

Forschungsprojekt **AUTO-NOM**

Analyse, Evaluierung und Anforderungen an innovative
Anwendungen von autonomen Fahrzeugen aus
verkehrspolitischer Sicht

Teil 2: Rahmenbedingungen Infrastruktur

Autoren:

**Martin Fellendorf, Stefan Flucher,
Christian Joachim Gruber**

Forschungsförderer:

FFG Österreichische
Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Sensengasse 1, 1090 Wien

Förderungsnehmer:

Sammer & Partner Ziviltechniker GmbH
Leonhardstrasse 12, 8010 Graz
Konsortialführer

**Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Rechtswissenschaften**
Feistmantelstrasse 4/H736, 1180 Wien

**Technische Universität Graz
Institut für Straßen- und Verkehrswesen**
Rechbauerstrasse 12/II, 8010 Graz
FFG-Projektnummer: 854967

Wien, Graz 2018



Universität für Bodenkultur Wien



WISSEN
TECHNIK
LEIDENSCHAFT



constitutional
thinking
beyond
borders



Bundesministerium
Verkehr, Innovation
und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung - Infrastruktur	3
1.1	Allgemein	3
1.2	Straßenkategorien	6
1.3	Themenschwerpunkte	8
2	Straßenbauliche Infrastruktur	9
2.1	Trassierung	9
2.2	Oberbaubemessung - Platooning	12
2.3	Fahrbahnbeschaffenheit und Deckschichtschäden:	17
3	Spezielle Verkehrsanlagen	19
3.1	Pannestreifen, Pannengebühren	19
3.2	Anforderungen an den ruhenden Verkehr	22
3.3	Haltebereiche für automatisierte Mobilitätsdienste	24
3.4	Eisenbahnkreuzungen	25
4	Leiteinrichtungen	26
4.1	Leitpföcke, Rückhaltesysteme und Schneestangen	26
4.2	Bodenmarkierungen und Straßenverkehrszeichen	26
4.2.1	Bodenmarkierungen - Allgemein	26
4.2.2	Bodenmarkierungen – „Muss-Kriterien“	29
4.2.3	Bodenmarkierungen – „Kann-Kriterien“	30
4.2.4	Straßenverkehrszeichen - Allgemein	32
4.2.5	Verkehrszeichen – Maßnahmen nach „Muss-Kriterien“	34
4.2.6	Verkehrszeichen – Maßnahmen nach „Kann-Kriterien“	37
4.2.7	Offene Fragen Bodenmarkierungen und Verkehrszeichen	37
5	Verkehrslichtsignalanlagen (VLSA)	38
5.1	Intelligente Vernetzungstechnologien	39
5.2	Informationsfluss zwischen automatisierte Fahrzeug und der Infrastruktur	41
5.3	Hochauflösende digitale Straßenkarten (HD-Maps)	47
5.3.1	Positionsbestimmung mit HD-Maps	49
5.3.2	Fragen der Bereitstellung, Koordination, Aktualität und von Unsicherheiten	51
5.3.3	Schlussfolgerung für die Nutzung von HD-Maps	54
6	Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen Infrastruktur	58
7	Anhang	60
8	Literaturverzeichnis	64

1 Einleitung - Infrastruktur

1.1 Allgemein

Um Automatisiertes Fahren (AuFa) großflächig einführen zu können, muss nicht nur die Entwicklung seitens der Automobilindustrie vorangetrieben werden, sondern werden wahrscheinlich infrastrukturelle Anpassungen an der Straßeninfrastruktur zu ergreifen sein. Der Grundgedanke dahinter ist, dass zukünftig bei der Gestaltung der Straßeninfrastruktur die technischen Möglichkeiten von automatisierten Fahrzeugen berücksichtigt werden sollen. Das Ziel sollte ein weitestgehend einheitliches Straßennetz sein. Nicht standardisierte Streckenabschnitte sollten vermieden oder entsprechend gekennzeichnet werden. Festzuhalten ist, dass dies im Einvernehmen mit den zuständigen Institutionen der Gestalter der Richtlinien sowie mit den Straßenerhaltern möglich ist. Langfristig sollte eine staatenübergreifende Harmonisierung der Straßeninfrastruktur angestrebt werden.

In Österreich sind auf nationaler Ebene die straßenbaulichen Vorschriften und der Stand der Technik in den Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS), sowie in der Bodenmarkierungsverordnung und Straßenverkehrszeichenverordnung definiert, die einen verbindlichen Charakter besitzen. Die Verbindlichkeit der RVS beläuft sich weitestgehend auf das Bundesstraßennetz der ASFINAG. Für Straßeninfrastruktur der Länder und Gemeinden besitzen die RVS Empfehlungscharakter und stellen den Stand der Technik dar. Ziel der Richtlinien und Verordnungen ist die Schaffung eines einheitlichen Qualitätsniveaus bei Planung, Bau und Betrieb. In Bezug auf die Ausbauplanung der Infrastruktur für Automatisiertes Fahren sind einige Themenbereiche zu klären und zu definieren, damit ein sinnvoller Einsatz der knappen budgetären Mitteln möglich ist und keine rechtlichen Grauzonen entstehen. Unter anderem ist zu klären:

- welche Bereiche der RVS und Verordnungen sinnvoller Weise zu überarbeiten sind,
- ab welcher Automatisierungsklasse Anpassungen notwendig sind,
- wer für die Herstellung der infrastrukturellen Rahmenbedingungen zuständig und verantwortlich sein soll,
- welche spezifischen Leistungen und Qualitätsstandards angeboten werden sollen,
- inwieweit der Infrastrukturbetreiber verpflichtet sein soll, bestimmte Anpassungen durchzuführen und
- welche rechtlichen Folgen sich daraus ergeben.

Die Frage des zweckmäßigen Ausbauezeitraumes kann aktuell nur abgeschätzt und mit den erwartenden Durchdringungsraten der Automatisierungsklassen abgestimmt werden.

Anhand einer zweistufigen Delphi-Untersuchung wurden Probleme und Gefahrensituationen auf Autobahnen und Schnellstraßen sowie auf Stadtstraßen bei 39 ExpertInnen abgefragt. Generell als kritisch wurden die Themenbereiche schlechte Sichtverhältnisse, abgesicherte Gefahrenstellen (Unfälle, Baustellen) und uneinheitliche Verkehrsinfrastrukturgestaltung (inkl. Bodenmarkierungen und Straßenverkehrszeichen) identifiziert. Im Stadtverkehr wird zusätzlich mit Gefahrensituationen bei technisch ungesicherten Eisenbahnkreuzungen zu rechnen sein (siehe dazu Abbildung 1.1-1 und Abbildung 1.1-2).

Abbildung 1.1-1: Problem- und Gefahrensituationen im Stadtverkehr laut Delphi-Befragung von ExpertInnen

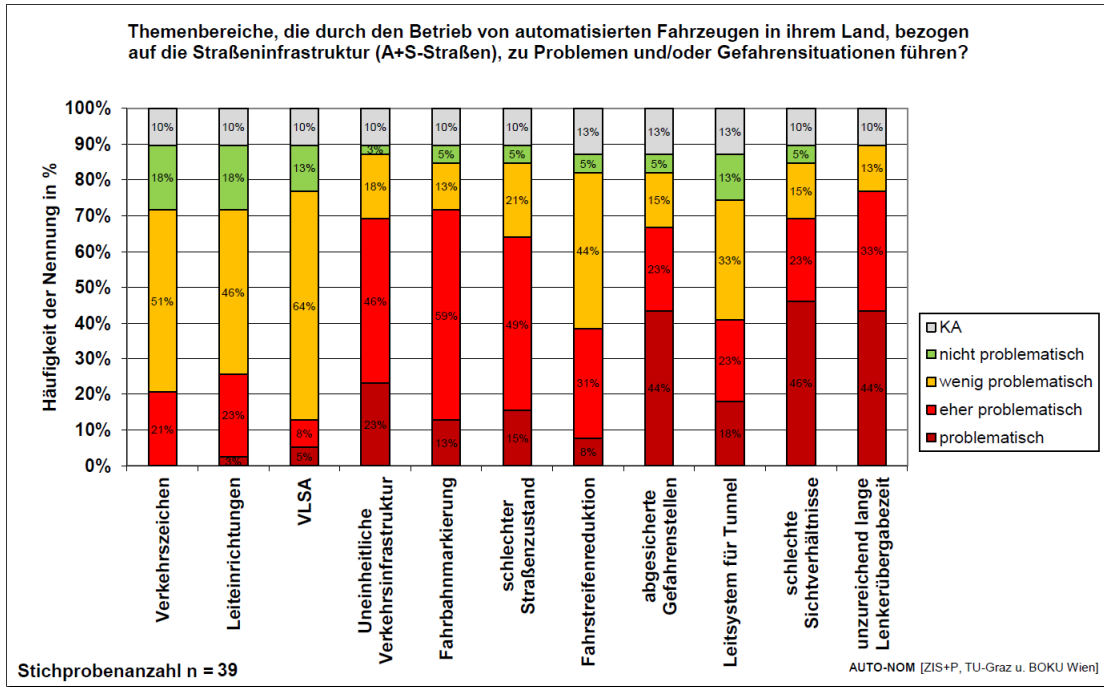
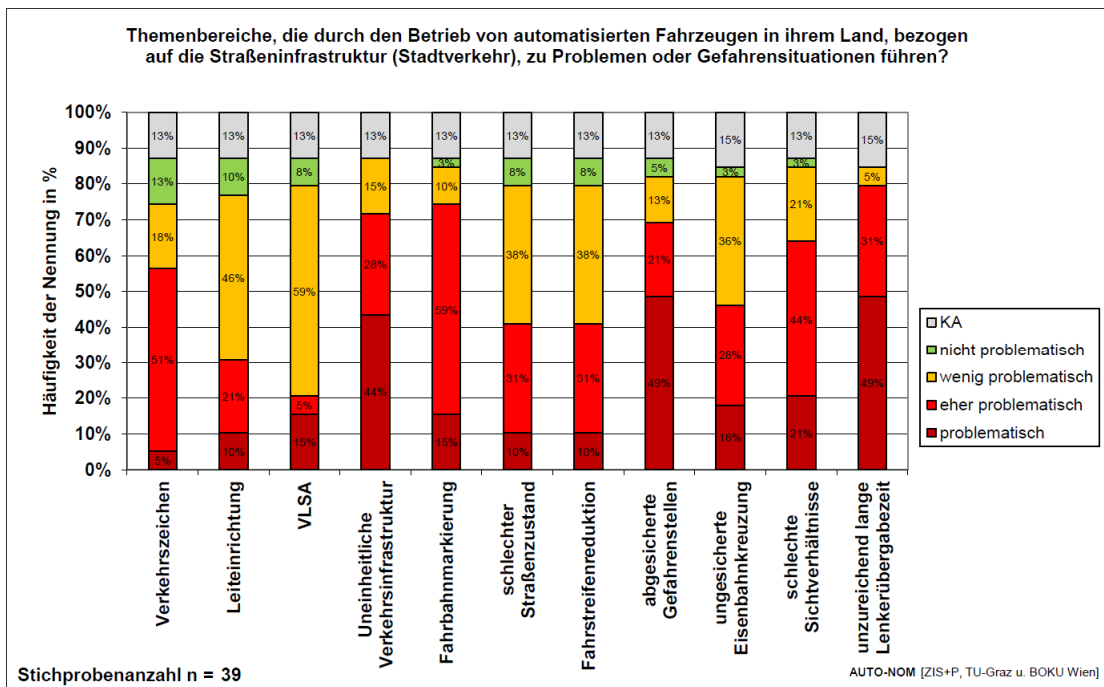


