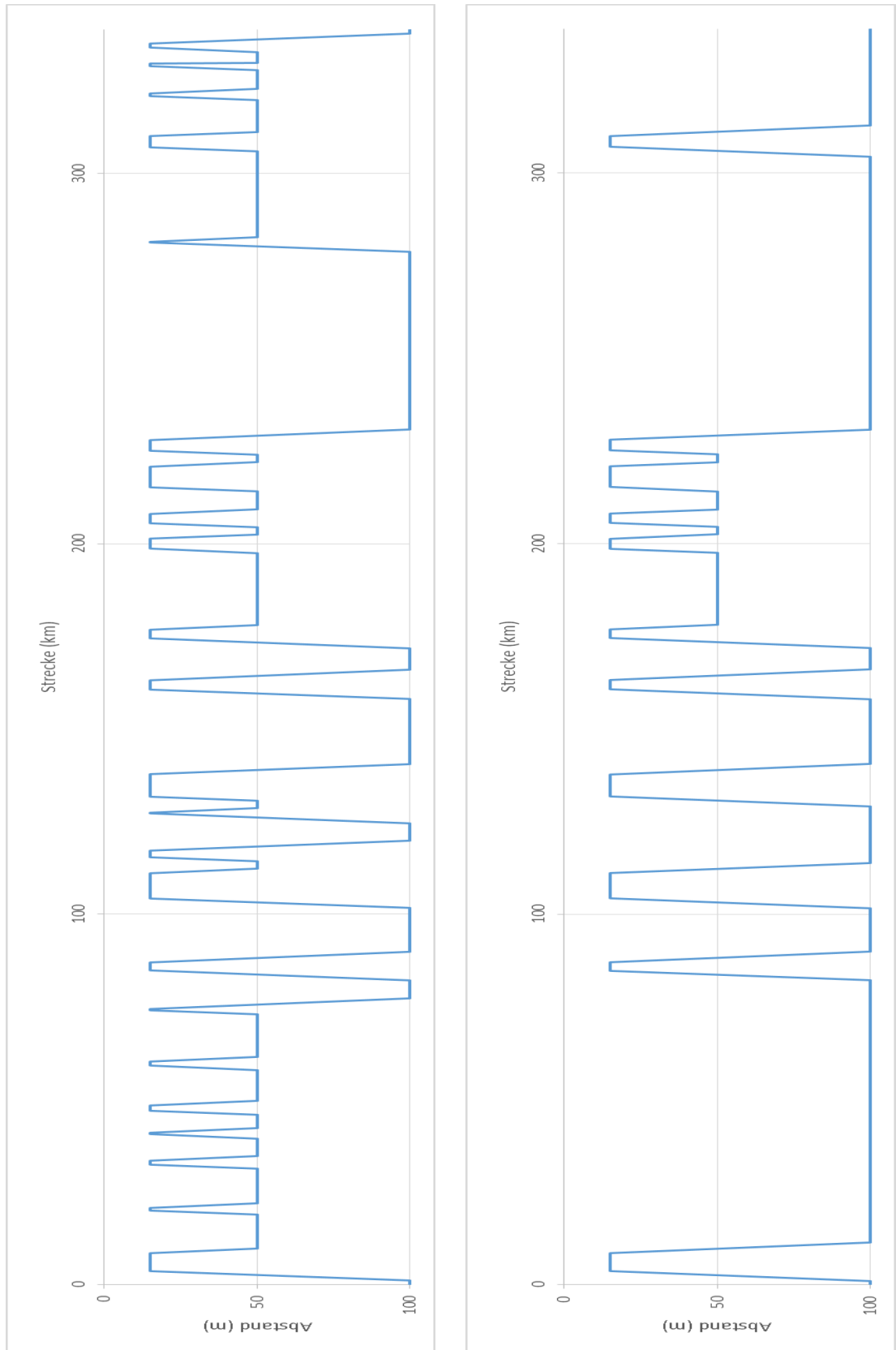


Abbildung 44 Verhältnis (mit Auflösung): Abstand / Strecke, A1, Theorie/Praxis-Wert

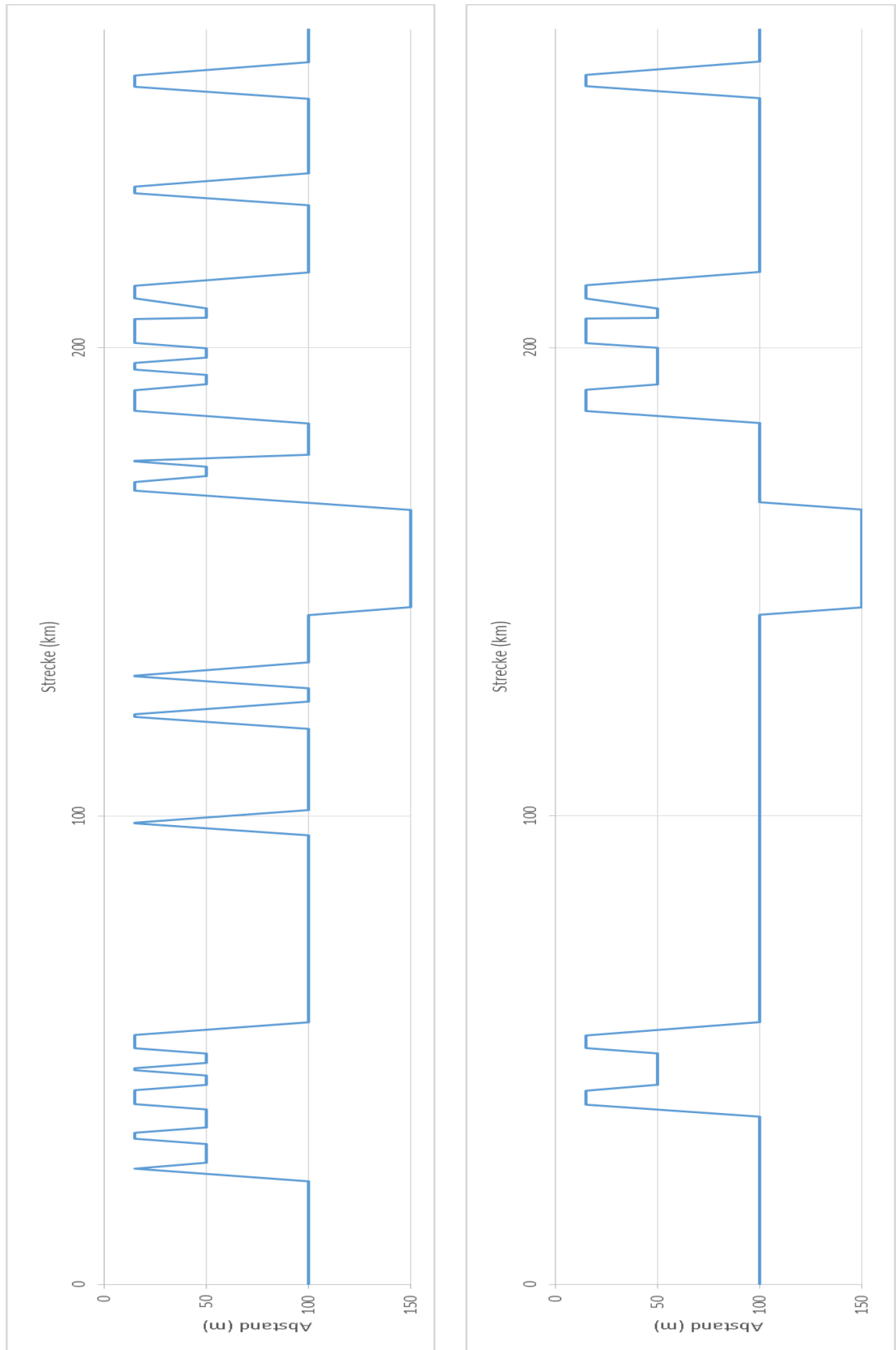


Abbildung 45 Verhältnis (mit Auflösung): Abstand / Strecke, A2, Theorie/Praxis-Wert