Abbildung 1.1-2: Problem- und Gefahrensituationen im Autobahn- und Schnellstraßennetz laut Delphi-Befragung von ExpertInnen



Sichtweitenproblematik

Aus den thematisierten Fragestellungen, beispielsweise der Sichtweitenproblematik (siehe dazu auch AUTO-NOM: Teil 1 Kapitel 8.2) und der Durchdringungsraten (siehe dazu auch AUTO-NOM: Teil 1 Kapitel 9.4.1), erscheint eine Anpassung der Infrastruktur ab der Automatisierungsklasse 4 (lt. SAE J3106) sinnvoll. Die Begründung liegt in der Sichtweitenproblematik des Automatisierten Fahrens für die Automatisierungsklassen 3. Die Einhaltung der notwendigen Länge des Bremsweges auf Grund von eingeschränkten Sichtweiten bei Kurvenfahrt oder bei Kuppen in Verbindung mit der zusätzlichen Zeitdauer für die Lenkübernahme durch den Fahrer bei Aufforderung durch das automatisierte Fahrzeug ist problematisch.

Im Bericht AUTO-NOM: Teil 1 Kapitel 8.2 zeigt sich, dass Fahrzeuge der Automatisierungsklasse 3 im Normalverkehr auf Autobahnen und Schnellstraßen eine erforderliche Geschwindigkeitsreduktion auf 35 bis 39 km/h benötigen, um in Kurven die erforderliche Länge des Anhalteweges einzuhalten. Durch so eine Reduktion der Fahrgeschwindigkeit würde der Verkehrsfluss stark gestört werden, wenn auch nicht automatisierte Fahrzeuge unterwegs sind. Die Brems- und Beschleunigungsmanöver würden dadurch die Verkehrssicherheit signifikant negativ beeinflussen. Bei AuFz der Automatisierungsklasse 4 und 5 ist in Kurven ebenfalls eine Reduktion der Geschwindigkeit notwendig. Diese liegt auf Autobahnen und Schnellstraßen in einem für den Verkehrsfluss als verträglich einzustufenden Bereich von 115km/h bis 122km/h. (siehe dazu auch AUTO-NOM: Teil 1, Kapitel 8.2; Tabelle 8.2-8)

Auf Grund der dargestellten Problematik der Automatisierungsklasse 3 wird empfohlen, die Zulassungsgenehmigung der Klasse 3 der Automatisierung sorgfältig zu diskutieren und rechtlich zu regeln. Es ist zu überlegen, die Entwicklung der Klasse 3 zu überspringen und gleich auf die Klasse 4 zu setzen, weil eine Reihe der Probleme in der Verknüpfung von Verkehrsrecht, Trassierungsentwurf samt Sichtweite und technologische Entwicklung nicht zu befriedigenden Einsatzmöglichkeiten der Klasse 3 führt. Bei Einhaltung der sicherheitsbedingten Regelungen der StVO wird das erwartete Potential an Komfort und verkehrswirtschaftlichen Mehrwert nicht erhöht. Es ist im Gegensatz mit nicht zu vernachlässigenden Nachteilen bezüglich der Verkehrssicherheit und Reisezeit zu rechnen.

Vertrauensgrundsatz

Ein weiterer Eckpunkt bei der Betrachtung der infrastrukturellen Anpassungen stellen auch die Problemfelder der Einhaltung des Vertrauensgrundsatzes (§3 StVO) dar (siehe dazu auch AUTO-NOM: Teil 1, Kapitel 8.5 und Teil 3). Basierend auf den identifizierten Konfliktpunkten auf Straßen außerorts bei automatisierter Fahrt (siehe dazu AUTO-NOM, Teil 1, Kapitel 7.5 und 8.5) zeigen sich Einschränkungen bei der räumlichen Betrachtung der Einsatzgebiete. Die Vorteile des automatisierten Fahrens greifen in der derzeitigen Rechtslage auf Straßen außerorts nicht, da ein rechtzeitiges Halten auf Sicht bei Personen im Straßenverkehr, denen nicht vertraut werden darf, nur schwierig umzusetzen ist. Dabei stellt das Identifizieren jener Personen ein Problem dar, die vom Vertrauensgrundsatz ausgeschlossen sind. Das Einhalten des rechtskonformen Verhaltens von AuFz ist dadurch erschwert. Um den Vertrauensgrundsatz auf Straßen außerorts einzuhalten wird eine passive und vorsichtige rechtskonforme Fahrweise notwendig, die nur eine geringere höchstzulässige Geschwindigkeit möglich machen würde. Da zu jedem Zeitpunkt an jeder Stelle auf Sicht gefahren werden muss, ist es vorstellbar, dass die Leistungsfähigkeit der Straßen außerorts durch die verringerte Geschwindigkeit, vor allem im Mischbetrieb bei automatisierter Fahrt, negativ beeinflusst wird.

1.2 Straßenkategorien

Für die Betrachtung der infrastrukturellen Maßnahmen innerhalb dieses Forschungsprojektes, die durch den Betrieb von AuFz der Automatisierungsklasse 3, 4 und 5 zu diskutieren sind, werden Straßen in Österreich in drei Kategorien eingeteilt:

- Autobahnen und Schnellstraßen
- Straßen innerorts
- Straßen außerorts

Autobahnen und Schnellstraßen bilden das hochrangige Straßennetz von Österreich ab. Grundsätzlich dürfen Autobahnen und Schnellstraßen (A+S) mit einer Geschwindigkeit von 130 km/h von Pkw und 80 km/h von Lkw befahren werden. Auf unterschiedlichen Streckenabschnitten wird die höchstzulässige Geschwindigkeit auf 100 km/h bzw. 80 km/h reduziert (z.B. Tunnelabschnitte, reduzierte Sichtweiten und Kurvenradien, Baustellenabschnitte). Qualitativ ist die Infrastruktur auf Autobahnen und Schnellstraßen am besten ausgeführt. Bodenmarkierungen sind flächendeckend vorhanden und Straßenverkehrszeichen werden mit einer entsprechend hohen Rückstrahlwirkung ausgeführt. Da Fußgänger und Radfahrer A+S nicht benutzen dürfen, entstehen keine Konflikte mit dem Vertrauensgrundsatz. Die Sichtweiteinschränkungen betreffend Trassierungselemente sind im Bericht AUTO-NOM: Teil 1 Kapitel 8.2 dargestellt.

Straßen innerorts stellen alle Straßen innerhalb einer Stadt oder eines Ortsgebietes dar. Die Funktionen können laut RVS 03.04.12 zwischen Durchleiten, Verbinden, Sammeln und Erschließen variieren. Je nach Straßentyp ergeben sich unterschiedliche Verkehrsorganisationskonzepte.

Tabelle 1.2-1: Straßen innerorts Kategorien RVS 03.04.12

<p>Hochleistungsstraße (Durchleiten bzw. Verbinden)</p>		<p>Trennprinzip: alle Verkehrs- und Fahrzeugarten mit getrennten Verkehrsflächen Knoten mit VLSA Geschw.: > 50 km/h Keine Vertrauensgrundsatzkonflikte erwartet</p>
<p>Hauptstraße (Verbinden)</p>		<p>Mischverkehr von Pkw und ÖPNV, ggf. von Radverkehr und Fußgänger. Trennen von Fahrbahn, Radweg, Gehweg und eigene ÖONV Trasse möglich; geregelte Knoten Geschw.: 50 km/h (ggf. 30 km/h) Vertrauensgrundsatzkonflikte möglich</p>
<p>Sammelstraße (Sammeln)</p>		<p>Mischen von Pkw und ÖPNV; ggf. von Radverkehr und Fußgänger; Trennung von Fahrbahn und Gehweg vorsehen Geregelte und unregelte Knotenpunkte Geschw.: 30 – 50 km/h Vertrauensgrundsatzkonflikte möglich</p>
<p>Anliegerstraße (Erschließen)</p>		<p>Mischen von Pkw, Radverkehr und ÖPNV Unregelte Knotenpunkte Geschw.: 30 km/h ggf. Schrittgeschwindigkeit Vertrauensgrundsatzkonflikte möglich</p>

Für Straßen innerorts wird es je nach Kategorie und möglichen Konflikten mit dem Vertrauensgrundsatz und der Sichtweitenproblematik früher oder später möglich sein, automatisierten Fahrbetrieb einzuführen. Wobei die Höhe der höchstzulässigen Geschwindigkeit einen erheblichen Einfluss auf die Einführung hat, da bei Geschwindigkeiten <30 km/h ein rechtzeitiges Anhalten vor Hindernissen möglich ist.

Straßen außerorts können ebenfalls in unterschiedlichen Kategorien eingeteilt werden. Es kann zwischen Straßen außerorts mit überregionaler Bedeutung (Landesstraßen B und L) und Straßen außerorts mit regionaler/lokaler Bedeutung unterschieden werden (siehe dazu AUTO-NOM, Teil 1, Kapitel 8.5.3). Straßen außerorts mit überregionaler Bedeutung bietet für AuFa Konfliktbereiche, wie die angestrebten relativ hohen Geschwindigkeiten (bis 100 km/h) und das Teilen des Verkehrsweges mit anderen Teilnehmern:

- Fußgänger am Straßenrand;
- Wartende Personen im Bereich von ÖV-Haltestellen;
- Querende Fußgänger (freier Strecke, Schutzwege);
- Bewohner (Kinder) im Bereich von Wohnhäusern im Bereich der Straße.

Auf Grund dieser Konfliktbereiche ist ein Betrieb von AuFz auf Straßen außerorts fachlich nicht wünschenswert. Anpassungen der Infrastruktur für den automatisierten Fahrbetrieb sind daher auf Straßen

außerorts nicht zweckmäßig. Für Straßen außerorts mit lokaler Bedeutung wäre der Betrieb von AuFz grundsätzlich zu diskutieren, wenn folgende Voraussetzungen gegeben sind:

- Geringe Geschwindigkeiten (<30 km/h)
- Zusammenhängendes Straßennetz von Straßen mit lokaler Bedeutung

Ähnlich der Straßen innerorts bieten geringe Geschwindigkeit die Möglichkeit auf Hindernisse frühzeitig zu reagieren und das Fahrzeug zum Stillstand zu bringen.

Im Bericht AUTO-NOM: Teil 1 Kapitel 8.5.2 und 8.5.3 werden die Straßenkategorien betreffend automatisierten Fahrbetriebes ebenfalls thematisiert.

1.3 Themenschwerpunkte

Erst eine theoretisch vollständige durchgeführte Vernetzung aller Verkehrsteilnehmenden (>99 %), inklusive Fußgänger und Radfahrer mit der Infrastruktur, könnte diese Problematik lösen. Nach aktuellem Wissenstand (Jahr 2017) kann zumindest innerhalb des Projektbetrachtungszeitraumes (Jahr 2040) nicht von einer vollständigen Vernetzung aller Verkehrsteilnehmer ausgegangen werden. Über den Projekthorizont hinaus scheint eine vollständige Vernetzung aller Verkehrsteilnehmer ebenfalls kaum bis nicht umsetzbar zu sein. Unter Einbeziehung aller Vorbehalte und rechtlicher Konsequenzen, die sich dadurch ergeben könnten, wird zukünftig eine gesellschaftliche Diskussion notwendig sein.

Die zentralen Themenschwerpunkte im Bereich der möglichen infrastrukturellen Anpassungen für Automatisiertes Fahren werden in den folgenden Bereichen erwartet:

- Straßenbauliche Maßnahmen (Trassierung – für Neubauten und Sanierungen, Querschnittsgestaltung, Fahrzeugrückhaltesysteme, Leiteinrichtungen, usw.),
- Bodenmarkierungen und Straßenverkehrszeichen,
- Verkehrslichtsignalanlagen und
- technischen Neuerungen, digitale Infrastruktur (HD-Maps, C-ITS und V2X-Kommunikation, usw.).

2 Straßenbauliche Infrastruktur

Die **straßenbauliche Infrastruktur** ist der klassische sichtbare Teil des Straßenverkehrssystems. Sie umfasst den Baukörper der Straße als Fahrbahn, die Trassierung, Linienführung, Querschnittsgestaltung und Leiteinrichtungen sowie Fahrzeug-Rückhaltesysteme. Darunter werden unter anderem Bordsteine, Leitplanken und Betonleitwände verstanden. Bodenmarkierungen und Straßenverkehrszeichen werden ebenfalls zur straßenbaulichen Infrastruktur gezählt, werden aber als eigenständige Themenbereiche betrachtet.

2.1 Trassierung

Der erste Teilaspekt der straßenbaulichen Maßnahmen ist die Trassierung. Für automatisierte Fahrzeuge wird gesetzeskonformes Verkehrsverhalten vorausgesetzt, somit kommt der Grundsatz „Fahren auf Sicht“ in jeder Fahrsituation zur Anwendung.

Speziell im hochrangigen Straßennetz (Autobahn und Schnellstraße) auf Abschnitten mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h kann sich oftmals ein Sichtweitenproblem ergeben. Durch enge Kurvenradien oder Sichteinschränkungen, die aus Einbauten resultieren (z.B.: nachträglich hinzugefügte Betonleitwände) kann der Grundsatz „Fahren auf Sicht“ bei 130 km/h bzw. bei 100 km/h und auch darunter nicht immer vollständig eingehalten werden (siehe AUTO-NOM, Teil 1, Kapitel 8.2.2). Auch eine theoretisch mögliche vollständige Vernetzung aller Verkehrsteilnehmer (V2X-Kommunikation) könnte die Notwendigkeit des Grundsatzes „Fahren auf Sicht“ nicht aufheben, weil nach wie vor Situationen auftreten können, die das „Fahren auf Sicht“ notwendig machen. Als Beispiel kann verlorenes Ladegut, Wildtiere oder Ölflecken auf der Fahrbahn angeführt werden. In der Richtlinie RVS 03.03.23 werden Sichtweiten definiert, diese sind im Zusammenhang mit automatisiertem Fahren als Erkennungssichtweite (Gefahrenerkennungssichtweite) zu interpretieren und definieren. Diese Vorkommnisse können auch bei vollständiger Vernetzung aller Verkehrsteilnehmer nicht von der Vernetzung abgedeckt werden. Eine kritische Situation stellt beispielsweise das rechtzeitige Anhalten vor einem verunfallten Motorradfahrer, der auf der Fahrbahn zu Liegen gekommen ist (siehe AUTO-NOM, Teil 1). Diese Beispiele zeigen, dass insbesondere bei der Automatisierungsklasse 3 ein sicheres „teilautomatisiertes“ Anhalten vor jedem Hindernis wegen der derzeit in der Planung berücksichtigten Sichtweiten und Entwurfsgeschwindigkeiten unter den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten nicht möglich ist.

Für AuFz der Automatisierungsklasse 3 zeigen sich neben der zuvor genannten Thematik weitere Unstimmigkeiten. Bei diesen Fahrzeugen muss der Lenker nach einer Vorwarnung mit einem akustischen und/oder optischen Signal die Steuerung des Fahrzeuges übernehmen. Das Zeitfenster zwischen der Aufforderung der Übernahme vom Fahrzeug und der tatsächlichen Übernahme durch den Fahrer kann stark variieren und Werte zwischen 1,9 und 25,8 Sekunden annehmen, wie eine Untersuchung der Universität von Southampton gezeigt hat (Eriksson, Stanton, 2017). Es zeigt sich, dass mit einer Übergabezeit zwischen 10 und 20 Sekunden gerechnet werden sollte. Während dieses Zeitraumes ist das Fahrzeug fahrerlos. Als Konsequenz verlängert sich der Anhalteweg um ein Vielfaches. Die Frage der minimal zulässigen Übergabezeit ist im Rahmen der Zulassungsbedingungen rechtlich zu klären. Würde das Steuer vor jedem zu engen Radius übergeben, so wäre je nach Straßenabschnitt ein ständiger „Fahrerwechsel“ das Resümee. Da jedoch schon in naher Zukunft mit der technischen Reife von Fahrzeugen der Automatisierungsklasse 4 gerechnet wird, werden Fahrzeuge der Automatisierungsklasse 3 bei der Lösungsfindung nicht berücksichtigt. Eine Anpassung der Infrastruktur wird nur langfristig betrachtet als sinnvoll

eingestuft. Im ersten Teil der vorliegenden Studie wird die Problematik für die Automatisierungsklasse 3 im Detail für eine Übergabezeit von 10 Sekunden untersucht, um daraus die Auswirkungen auf die mögliche Fahrgeschwindigkeit bzw. Reisezeit ableiten zu können.

Ein weiteres relevantes Thema erscheint die Sichtweitenproblematik bei LKW und PKW Platooning im Mischverkehr. Neben der Bildung eines Fahrzeugkonvois ausschließlich aus AuFz könnte zukünftig die Möglichkeit bestehen, dass sich AuFz an konventionelle Fahrzeuge anhängen, um im reduzierten sicheren Abstand die Vorteile des verringerten Luftwiderstandes zu nutzen. Für AuFz der Automatisierungsklasse 4 und 5 im automatisierten Betriebszustand liegen zwar derzeit keine wissenschaftlichen Untersuchungen vor, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass typische Reaktionszeiten von menschlichen Fahrern unterboten werden können (siehe AUTO-NOM, Teil 1, Kapitel 8.2.2). Durch den Reaktionszeitvorteil kann eine AuFz einen reduzierten Abstand zum vorausfahrenden konventionellen Fahrzeug in Kauf nehmen. Verlässt das vorausfahrende konventionelle Fahrzeug die Fahrbahn ergibt sich eine herkömmliche Fahrsituation für das AuFz, mit der Bedingung „Fahren auf Sicht“. Während dieses Übertrittes in die neue Fahrsituation könnte kurzfristig der Fall eintreten, dass die gefahrene Geschwindigkeit (in der Regel für Pkw 130 km/h auf Autobahnen und Schnellstraßen, für Omnibusse 100km/h und für LKW 80 km/h), die durch das vorausfahrende konventionelle Fahrzeug ergeben hat, zu hoch ist, um „Fahren auf Sicht“ und somit die erforderliche Haltesichtweite zu gewährleisten. In diesem Moment wäre kein rechtskonformer Zustand gegeben mit der Folge, dass das AuFz, unerwartet für Folgefahrzeuge, die Geschwindigkeit momentan reduziert. Aus Sicht der Verkehrssicherheit stellt diese Situation ein hohes Risiko für Verkehrsunfälle dar. Bei Vernetzung der Fahrzeuge wäre über Informationsbereitstellung eine frühzeitige Geschwindigkeitsanpassung für das Folgefahrzeug möglich, setzt aber voraus, dass im Mischverkehr auch konventionelle Fahrzeuge eine Vernetzung mit umliegenden Fahrzeugen aufweisen.