B.2.2 Platooning-Betrieb ohne Auflösung

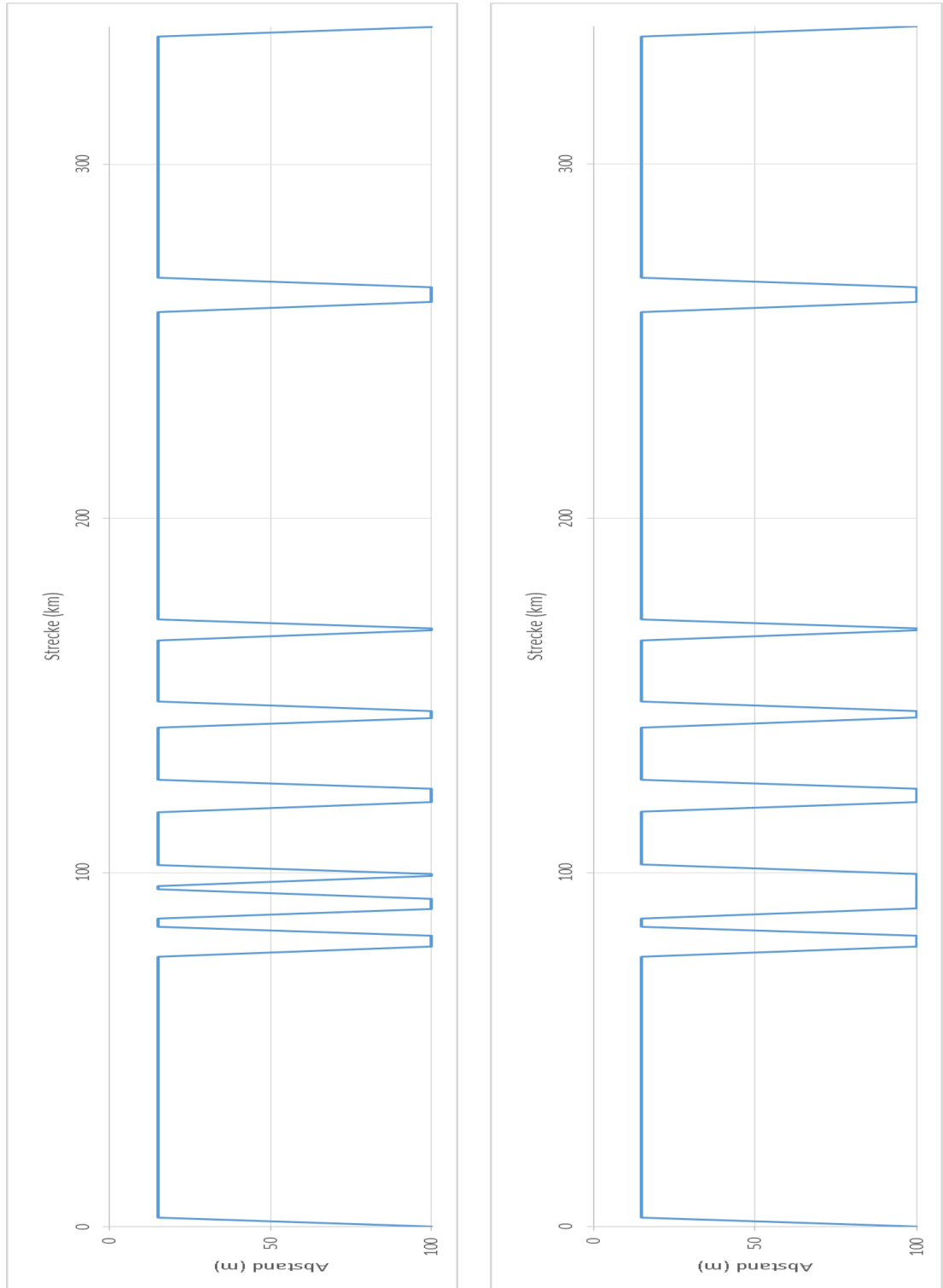


Abbildung 46 Verhältnis (ohne Auflösung): Abstand / Strecke, A1, Theorie/Praxis-Wert

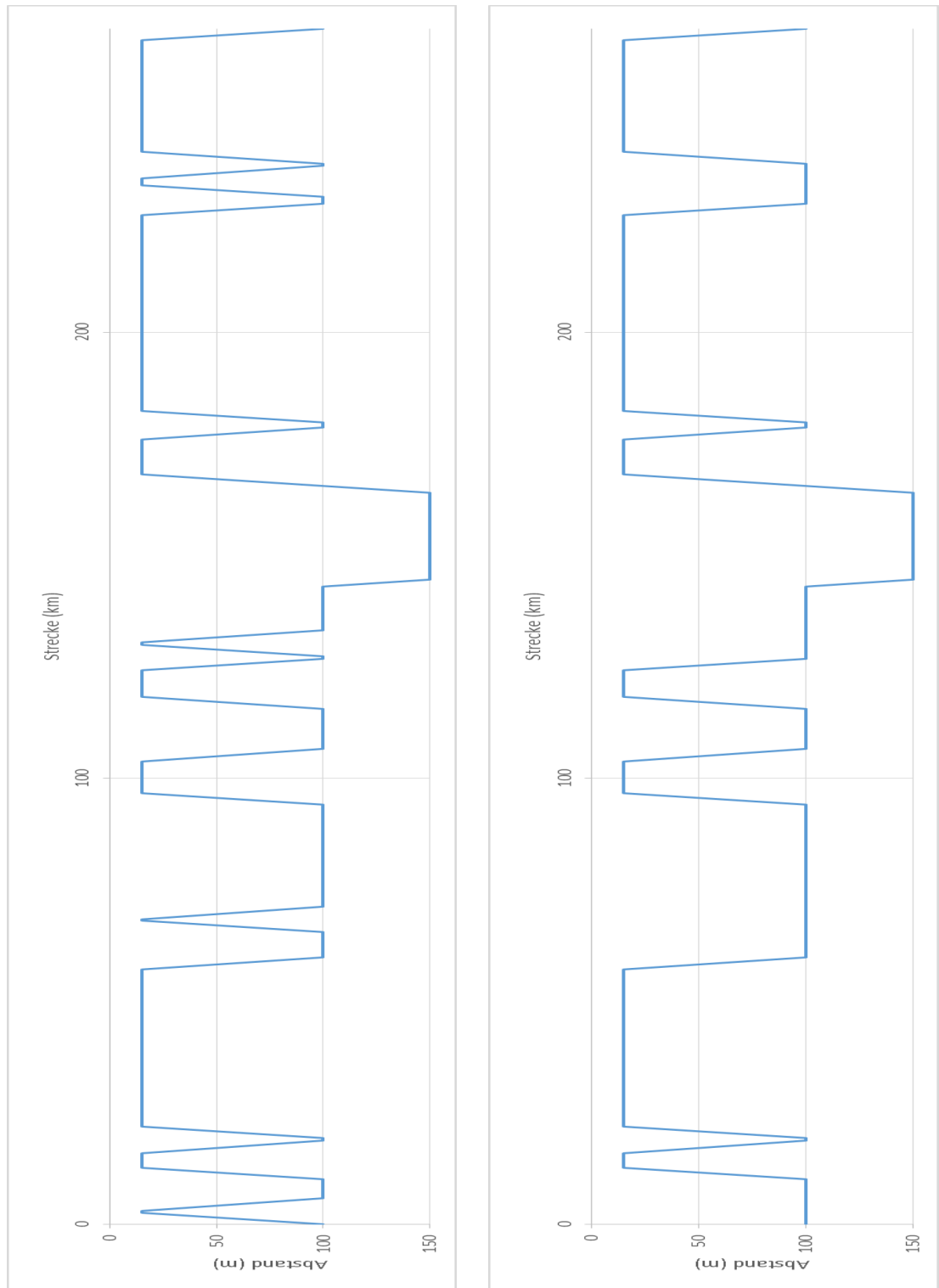


Abbildung 47 Verhältnis (ohne Auflösung): Abstand / Strecke, A2, Theorie/Praxis-Wert



Abbildung 48 Verhältnis (ohne Auflösung): Abstand/Strecke, Bern - Lausanne (Theorie-Wert)



Abbildung 49 Verhältnis (ohne Auflösung): Abstand/Strecke, Bern - Lausanne (Praxis-Wert)

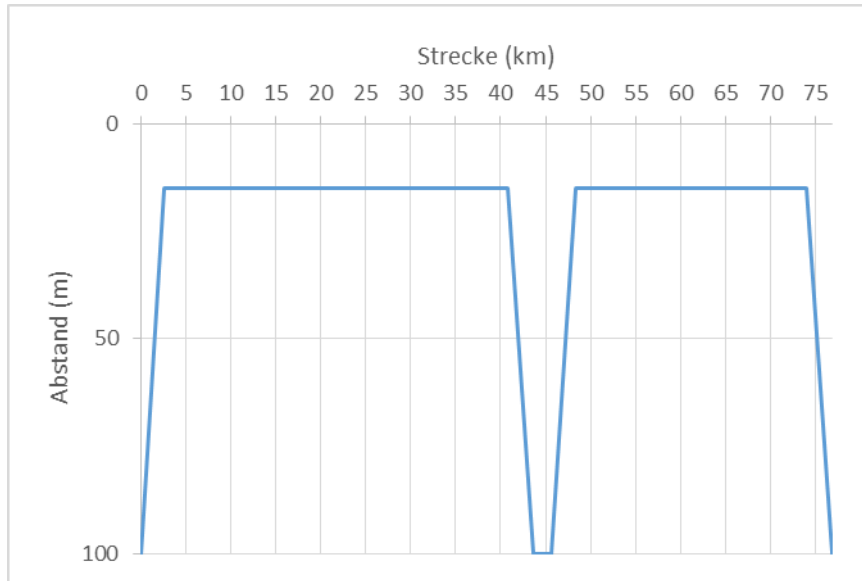


Abbildung 50 Verhältnis (ohne Auflösung): Abstand/Strecke, Bern - Vevey (Theorie-Wert)