Anhand dieser Überlegungen kann abgeleitet werden, dass eine Überprüfung des gesamten hochrangigen Straßennetzes (Autobahn und Schnellstraße) im Hinblick auf die Sichtweitenthematik notwendig ist. Im untergeordneten Straßennetz, speziell im innerstädtischen Bereich spielt die Sichtweitenproblematik aufgrund der deutlich geringeren Geschwindigkeiten eine eher untergeordnete Rolle. Eine Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für die Anpassung der Mindeststradien oder der Abänderung der höchstzulässigen Geschwindigkeiten an die automatisierte Fahrweise ist im ersten Teil der Studie ausgeführt. Diese dienen als Entscheidungsgrundlage.

Streckenabschnitte mit eingeschränkter Sichtweite könnten mit folgenden Lösungsansätzen überarbeitet werden:

- **Geschwindigkeitsreduktion auf betroffenen Abschnitten**

Kann die Sichtweite auf längeren Straßenabschnitten durchgehend nicht eingehalten werden, könnte in diesen Streckenabschnitten die zulässige Geschwindigkeit an den Grundsatz „Fahren auf Sicht“ für automatisierte Fahrzeuge angepasst werden. Da in näherer Zukunft von einer geteilten Nutzung der Straßeninfrastruktur durch konventionelle und automatisierter Fahrzeuge (Mischbetrieb) auszugehen sein wird, ist ab einer bestimmten Geschwindigkeitsdifferenz zwischen konventionellen und automatisierten Fahrzeugen eine allgemeingültige Geschwindigkeitsreduktion sinnvoll. Ein zu großer Geschwindigkeitsunterschied zwischen den Fahrzeugen würde das Verkehrsunfallrisiko anheben und die Leistungsfähigkeit des Streckenabschnittes erheblich beeinflussen.

- **Eigenständiger Fahrstreifen**

Wird für automatisierte Fahrzeuge ein eigener Fahrstreifen zur Verfügung gestellt, dann könnte die gegenseitige Beeinflussung der Fahrzeuge vermieden werden. Dadurch könnte erreicht werden, dass automatisierte Fahrzeuge ihre Geschwindigkeit nach der vorhandenen Sichtweite wählen können, ohne andere Verkehrsteilnehmer zu behindern oder zu gefährden. Als eigener Fahrstreifen wäre zum einen der Pannestreifen möglich. Dieser ist aber nicht im gesamten österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetz verfügbar und wird bei zahlreichen Knotenpunkten und an den Auf- und Abfahrten unterbrochen. Des Weiteren müsste überprüft werden, ob der Oberbau im Bereich des Pannestreifens die nötigen Schichtdicken aufweist, um die zu erwartenden Lasten auch tragen zu können. Gegebenenfalls wäre eine Neudimensionierung des Oberbaus entlang des Pannestreifens notwendig. Auf Streckenabschnitten mit drei Fahrstreifen je Richtungsfahrbahn, könnte der linke Fahrstreifen für automatisierte Fahrzeuge vorgesehen werden. Um eine flächendeckende Nutzung von automatisierten Fahrzeugen im Autobahn- und Schnellstraßennetz zu gewährleisten, wäre ein Ausbau verschiedener Streckenabschnitte notwendig.

- **Bauliche Anpassung bzw. Neutrassierung:**

Zu berücksichtigen wird sein, ob diese Maßnahme bei Neubauten und/oder bei Bestandssanierung zur Anwendung kommen können. Grundsätzlich sollte, auf Grund des zukünftig zu erwartenden Anstieges an automatisierten Fahrzeugen, jeder Neubau im Autobahn- und Schnellstraßennetzes die neuen Technologien berücksichtigen. Daraus abgeleitet werden überarbeitete Trassierungsgrundsätze benötigt, die sich aus der Leistungsfähigkeit der automatisierten Fahrzeuge ableiten lassen und für die Planung herangezogen werden können. Bei Bestandssanierungen werden die räumlichen Gegebenheiten einen großen Einfluss spielen, ob die Anpassungen für automatisiertes Fahren möglich sind. Zu definieren ist, ab welchen Kriterien eine zwingende Neutrassierung notwendig werden soll. Ein überprüfbares Kriterium könnte das Absinken der Geschwindigkeit auf unter 60 km/h sein. Diese Geschwindigkeitsschwelle entspricht der Bauartgeschwindigkeit von Fahrzeugen, die notwendig ist, um auf Autobahnen fahren zu dürfen (§ 46 StVO). Aus Komfortgründen könnte eine Geschwindigkeitsschwelle von 80 km/h definiert werden, die von automatisierten Fahrzeugen, bei Berücksichtigung des Grundsatzes „Fahren auf Sicht“, zumindest erreicht wird. Im Zusammenhang mit der Trassierung müssen die Kosten für etwaige Maßnahmen im Auge behalten werden. Zusätzlich werden weitere Freiflächen benötigt.

- **Anpassung der Bodenmarkierungen**

Die exaktere Fahrweise von automatisierten Fahrzeugen kann genutzt werden, um die derzeit vorhandenen Fahrstreifenbreiten von 3,75 m auf Autobahnen zu reduzieren. Durch eine Verringerung der Fahrstreifenbreite und Versetzung der Bodenmarkierungen könnten Kurvenradien vergrößert werden. In Bereichen, wo die erforderliche Sichtweite nur knapp nicht eingehalten wird, könnte so die notwendige Sichtweite erreicht werden.

- **Sichtbehindernde Einbauten versetzen**

Sichtbehindernde Straßeneinbauten, wie Leitwände oder Lärmschutzwände könnten, falls möglich, versetzt oder eventuell durch andere Systeme oder Einbauten mit geringerer Höhe ersetzt

werden. Die Wirksamkeit dieser Einbauten muss nach wie vor vorhanden sein. Diese dürfen nicht auf Kosten der Verkehrssicherheit reduziert werden.

- **Freigabebeschränkungen**

Auf Straßenabschnitte im Autobahn- und Schnellstraßennetz, die aufgrund ihrer Trassierung ein Fahren auf Sicht mit einer Geschwindigkeit von 130 km/h bzw. 100 km/h nicht ermöglichen, könnte der Einsatz von automatisierten Fahrfunktionen generell untersagt werden. Diese Abschnitte müssten zu jeder Zeit manuell befahren werden. Sinn machen die Freigabebeschränkungen auf Streckenabschnitte, die unübersichtliche Trassierungsbedingungen aufweisen und nicht angepasst werden können. Generell sollte es sich um ein längeres Teilstück handeln, weil unter dem zu häufigen Wechseln zwischen Fahrer und Maschine der Fahrkomfort leiden könnte.

- **Rechtliche Lösung**

Grundsätzlich sollte durch den Einsatz von AF auch auf Autobahnen mit bestehender Trassierung die allgemeine Sicherheit erhöht werden. Wird eine rechtliche Lösung für die Haftungsproblematik gefunden, dann wäre der flächendeckende Einsatz von AF im bestehenden Autobahnnetz denkbar.

2.2 Oberbaubemessung - Platooning

Der Grundgedanke des Platoonings zielt zum einen auf die Verbesserung der Energieeffizienz und zum anderen auf den platzsparenden Umgang mit der vorhandenen Straßeninfrastruktur ab. Dabei werden Fahrzeugkonvois gebildet, die in kurzen Fahrzeugfolgeabstände einander folgen. Primär werden die größten Vorteile und die geringsten Konfliktpotentiale auf Autobahnen und Schnellstraßen gesehen. Untersuchungen im Testbetrieb für den Schwerverkehr auf freier Strecke haben gezeigt, dass Sattelzüge mit einem Fahrzeugfolgeabstand von 15 m einen Konvoi bilden können. Dabei kann eine durchschnittliche Treibstoffeinsparung bei drei Sattelzügen im Konvoi von 7% erreicht werden. Der Platzbedarf bei drei Sattelzügen soll von 150 m auf 80 m reduzierbar sein (Daimler, 2017).

Weitere Untersuchungen betreffend Treibstoffeinsparungen bei LKW Platooning wurden unter anderem von Lammert et al. (2014), Tsugawa (2013) und von Lu und Shladover (2013) durchgeführt. Lammert et al. (2014) hat den Treibstoffverbrauch von einem LKW Platooning, bestehend aus zwei Lastkraftwagen, untersucht. Untersucht wurden unterschiedliche Geschwindigkeitsbereiche zwischen 90 und 110 km/h und Fahrzeugabstände zwischen 6m und 23m. Für den vorausfahrenden LKW ergeben sich aus der Untersuchung 2,7 % Treibstoffreduktion bei 105km/h und 12m und bei verringerten Fahrzeugabstand von 6m mit gleichbleibender Geschwindigkeit 5,3 %. Damit wird gezeigt, dass eine Verringerung der Fahrzeugabstände in einem Konvoi positive Auswirkung auf den Treibstoffverbrauch des vorausfahrenden Fahrzeuges hat. Für den nachfolgenden LKW konnten Treibstoffeinsparungen in der Höhe zwischen 2,8 % bei ca. 6 m Fahrzeugabstand und 9,7 % bei ca. 23 m Fahrzeugabstand verzeichnet werden. Diese Wertebereiche wurden bei einer Geschwindigkeit von 105 km/h ermittelt. Im Verbund ergeben sich für beide Lastkraftwägen eine Treibstoffreduktion von 6,4 % für einen Fahrzeugfolgeabstand von zirka 15 Meter(Lammert et al. 2014).

Tsugawa (2013) hat ebenfalls Untersuchungen für Schwerverkehrs Platooning mit dem Ergebnis durchgeführt, dass eine 10 % Energiereduktion für einen Konvoi, bestehend aus 3 Fahrzeugen, möglich ist (80 km/h, 20 m Fahrzeugabstand). Bei 5 Meter Fahrzeugabständen könnte das Energieeinsparungspotential auf 15 % erhöht werden (Tsugawa 2013). Die Untersuchung des Energieeinsparungspotentials von Lu

und Shladover (2013) ermittelt für einen Lkw Konvoi, bestehend aus 3 Fahrzeugen und einen Fahrzeugfolgeabstand von 6 Meter, 4 % Einsparung für das erste Fahrzeug, 10 % für das Zweite und 14 % Treibstoffeinsparung für das dritte Fahrzeug.

Im Bereich des Kfz- Platooning kann bei gezielter Nutzung des Windschattens des vorausfahrenden Fahrzeuges eine Reduktion des Luftwiderstandes um bis zu 60% erreicht werden. Abhängig ist der erreichbare Wert von der Fahrzeugform, der Folgezeitlücke und des Geschwindigkeitsbereiches (Schito und Braghin 2012). Um eine Optimierung der Fahrzeuglückenabstände und die vollen Effekte der Energie- und Luftwiderstandsersparnisse erreichen zu können, wird das Thema Vernetzung der Verkehrsteilnehmer eine große Rolle spielen. Ohne Vernetzung werden Einordnungs- und Abbiegevorgänge an Anschlussstellen entlang der Autobahnen und Schnellstraßen kaum oder nicht koordinierbar sein.

Neben Platooning von AuFz der Automatisierungsklasse 5 mit Vernetzung im Schwerverkehr ist Platooning im Schwerverkehr auch zwischen AuFz mit unterschiedlichen Automatisierungsklassen denkbar. Ebenso erscheint ein Fahrzeugkonvoi bestehend aus Pkws möglich. Im Mischbetrieb von AuFz unterschiedlicher Automatisierungsklassen auf demselben Straßenabschnitt stehen den zu erwarteten Vorteilen einige Risiken gegenüber. Zum einen besteht die Möglichkeit, dass sich ein konventionelles Fahrzeug mit ähnlich geringem Fahrzeugfolgeabstand wie ein AuFz, an einen Konvoi bestehend aus AuFz anhängt. Der Fahrer nimmt ein erhöhtes Risiko eines Auffahrunfalles durch zu geringen Sicherheitsabstand in Kauf. Ein weiteres Sicherheitsproblem entsteht beim Versuch eines AuFz, sich an ein konventionelles Fahrzeug zu koppeln und einen Konvoi zu bilden. Das in AUTO-NOM, Teil 1, Kapitel 8.2 und Teil 2, Kapitel 2.1 thematisierte Problem der Sichtweiten würde in diesem Fall wieder zum Tragen kommen. Die Gefahr umfasst den Zeitraum, ab dem das vorausfahrende konventionelle Fahrzeug den Fahrstreifen wechselt und das automatisierte Folgefahrzeug für kurze Zeit eine zu geringe Sichtweite hätte, um auf Gefahren und Objekte reagieren zu können. Insbesondere besteht diese Gefahr bei höheren Geschwindigkeiten über 100 km/h.

Platooning von AuFz mit geringen Folgezeitlücken wird zukünftig großen Einfluss auf den Verkehrsfluss nehmen. Je nachdem, wie viele Fahrzeuge sich zu einem Konvoi zusammenschließen können bzw. dürfen, entstehen lange zusammenhängende Fahrzeugketten. Sowohl auf der freien Strecke, als auch im Bereich von Autobahnknotenpunkten und Verflechtungszonen wird die Interaktion zwischen allen Fahrzeugen jeder Automatisierungsklasse nach wie vor erforderlich sein. Fahrstreifenwechsel, Überholvorgänge, Auffahren und Verlassen der Autobahnen und Schnellstraßen würden für die restlichen Verkehrsteilnehmer erschwert werden, weil Platooning einen großen Bereich für Fahrmanöver blockiert. Bei Nutzung des rechten Fahrstreifens für Platooning würde dadurch, für den Zeitraum des Passierens von Knotenpunkten, das Auf- und Abfahren an Anschlussstellen für andere Verkehrsteilnehmer stark eingeschränkt werden. Dieser Zustand würde keine zufriedenstellende Variante darstellen.

Um die Vorteile des Platoonings trotzdem nutzbar zu machen sind folgende Möglichkeiten denkbar:

- **Freimachen von Lücken**

Findet Platooning im Schwerverkehr am rechten Fahrstreifen statt, dann ist das Bereitstellen von passenden Lücken zum richtigen Zeitpunkt zwischen den Konvois für ab- und auffahrende Fahrzeuge notwendig. Voraussetzung hierfür ist eine vollständige Durchdringung von AuFz mit der Automatisierungsklasse 5 mit zusätzlicher Vernetzung aller interagierenden Fahrzeuge. Die wird jedoch im Zeithorizont dieses Projektes bis 2040 nicht erwartet. Gleichzeitig würde damit ein Verlust der Effizienz von Platooning einhergehen. Für Fahrzeuge, die zum Zweck der Lückenbildung

die Geschwindigkeit verringern, erhöht sich zum einen der Luftwiderstand und zum anderen muss im Anschluss die entstandene Lücke wieder geschlossen werden. Zusätzlich müssen alle folgenden Fahrzeuge innerhalb des Konvois die Geschwindigkeit hinter dem abbremsenden AuFz verringern. Beides geht mit Verlust an Energieeffizienz einher und verringert den positiven Nutzen des Platooning. Auf Streckenabschnitte mit einer hohen Verflechtungsdichte, wie Autobahnknoten könnte ein vollständiges Auflösen des Konvois und ein anschließendes Neubilden nach den erforderlichen Fahrmanövern eine akzeptable Möglichkeit darstellen.

- **Nutzung des linken Fahrstreifens**

Um der Problematik des Einflechtens in den Verkehr bei Platooning auf dem rechten Fahrstreifen entgegenzuwirken, könnte der linke Fahrstreifen auf zwei- oder mehrstreifigen Autobahnen und Schnellstraßen für Platooning freigegeben werden. Diese Regelung würde jedoch dem derzeit zur Anwendung kommenden Rechtsfahrgebot (siehe § 7 StVO) widersprechen, das vorgibt, dass auf mehrstreifigen Freilandstraßen und Autobahnen sowie Schnellstraßen verpflichtend der rechte Fahrstreifen zu nutzen ist. Bei Platooning des Schwerverkehrs am linken Fahrstreifen kann davon ausgegangen werden, dass Fahrzeuge mit einer höheren Geschwindigkeit am rechten Fahrstreifen überholen wollen. Dem steht die derzeitige Gesetzeslage gegenüber. § 15 StVO regelt das Überholen. Außer in bestimmten Ausnahmefällen ist das Überholen eines Fahrzeuges auf der rechten Seite verboten. Um die Nutzung des linken Fahrstreifens auf Autobahnen und Schnellstraßen für Platooning freigegeben zu können, ist eine rechtliche Anpassung notwendig.

Durch die Freigabe von Platooning auf dem linken Fahrstreifen sind weitere Schwierigkeiten im Fahrbetrieb denkbar. Im Bereich von Knotenpunkte und Anschlussstellen müssten auf- und abfahrende Lastkraftwagen den ersten Fahrstreifen queren, um den Konvoi am linken Fahrstreifen zu erreichen. Die vorhandenen relativ hohen Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen PKW und Schwerverkehr, sowie hohe Verkehrsbelastungen auf dem ersten Fahrstreifen könnten bei der derzeitigen Ausführung ein Sicherheitsrisiko darstellen und es dem Schwerverkehr erschweren, den linken Fahrstreifen zu erreichen. Schließlich ist der linke Fahrstreifen für den schnelleren Verkehr vorgesehen, was bei einer Reservierung für den Lkw-Verkehr dem widersprechen würde.

Bezüglich der Fahrstreifenbreite auf Autobahnen und Schnellstraßen würde durch die Öffnung des linken Fahrstreifens für Platooning eine Anpassung der Fahrstreifendimensionierung in der RVS 03.03.31 notwendig machen. In der aktuellen Fassung sieht die Richtlinie für die Dimensionierung bei zweistreifigen Richtungsfahrbahnen 100% der maßgebenden Verkehrsstärke des Schwerverkehrs für den rechten Fahrstreifen vor. 10% werden für den linken Fahrstreifen angenommen. Durch den höheren Schwerverkehrsanteil am linken Fahrstreifen wäre eine Anpassung der Fahrstreifenbreite des linken Fahrstreifens flächendeckend durchzuführen.

- **Baulich abgetrennter Fahrstreifen**

Ein baulich abgetrennter Fahrstreifen der ausschließlich für den Schwerverkehr vorgesehen ist, würde die Interaktionspunkte zwischen LKW Platooning und den restlichen Verkehrsteilnehmern auf ein Minimum reduzieren und dem Rechtsfahrgebot vermutlich nicht widersprechen. Der Schwerverkehr könnten jedoch nicht mehr an jeder Stelle den Fahrstreifen wechseln. Das Abfahren muss frühzeitig geplant werden und Fahrstreifenwechsel kann nur noch an den dafür vorgesehenen Bereichen stattfinden. Unter Umständen müssten LKW die ersten und letzten Autobahnkilometer nach der Auffahrt bzw. vor der Abfahrt im herkömmlichen Verkehrsfluss zurückle-

gen. An Knotenpunkte erscheint wiederum das Auflösen und Neubilden eines Konvois die sinnvollste und sicherste Variante. Die Variante eines eigenständigen baulich getrennten Fahrstreifens wird am österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßennetz nur in jenen Abschnitten möglich sein, auf denen bereits ein dritter Fahrstreifen vorhanden ist. Der Bau eines zusätzlichen Fahrstreifens wäre finanziell schwierig durchzuführen.

- **Nutzung des Pannestreifens**

Auf Streckenabschnitten mit vorhandenen Pannestreifen könnte angedacht werden, die bestehende Infrastruktur als dritten Fahrstreifen, konkret als eigenständigen Fahrstreifen für Platooning, zu nutzen. Die Eignung der Pannestreifen als eigenständige Fahrstreifen muss zuvor detailliert überprüft und auf vorhandene Einschränkungen, wie Lichtraum, Oberbau, Fahrstreifenbreite, usw., untersucht werden. Die Knotenpunktproblematik ist aber nach wie vor ungelöst und würde im derzeitigen Zustand zum Auflösen des Konvois führen. Bei Nutzung des bestehenden Pannestreifens für Platooning auf Autobahnen und Schnellstraßen wären die Abstellmöglichkeiten für die AuFz der Automatisierungsklasse 3 und 4 nicht mehr gegeben. Zusätzliche Pannebuchten müssten aufwendig geschaffen und die Anordnung neu diskutiert werden, da die Situierung am rechten Fahrbahnrand, das Querens, der für das Platooning vorgesehenen Pannestreifen notwendig macht.