Abbildung 51 Verhältnis (ohne Auflösung): Abstand/Strecke, Bern - Vevey (Praxis-Wert)

B.3 Ermittlung optimaler Geschwindigkeiten für den Platooning-Betrieb

Dieser Kapitel beinhaltet eine betriebliche Untersuchung, bei welchem zum einen die optimale Platoon-Geschwindigkeit und zum anderen die optimal Geschwindigkeitsdifferenz der hinteren und vorderen LW analysiert wird. Zuerst wird die Ermittlung der optimalen Platoon-Geschwindigkeit aufgezeigt. Danach ist die Analyse der Geschwindigkeitsdifferenz ersichtlich. Die Berechnungen sind mit der Excel-Datei erstellt worden, welche für die vorliegende Studie entwickelt wurde.

Für die betriebliche Abwicklung des Platoonings sind tiefe Geschwindigkeiten geeigneter. Der Weg für die Bildung und Auflösung des Platoons ist dann kürzer. In der folgenden Abbildung wird die Platoon-Geschwindigkeit in Abhängigkeit mit dem Weg bis zum Auflösen des Platoons gesetzt. Beim Bilden vom Platoon weisen die Ergebnisse auch eine lineare Kurve. Lediglich die zurückgelegten Kilometer sind unterschiedlich. Folgende Parameter sind zur Berechnung verwendet worden:

- $\Delta v = 5 \text{ km/h}$
- 3 LW
- Platoonabstand = 15m
- Sicherheitsabstand = 100m

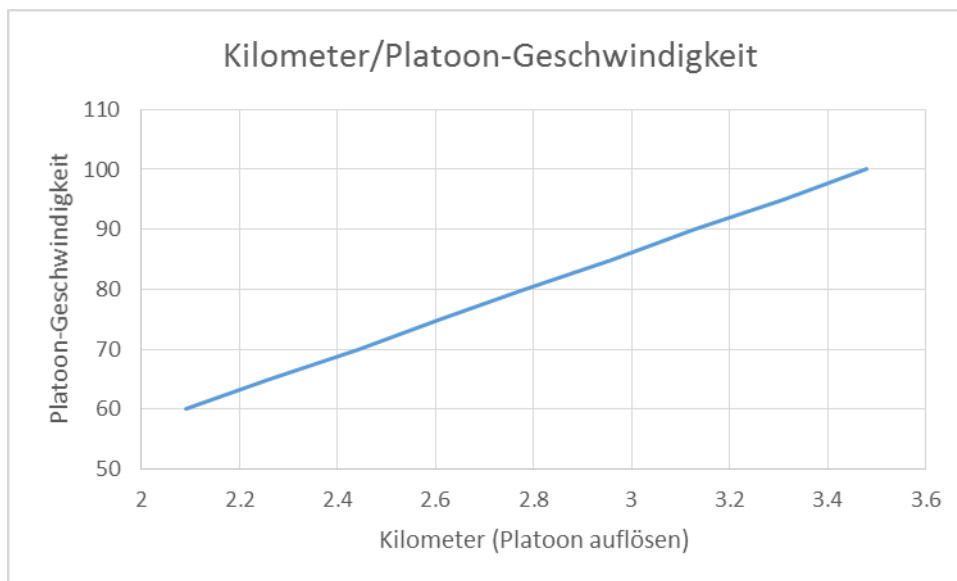


Abbildung 52 Ermittlung der optimalen Platoon-Geschwindigkeit

Für die Analyse der Geschwindigkeitsdifferenzen bedarf es einer genaueren Erläuterung. Für das Bilden und Auflösen des Platoons werden zum Teil unterschiedliche Anpassungen vollzogen. Für beide Prozesse bleibt gleich:

- Beschleunigung 0.5 m/s^2
- Höchstgeschwindigkeit = 80 km/h
- Platooning mit drei LW
- Platoonabstand 15m

- Sicherheitsabstand 100m.