Neben den Konflikten mit anderen Verkehrsteilnehmer und der angesprochenen Probleme in der Betriebsgestaltung stellt Platooning zusätzlich eine erhöhte Belastung für die Straßendecke und den Oberbau der Fahrbahn dar. Aktuell wird die Oberbaubemessung von Straßen in der RVS 03.08.63 geregelt.

Die Dimensionierung erfolgt anhand der maßgebenden Verkehrsbelastung, die mit Hilfe der Bemessungsnormlastwechsel (BNLW) dargestellt wird. Für die Ermittlung der BNLW wird folgende Formel herangezogen:

$$\mathbf{BNLW} = \mathbf{NLW}_{\text{tägl}} [-] \times \mathbf{R} [-] \times \mathbf{V} [-] \times \mathbf{S} [-] \times \mathbf{365} \times \mathbf{n} [\text{Jahre}] \times \mathbf{z} [\%]$$

mit:

NLW_{tägl}: Anzahl der durchschnittlich täglichen Normlastwechsel für den gesamten Querschnitt zum Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe [-]

R: Richtungsfaktor für die Aufteilung des Lastverkehrs auf der Fahrtrichtung (0,5 bei gleichmäßiger Aufteilung des Lastverkehrs auf beiden Fahrtrichtungen) [-]

V: Faktor zur Berücksichtigung der Verteilung des Lastverkehrs auf mehreren Richtungsfahrbahnen

S: Faktor zur Berücksichtigung der Fahrspurverteilung innerhalb des Fahrstreifens gemäß den Werten der Tabelle 3 [-]

n: Bemessungsperiode [Jahre]

z: Zuwachsfaktor unter Berücksichtigung einer jährlichen Zuwachsrate p [%]

Jener Faktor, der für das Platooning im Zuge der Oberbaubemessung eine Veränderung zum derzeitigen Zustand darstellt ist der Faktor S. Je nach Fahrstreifenbreite variiert der Abminderungsfaktor zwischen 0,7 und 1,0. Im derzeitigen Betrieb wird, je nach Fahrstreifenbreite, davon ausgegangen, dass die Wahl der Fahrspur innerhalb des Fahrstreifens je nach Fahrzeug und Fahrer variiert. Durch die exakte Fahrweise von automatisierten Fahrzeugen kann von einer Verringerung der Verteilung der gewählten Fahrspur

auf den einzelnen Fahrstreifen ausgegangen werden. Bei Platooning im Schwerverkehr ist daher damit zu rechnen, dass eine dichte Folge an Fahrzeugen mit einer hohen Achslast die nahezu idente Fahrspur wählen wird, da zum einen die Spurweite der Lkw nahezu ident ist und zum anderen ein exaktes Hintereinanderfahren für das Minimieren des Luftwiderstandes gefordert ist. Vergleichbar ist diese Art der Fahrweise mit einer spurgeführten Fahrweise, ähnlich wie auf Eisenbahnschienen. Diese grundsätzlich effiziente Lösung im Hinblick auf den Kraftstoffverbrauch fördert die Spurrinnenbildung im Autobahn- und Schnellstraßennetz und stellt eine zusätzliche Belastung des Oberbaus im Hinblick auf die Nutzungsdauer dar.

Um darauf zu reagieren, sind folgende infrastrukturelle Ansätze denkbar:

- **Anpassung des Oberbaus**

Die Oberbaubemessung von geplanten Streckenabschnitte, die für Platooning freigegeben werden sollen, muss überarbeitet und an die neue Lastsituation angeglichen werden. Der Faktor zur Berücksichtigung der Fahrspurverteilung innerhalb des Fahrstreifens in der Lastberechnung der Oberbaudimensionierung ist ebenfalls den neuen Voraussetzungen anzupassen. Für bereits bestehende Infrastruktur sollte eine Überprüfung der Tauglichkeit des Oberbaues für Platooning angestrebt werden, um zu entscheiden, ob die betroffenen Straßenabschnitte verstärkt oder ausgewechselt werden müssen. Derzeitige Nutzungsdauern werden mit den aktuellen Bemessungsrichtlinien vermutlich nicht erreichbar sein. Im Raum steht die vermehrte Ausführung einer Betonfahrbahn, um die Tragfähigkeit und Standfestigkeit sicherzustellen.

- **Softwareseitige Anpassung**

Ein weiterer Lösungsansatz beschäftigt sich mit der Wahl der Fahrspur. Im Fahralgorithmus könnte gezieltes oder zufallsgesteuertes Variieren der Fahrspur innerhalb des Fahrstreifens integriert werden, um eine bessere Verteilung der Krafteinleitung in den Oberbau zu bewirken.

Nicht nur der Straßenoberbau wird durch Platooning einer höheren Belastung ausgesetzt. Betroffen durch die höhere Lasteinbringung in den Untergrund sind auch die Tragwerke der Ingenieurbauwerke (Bsp.: Brücken). Grundsätzlich wird die Bemessung von Brücken nicht in der RVS betrachtet und liegt in der Verantwortung der Tragwerksplaner. Verschiedene Richtlinien befassen sich mit den Ingenieurbauwerken. Die RVS 06.01.41 definiert Ziel- und Aufgabenbeschreibungen von Planungsleistungen und Nachprüfungen von Brückenbauwerken, Überbauungen, Wannengebäude und Stützbauwerken. Qualitätskriterien für die Planung von Brücken werden in der RVS 15.01.11 beschrieben. Schnittgrößen in Fahrbahnplatten von Straßenbrücken werden anhand verschiedenster Lastmodelle in der RVS 15.02.32 gezeigt. Zusätzliche Bestimmungen hinsichtlich der Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Brücken werden in der RVS 13.03.11 und 13.03.51 betrachtet. Durch Platooning im Schwerverkehr kann es neben der höheren statischen Belastung auf den Oberbau (geringere Fahrzeugfolgeabstände bedeuten eine höhere Anzahl an LKW auf der identen Strecke) auch zur Erhöhung der dynamischen Belastung kommen. Synchrones Beschleunigen oder Bremsen bringt höhere dynamische Lastspitzen in das Tragwerk ein. Bestehende Bemessungsansätze und Bemessungslastfälle von Ingenieurbauwerken, speziell von Brückenbauwerken, würden die neue zusätzliche Belastung unterschätzen und die Lasten das aktuelle Maß übersteigen. Folgende Maßnahme könnten dem Problem entgegenwirken:

- **Bemessungslastfälle überprüfen und anpassen**

Für die Dimensionierung der Tragwerke im Hinblick auf Platooning im Schwerverkehr wird die Erstellung eigener Bemessungslastfälle vorgeschlagen, die als Basis für die Dimensionierung der Bauwerke dienen. Entsprechende Bemessungslastfälle können in der RVS 15.02.32 integriert werden. Vorbereitend sind Untersuchungen bezüglich der Einbringung der Kräfte in das statische System zu planen und durchzuführen, um die Lastfälle für Platooning im Schwerverkehr definieren zu können.

Für Neubauten und geplante Sanierungen könnten diese Überlegungen frühzeitig in die Planung einfließen. Bestehende Kunstbauwerke sollten hinsichtlich ihrer Bemessungsgrundlage und auf die ausgelegten Bemessungslastfälle überprüft werden. Unter Umständen können nicht alle bestehenden Streckenabschnitte mit Ingenieurbauwerken für Platooning im Schwerverkehr freigegeben werden. Vorab wäre eine Adaptierung der betroffenen Bauwerke durchzuführen, was Fragen bezüglich der Finanzierung aufwirft.

2.3 **Fahrbahnbeschaffenheit und Deckschichtschäden:**

Der Zustand der Straßeninfrastruktur spielt eine große Rolle für den Betrieb von automatisierten Fahrzeugen. Lenker können verschmutzte, beschädigte oder auch zum Teil fehlende Infrastrukturelemente anhand ihrer Lenkererfahrung interpretieren und ein Fahrzeug trotzdem sicher betreiben. Im Gegensatz zur maschinellen Wahrnehmung sind auch widersprüchliche Informationen und Zustände handhabbar (Reschka, 2016). Schäden in der Fahrbahnoberfläche, wie Querrisse, Netzrisse, Blockrisse, Auswölbungen, Schlaglöcher, Setzungen und Flickstellen stellen die maschinelle Wahrnehmung vor große Herausforderungen und bieten in vielen Bereichen Spielraum für falsche Interpretation (siehe Abbildung 2.3-1). In der RVS 13.01.11 sind unterschiedliche Zustandsbeschreibungen und mögliche Schadensursachen von Asphalt- und Betonstraßen aufgezeigt. In der maschinellen Wahrnehmung können Schlaglöcher als offener Kanalschacht interpretiert werden und ein Ausweichmanöver oder eine Notbremsung zur Folge haben. Unterschiedlich alte Fahrbahndeckschichten aus Asphalt besitzen eine unterschiedlich helle Farbe und erschweren die Erkennbarkeit der Fahrbahnoberfläche.

Abbildung 2.3-1: Fahrbahnschadensbilder anhand der RVS 13.01.11



Generell kann eine fehlerhafte Fahrbahnerkennung zu unvorhersehbaren Fahrverhalten führen und ein Sicherheitsrisiko für alle Verkehrsteilnehmer darstellen.

- **Fahrbahnbeschaffenheit**

Aus den genannten Gründen ist anzustreben, dass die Deckschichten mit einer einheitlichen Struktur inklusive Farbtonbereiche definiert werden. Jene Streckenabschnitte oder Bereiche, die vermehrt durch die Fahrzeugsensoren falsch interpretiert werden, sollen aus fachlicher Sicht zeitnah identifiziert und adaptiert werden (z.B.: Deckschichterneuerung). Generell ist mit punktuellen Fahrbahnschäden im Straßennetz zu rechnen, die auf Grund des Betriebs nicht zu vermeiden sind bzw. nicht immer zeitnah saniert werden können. Diesbezüglich könnte die verbaute Sensorik an den AuFz genutzt und der Fahralgorithmus dahingehend angepasst werden, dass Fahrbahnschäden erkannt und gezielte Fahrmanöver eingeleitet werden. Im nächsten Schritt wäre die direkte Rückmeldung der Fahrbahnschäden an die Infrastrukturbetreiber denkbar, um frühzeitig Instandsetzungsmaßnahmen einzuleiten und eine ausreichende Qualität der Fahrbahn zu gewährleisten.

3 Spezielle Verkehrsanlagen

3.1 Pannestreifen, Pannenbuchten

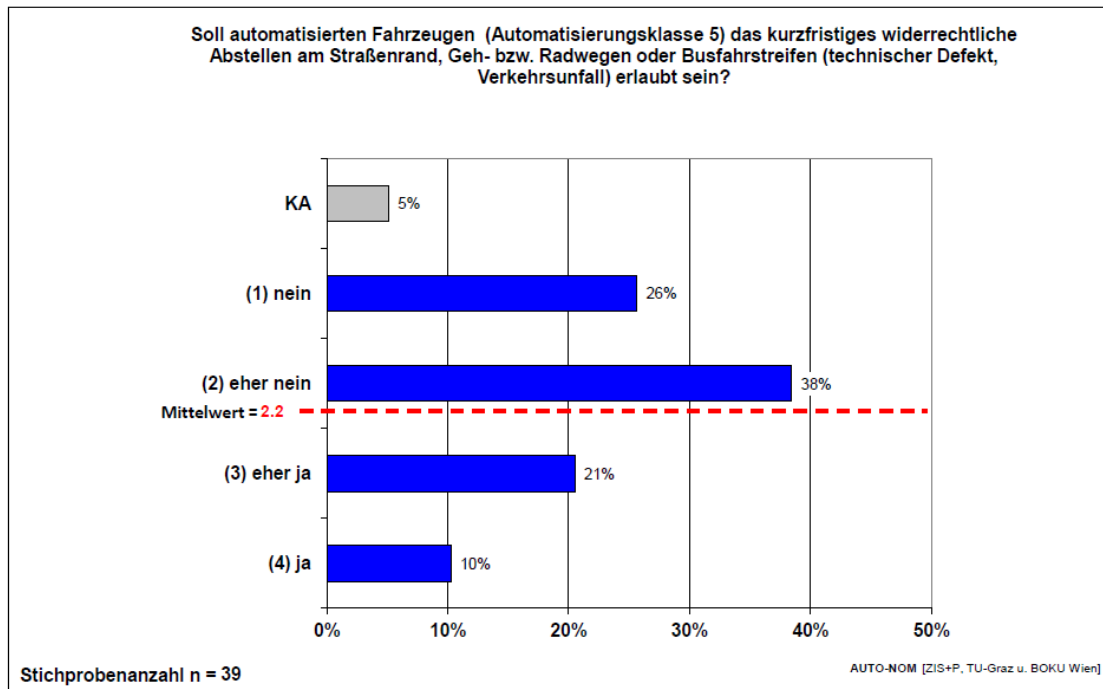
Abstellstreifen oder Pannestreifen stellen laut RVS 03.03.31 befestigte Seitenstreifen dar, die zu den Querschnittselementen der Freilandstraßen zählen. Pannestreifen stellen ein typisches Querschnittselement für das Autobahn- und Schnellstraßennetz dar und sollten, laut RVS 03.03.31, jedenfalls ab einer jahresdurchschnittlichen Verkehrsstärke von 10.000 Kfz/24h und Richtung angeordnet werden. Die Mindestbreite von Pannestreifen ist mit 2,5m vorgegeben, im Regelfall sind 3m vorzusehen. Der Verzicht auf Pannestreifen ist nur bei drei streifigen Richtungsfahrbahnen auf Brücken oder in Steigungsstrecken zulässig und ist durch eine dichte Abfolge von Haltebuchten zu ersetzen (möglichst nicht weniger als zwei pro Kilometer Richtungsfahrbahn und mit einer Abstelllänge von min. 80m). Pannenbuchten werden thematisch in der RVS 03.07.12 behandelt. Bei Straßen mit getrennten Richtungsfahrbahnen ohne Pannestreifen sind Pannenbuchten zu errichten. Die Anzahl der vorzusehenden Pannenbuchten pro km Richtungsfahrbahn sollte eine Bucht nicht unterschreiten. Als Regelbreite werden von der RVS 03.07.12 4m (Mindestbreite 3,5m) und als Mindestlänge 40m vorgegeben. Die Bedeutung von Pannestreifen bzw. Pannenbuchten wird beim Automatisierten Fahren aufgewertet. Neben der Abstellfunktion für Fahrzeuge mit einer technischen Fehlfunktion muss dieser zukünftig auch als Abstellbereich für Fehler an der Schnittstelle Mensch-Maschine AuFa herangezogen werden. Wird beim AuFa die Steuerungsfähigkeit des Steuerungsalgorithmus, die auf Umfeld- und Sensordaten beruhen, erreicht, erfolgt eine Übernahmeaufforderung an den Insassen. Bei unterbliebener Übernahme des AuFz der Automatisierungsklasse 4 (je nach Vorgaben auch bei der Klasse 3 notwendig) muss das Fahrzeug selbst reagieren und muss automatisiert einen sichereren Zustand (z.B. Stillstand auf Pannestreifen) herbeiführen. Fahrzeuge der Automatisierungsklasse 4 werden über den Projektbetrachtungszeitraum von 2040 hinaus im Straßennetz in Betrieb sein. Aus diesem Grund werden infrastrukturelle Einrichtungen benötigt, die ein sicheres Anhalten bei Bedarf gewährleisten, falls das Fahrzeug an seine Steuerungsfähigkeit stößt und keine Übernahme rechtzeitig erfolgen kann. Nur in Ausnahmefällen sollte ein AuFz bei Erreichen der Steuerungsfähigkeit der Automatisierung direkt auf der Fahrbahn einer A+S Straße zum Stillstand kommen bzw. aus Pannengründen abgestellt werden.

Auf der Fahrbahn stehende oder abgestellte Fahrzeuge sind grundsätzlich als Sicherheitsrisiko im Straßenverkehr zu betrachten und zu vermeiden. In der zweistufigen Delphi-Untersuchung wurden in den Fragen E1.1 und E1.2 Problem- und Gefahrensituationen abgefragt. Als sehr kritisch wurde das Thema des Zeitbedarfs für die Übergabe der Lenkerfunktion (Automatisierungsklasse 3 und 4) sowohl im Autobahn- und Schnellstraßennetz, als auch im Stadtverkehr identifiziert. Durch die Probleme der AuFz in der Automatisierungsklasse 3 betreffend Verkehrsrecht, Trassierungsentwurf samt Sichtweite und technologische Entwicklung und der Bekundung einiger Fahrzeughersteller, aus diesen Gründen die Automatisierungsklasse 3 überspringen zu wollen (siehe AUTO-NOM, Teil 1, Kapitel 8.2), erscheint es nicht zielführend, die Straßeninfrastruktur für den Fahrbetrieb der AuFz der Klasse 3 anzupassen. Fahrzeuge der Automatisierungsklasse 4 werden daher eine größere Durchdringung am Markt besitzen und dementsprechend einen längeren Zeitraum im Straßenverkehr betrieben werden. Da eine Lenkübernahmeaufforderung in der Automatisierungsklasse 4 planmäßig vorgesehen ist, werden Anpassungen bezüglich Haltemöglichkeiten (Pannenbuchten, usw.) notwendig sein.

Für AuFz der Automatisierungsklasse 5 wird zukünftig das Erreichen der Steuerungsfähigkeit der Automatisierung kein relevantes Problem darstellen. Technische Defekte oder Störungen der Steuerungsfähigkeit der Automatisierung machen Pannestreifen bzw. Pannenbuchten für AuFz der Automatisierungsklasse 5 aber weiterhin notwendig.

Auch für diese Fälle müssen Vorkehrungen getroffen werden. In der zweistufigen Delphi-Untersuchung wurde zu diesem Thema abgefragt, ob es zukünftig Fahrzeugen der Automatisierungsklasse 5 erlaubt sein soll, im Falle eines technischen Defektes oder Verkehrsunfalles, sich kurzfristig widerrechtlich am Straßenrand oder am Geh- bzw. Radweg abzustellen. Dieses Verhalten entspricht jenem eines menschlichen Fahrers. Knapp zweidrittel aller befragten Experten waren der Meinung, dass dieses Verhalten nicht akzeptiert werden sollte. Im Umkehrschluss ergibt sich daraus, dass vermehrt sogenannte Pannenbuchten), insbesondere auf A+S Straßen, aber im Prinzip im gesamten Straßennetz inklusive Stadtstraßen errichtet werden müssen.

Abbildung 3.1-1: Abstellen am Straßenrand bei technischen Defekt laut Delphi-Befragung von ExpertInnen



Für die Lösung dieser Problematik sind folgende Möglichkeiten denkbar:

- **Unterteilung in Abschnitte**

Für den Betrieb AuFz der Automatisierungsklasse 4 und 5 im Autobahnen- und Schnellstraßennetz könnte eine Unterteilung der Strecken in Teilabschnitte (Blöcke) praktikabel sein. Die Streckenabschnitte (Blöcke) werden, je nach vorhandenen Randbedingungen (z.B.: Trassierung, Sichtweiten, Vernetzung, usw.) für die unterschiedlichen Automatisierungsklassen freigegeben. Beispielsweise könnte ein Streckenabschnitt nur für AuFz der Automatisierungsklasse 5 freigegeben sein. Dementsprechend ist der automatisierte Betrieb von AuFz der Klasse 4 nicht erlaubt. Für das Befahren des Streckenabschnittes (Block) mit einem AuFz der Klasse 4, wird eine Lenkübernahme des Fahrzeuges durch den Insassen notwendig. Falls eine Übernahme durch den In-

sassen nicht möglich ist, wird ein sicheres Anhalten, selbstständig durch das Fahrzeug eingeleitet. Aus diesem Grund würde es notwendig sein, vor jedem Teilabschnitt, Anhaltmöglichkeiten einzurichten, die sich direkt entlang der Autobahn oder Schnellstraße befinden (z.B.: Raststationen, Rastplätze, Parkplätze, Pannestreifen, Pannenbuchten). Falls keine entsprechenden Einrichtungen wie Anhaltmöglichkeiten vorhanden sind, könnte die Unterteilung der Blöcke an das Vorhandensein von Anschlussstellen angepasst werden. Zwischen zwei Anschlussstellen würde sich dann ein Streckenabschnitt befinden. Das Fahrzeug könnte vor dem neuen Block die Autobahn bzw. Schnellstraße verlassen und so ein sicheres Anhalten einleiten. Diese Variante setzt das frühzeitige Erkennen der Grenzen für die Steuerungsfähigkeit der Automatisierung voraus, ebenso die Kenntnisse der Streckenblöcke.