Das Bilden der Platoons wird folgendermassen geprüft. Die Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h wird beibehalten. Die Platoon-Geschwindigkeit wird auch auf 75 km/h fixiert. Nur für die Geschwindigkeitsdifferenz von unter 5 km/h wird die Platoon-Geschwindigkeit jeweils erhöht. Weil davon ausgegangen wird, dass der hintere LW mit der Höchstgeschwindigkeit (80 km/h) fährt. So muss die Platoon-Geschwindigkeit bspw. 78 km/h betragen (wenn $\Delta v = 2$ km/h). Die Geschwindigkeit des vorderen LW wird demzufolge stets erhöht um Δv grösser zu machen. Die Ergebnisse sind in der folgenden Abbildung ersichtlich. Die optimale Geschwindigkeitsdifferenz scheint beim rot markierten Bereich, zwischen 4 und 8 km/h, zu sein. Dort ist die Geschwindigkeitsdifferenz relativ gering und der Weg bis zum Platooning relativ kurz.

Das Auflösen wird folgendermassen geprüft. Zuerst erhöht der vordere LW schrittweise bis auf 80 km/h. Da die Höchstgeschwindigkeit eingehalten wird, beginnt ab dann der hintere LW zusätzlich zu bremsen, um den Vorgang zu beschleunigen. Die Ergebnisse sehen wie erwartet sehr ähnlich aus. Deshalb wird nur das Auflösen des Platoons dargestellt.

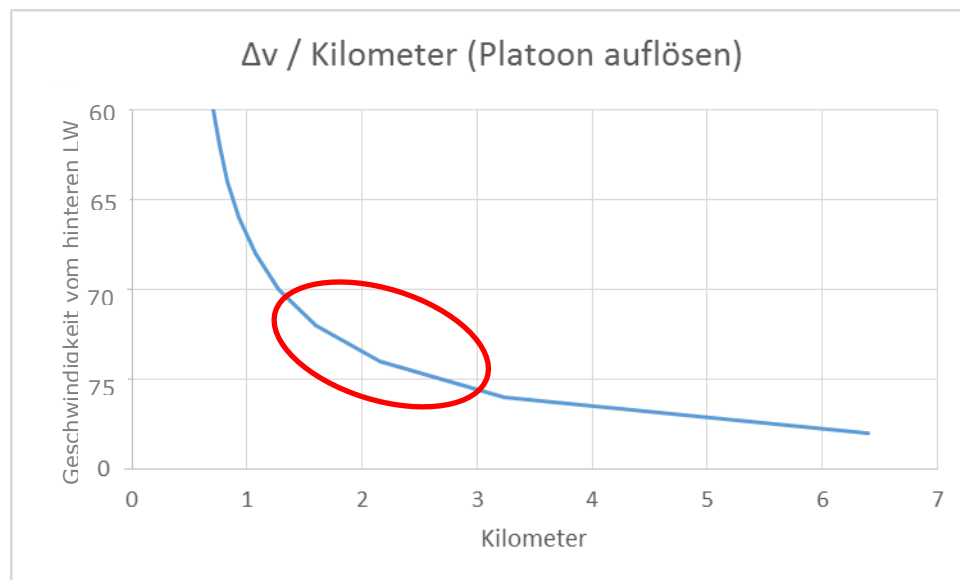


Abbildung 53 Optimale Geschwindigkeitsdifferenz beim Auflösen des Platoons

B.4 Auswirkung der Beschleunigung auf das Platooning

Wie im Bericht erwähnt ist mit 0.5 m/s^2 eine für den LW-Fahrer angenehme Beschleunigung gewählt worden. Wie in Abbildung 54 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** gezeigt wird, hat eine Variation der Beschleunigung auf die Platoon-Bildung und -Auflösung nur einen geringen Einfluss. Dies im Gegensatz Geschwindigkeitsunterschied. So bewirkt eine Verdoppelung der Beschleunigung (von 0.5 auf 1 m/s^2) eine Verkürzung der Platoon-Auflösung um nur 30 m. Dies ist damit begründet, dass die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen offenem und geschlossenem Verband nur $\pm 5 \text{ km/h}$ beträgt, was relativ schnell erreicht ist.

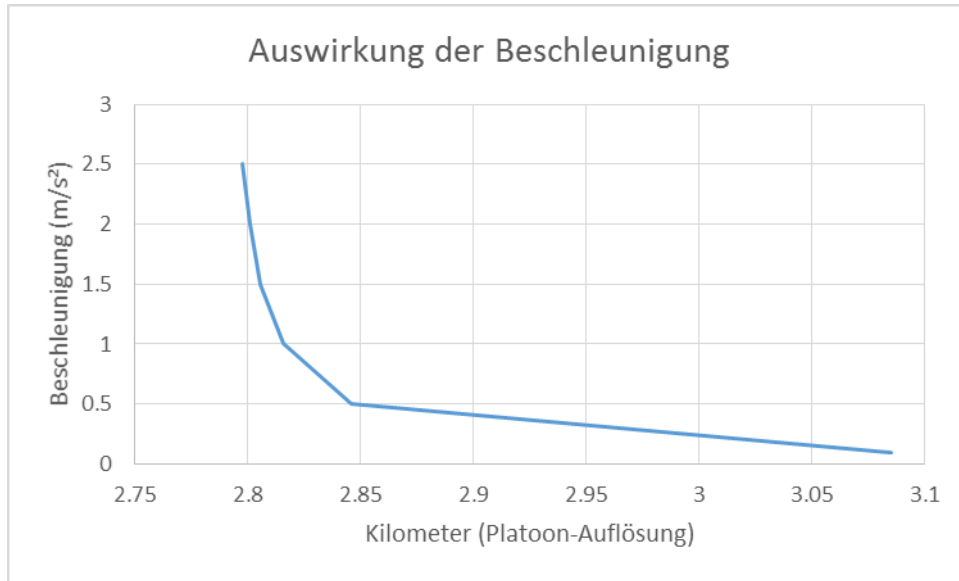


Abbildung 54 Auswirkung der Beschleunigung auf die Platoon-Auflösung

C Anhang C: Charakteristika Schweiz

C.1 Relevante Charakteristika Schweiz

C.1.1 Sicherheitsabstand

Für den Sicherheitsabstand existieren in der Schweiz mehrere gesetzliche Artikel. In der Verkehrsregelverordnung (VRV) ist das Hintereinanderfahren folgendermassen geregelt: „Der Fahrzeugführer hat beim Hintereinanderfahren einen ausreichenden Abstand zu wahren, so dass er auch bei überraschendem Bremsen des voranfahrenden Fahrzeugs rechtzeitig halten kann“ (VRV Art. 12. Abs.1). Des Weiteren ist im Strassenverkehrsgesetz (SVG) folgende Regelung festgehalten: „Gegenüber allen Strassenbenutzern ist ausreichender Abstand zu wahren, namentlich beim Kreuzen und Überholen sowie beim Neben- und Hintereinander fahren“ (SVG Art. 34 Abs. 4). Für LW und sich langsam bewegende Motorfahrzeuge besteht im VRV ein zusätzlicher Artikel, welcher den Sicherheitsabstand genau definiert. Dieser legt folgendes fest: „Die Führer schwerer Motorwagen haben ausserorts den schnelleren Motorfahrzeugen das Überholen angemessen zu erleichtern, indem sie ganz rechts fahren, unter sich einen Abstand von wenigstens 100 m wahren und nötigenfalls auf Ausweichplätzen halten. Dies gilt auch für andere Motorfahrzeuge, wenn sie langsam fahren (VRV Art. 10 Abs. 3). Für den LW ist zusätzlich die Höchstgeschwindigkeit bei 80 km / h gesetzlich festgelegt (VRV Art. 5 Abs. 1) (vgl. Schweizer Bundesrat 2017, Schweizerische Eidgenossenschaft 2016).

Schlussfolgernd ist festzuhalten, dass der LW bei einer Geschwindigkeit von 80 km / h einen Sicherheitsabstand von 100 m halten muss. Für die anderen motorisierten Strassenbenutzer hat das Verkehrsrecht Schweiz folgende zwei Faustregeln angegeben, welche zu einem ausreichenden Abstand nach VRV Art. 12 Abs.1 führen soll.

- „2-Sekunden-Regel“: 21 – 22 zählen
- „halber Tacho-Regel“: So soll der Abstand mindestens halb so viel Meter, wie die Geschwindigkeit in Kilometer beträgt, betragen

C.1.2 Alpenschutzartikel

In der Bundesverfassung existiert der Artikel 84, welcher den Alpenquerenden Transitverkehr regelt. Dieser beinhaltet folgendes:

„Abs. 1. Der Bund schützt das Alpengebiet vor den negativen Auswirkungen des Transitverkehrs. Er begrenzt die Belastungen durch den Transitverkehr auf ein Mass, das für Menschen, Tiere und Pflanzen sowie ihre Lebensräume nicht schädlich ist.

Abs. 2. Der alpenquerende Gütertransitverkehr von Grenze zu Grenze erfolgt auf der Schiene. Der Bundesrat trifft die notwendigen Massnahmen. Ausnahmen sind nur zulässig, wenn sie unumgänglich sind. Sie müssen durch ein Gesetz näher bestimmt werden.

Abs. 3. Die Transitstrassen-Kapazität im Alpengebiet darf nicht erhöht werden. Von dieser Beschränkung ausgenommen sind Umfahrungsstrassen, die Ortschaften vom Durchgangsverkehr entlasten“ (Bundesverfassung 2016).

Der Alpenschutzartikel verbietet die Kapazitätserhöhung des alpenquerenden Verkehrs. Inwiefern das Platooning in diesem Sinn als Massnahme zur Kapazitätserhöhung gilt, ist unklar und muss genauer untersucht werden.

C.1.3 Zollabfertigung

Bereits heute besteht unter gewissen Voraussetzungen die Möglichkeit einen Grossteil Zollabfertigung mit elektronischer Datenübermittlung abzuwickeln (Chesaux 2015). Für dieses Anliegen existiert die Verordnung über die Zollabfertigung mit elektronischer Datenübermittlung (ZEDV), welche seit dem 1. April 1999 in Kraft getreten ist (Schweizer Bundesrat 1999).

Mit dem Programm DaziT sollen nun bis 2026 sämtliche Zollprozesse digitalisiert werden, um den grenzübergreifenden Verkehr weiter zu vereinfachen und zu beschleunigen. „Namentlich das Zollverfahren bei der Ein- und Ausfuhr von Waren soll vereinfacht und beschleunigt werden.“ Die durchgängige Digitalisierung der Zollprozesse bedingt einerseits eine komplette Erneuerung der IKT-Landschaft sowie auch sämtlicher Geschäftsprozesse der EZV. Des Weiteren soll das DaziT mit europakompatible Informatik-Lösungen realisiert werden (EZV 2017).

Für ein grenzübergreifend anhaltendes Truck Platooning kann die Digitalisierung der Zollprozesse entscheidend sein. Grundsätzlich sind zwei Möglichkeiten vorstellbar. Zum einen kann die Zollabfertigung für die einzelnen LW des Platoons separat abgewickelt werden. Zum anderen könnten die LW des Platoons für die Zollabfertigung als eine Einheit betrachtet werden. Das Letztere kann zu einer zusätzlichen Beschleunigung der Zollabfertigung führen. Inwiefern dies in der heutigen gesetzlichen Grundlage erlaubt ist, muss noch geprüft werden.

C.1.4 Fahrverbot

In der Schweiz existiert für LW ein Sonntag- und Nachfahrverbot. „Das Sonntagfahrverbot gilt an allen Sonntagen und ausgewählten Feiertagen. Das Nachfahrverbot gilt von 22.00 Uhr bis 05.00 Uhr (vgl. VRV Art. 91).

Dennoch besteht die Möglichkeit eine Bewilligung für Sonntags- oder Nachfahrten zu beantragen. Bewilligungen können unter anderem für die „Verschiebung von verkehrsstörenden Ausnahmefahrzeugen und für verkehrsstörende Ausnahmetransporte“ erteilt werden (vgl. VRV Art. 92 Abs. 2). Das Platooning kann als ein solches Element verstanden werden. Des Weiteren werden folgende Absätze für die Erteilung einer Bewilligung aufgelistet.

„Art. 92 Abs. 3: Bewilligungen für andere Fahrten als nach Absatz 2 darf der Kanton nur mit Zustimmung des ASTRA erteilen. In einem dringenden Fall kann der Kanton eine unerlässliche Fahrt von sich aus gestatten unter Mitteilung an das ASTRA.

Art. 92 Abs. 4: Der Standortkanton oder der Kanton, in dem die bewilligungspflichtige Fahrt beginnt, erteilt die Bewilligung mit Gültigkeit für die ganze Schweiz. Die Zuständigkeit des Standortkantons entfällt, wenn sein Gebiet nicht berührt wird. Für Fahrzeuge des Bundes ist das ASTRA zuständig“ (vgl. VRV Art. 92).

Schlussfolgernd ist festzuhalten, dass die Möglichkeit besteht ein Pilotversuch des Platoonings an Sonntagen oder während dem Nachfahrverbot durchzuführen.

C.1.5 Übersicht Hochleistungsstrassennetz