Der Einsatz von hochgenauen digitalen Karten (sog. HD-Maps) könnte Informationen für AuFz der Klasse 4 liefern, um ein frühzeitiges Erkennen der Grenze der Steuerungsfähigkeit der Automatik zu gewährleisten (z.B. bei geplante Baustellen oder auf Grund trassierungsbedingter unzureichender Sichtweiten). Die Lenkübernahmeaufforderung an den Insassen kann dementsprechend früher mitgeteilt werden und nur in Ausnahmefällen (z.B.: Insasse ist nicht in der Lage das Steuer zu übernehmen) ist das Herbeiführen eines sicheren Fahrzustandes (Verlassen der Autobahn oder Schnellstraße, Abstellen des Fahrzeuges am Pannestreifen oder in einer Pannenbucht) notwendig. Bei unvorhersehbaren und unmittelbar eingetretenen Ereignissen (z.B.: Verkehrsunfall, Stau, kurzfristig eingerichteten Baustellen, schlechte Sichtverhältnisse durch Wetterereignisse, technischer Defekt, Verbindungsausfall zu HD-Maps usw.), welche die Grenze der Steuerungsfähigkeit der Automatik übersteigen, könnte ein kurzfristig veranlasster Anhaltvorgang durch das automatisierte Fahrzeug notwendig werden (z.B.: Halten am Fahrbahnrand).

- **Pannenbuchten / Pannestreifen**

Um auf unerwartete Situationen reagieren zu können, werden weiterhin Pannenbuchten und Pannestreifen entlang der Fahrbahn notwendig sein. Die Anordnungsdichte und die Größe dieser Einrichtungen ergeben sich zum einen aus der Flottenzusammensetzung, abhängig von der Durchdringungsrate der automatisierten Fahrzeuge und zum anderen aus den Systemgrenzen der Fahrzeuge. Die derzeit gültigen Abmessungen für Pannestreifen und Pannenbuchten sind in der RVS 03.03.31 und 03.07.12 dargestellt. Die Anzahl der notwendigen Pannenbuchten wird zum Großteil von zwei Faktoren abhängen. Zum einen von der Durchdringungsrate AuFz der Automatisierungsklasse 3 und 4, wobei davon auszugehen ist, dass die Automatisierungsklasse 3 übersprungen wird aufgrund der bereits identifizierten Problemstellen. Als relevanter Bemessungswert wird sich voraussichtlich die Durchdringungsrate der Klasse 4 Fahrzeuge darstellen. Zum anderen wird die Stabilität des Fahrbetriebs von AuFz der Automatisierungsklasse 4 und deren Reaktion auf verschiedenste Fahrsituationen maßgebend sein. Je stabiler der Fahrbetrieb, desto weniger Pannenbuchten bzw. desto geringere Abmessungen von Pannenbuchten sind notwendig.

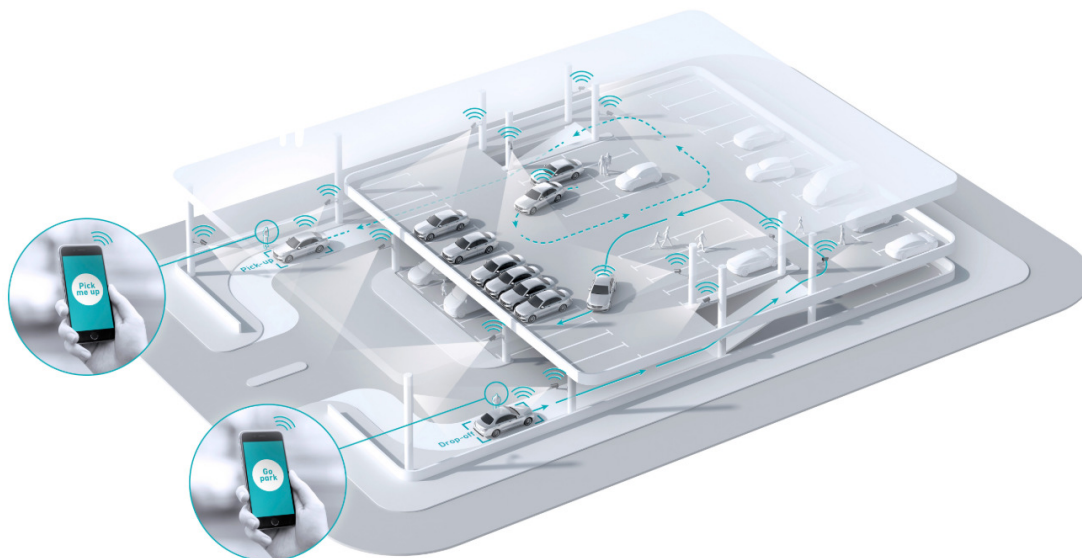
Die Ausführung der infrastrukturellen Maßnahmen ist von den örtlichen Platzverhältnissen abhängig. Zielführend wird sein, bereits vorhandene infrastrukturelle Einrichtungen, wie Pannestreifen, Pannenbuchten, Raststätten, Rastplätze, Parkplätze an Anschlussstellen effizient zu nutzen, um den finanziellen Aufwand gering zu halten. Nur auf Streckenabschnitten mit unzureichender Kapazität, bzw. ohne vorhandenen Einrichtungen wären infrastrukturelle Maßnahmen

zu setzen. Eine weitere Möglichkeit wäre, jene Streckenabschnitte (Blöcke) nicht für den automatisierten Fahrbetrieb freizugeben, bei denen weiterhin eine Lenkübernahmeaufforderung auftreten kann.

3.2 Anforderungen an den ruhenden Verkehr

Speziell in Parkhäusern, in Parkanlagen von Einkaufszentren, aber auch in innerstädtischen Parkzonen kann in naher Zukunft automatisiertes Valet-Parking möglich gemacht werden. Valet-Parking beschreibt das Parken des Fahrzeuges als Dienstleistung und wird häufig als Parkservice oder Parkdienst an Flughäfen oder Hotels bzw. Parkhäusern angeboten. Durch die Fortschritte in der Fahrzeugautomatisierung wird zukünftig automatisiertes Valet-Parking ab den Automatisierungsklassen 3 und 4 angeboten werden können. Grundsätzlich wird darunter der automatisierte Abstellprozess für AuFz als Dienstleistung verstanden. Beim Valet-Parking wird ein Fahrzeug auf einer dafür vorgesehenen Übergabefläche abgestellt, der Lenker und die Insassen verlassen das Fahrzeug und das Fahrzeug begibt sich automatisch auf einen freien Stellplatz. Bei Bedarf fordert der Lenker sein Fahrzeug, beispielsweise über eine Smartphone-App, wieder an. Automatisiert fährt das Fahrzeug zurück an die Übergabebzone, wo der Fahrer das Steuer wieder übernehmen kann. (Bosch Automotive, 2017b)

Abbildung 3.2-1: Funktionsweise von automatisierten Valet Parking (TÜV Rheinland, 2018)



Als möglicher Einsatzort werden Parkhäuser, Parkgaragen, aber auch temporär eingerichtete Parkanlagen auf freien Flächen identifiziert. Je nach Größe und Frequenz der Parkanlage müssen mehr oder weniger große Übergabezonen vorgesehen werden. Diese müssen in der Regel neu hergestellt und eingerichtet werden. Bei größeren Anlagen ist zu erwarten, dass sich zu den Hauptverkehrszeiten mehrere Fahrzeuge auf den Übergabezonen befinden. Ein vollständig automatisiertes Einparken auf öffentlichen Stellplätzen, z.B. in Städten, wird erst mit der Automatisierungsklasse 5 möglich sein. Abhängig von der Durchdringungsrate AuFz bestimmter Automatisierungsklassen (siehe AUTO-NOM, Teil 1, Kapitel 9.4) kann ein Teil des derzeit notwendigen Parkraums effizienter genutzt werden. Derzeit sind Abmessungen für Parkstände in der RVS 03.01.12 und Stellplatzabmessungen für Garagen in der RVS 03.07.32 geregelt. Die Breiten für Abstellflächen im Straßenraum sollen 2,3m, in Garagen 2,5m nicht unterschreiten. Das

betrachtete Regelfahrzeug weist eine Fahrzeugbreite von 1,75m auf. Die seitlichen Breitenreserven werden zum einen für den Ein- und Ausparkvorgang und zum anderen für das Aussteigen der Insassen benötigt. Durch den automatisierten Abstellprozess werden exaktere Fahrmanöver erwartet. Zusätzlich verlassen die Insassen das Fahrzeug bereits bei der Übergabezone zum automatisierten Valet-Parking, daher ist das Aus- und Einsteigen direkt an der Parkfläche nicht notwendig. Diese Effekte werden genutzt und die Größe der Abstellflächen dementsprechend verringert. Die dadurch entstehenden Freiflächen können für andere Nutzungen verwendet werden.

Ein weiterer Trend des automatisierten Valet-Parking könnte ab der Automatisierungsklasse 5 Realität werden. Abstellflächen für Fahrzeuge werden nicht mehr in der Stadt angeboten, sondern außerhalb der urbanen Gebiete. Aufz der Automatisierungsklasse 5 lassen die Insassen an einem Übergabeort innerhalb der Stadt aus dem Fahrzeug aussteigen und fahren automatisiert zu einer Parkgarage am Stadtrand, um auf die Rückfahrt zu warten. Dadurch würden Abstellflächen innerstädtisch bis zu einem gewissen Anteil eingespart werden. Die frei werdenden Flächen wären als Fußgängerweg, Wohnraum, Grünflächen, usw. nutzbar.

Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass es zu Verlagerung der Verkehrsbelastung bzw. zu einem induzierten Kfz-Verkehr kommen würde. Die Lage, die Anzahl und die Dimensionierung dieser Abstellanlagen/Depots ist daher auch nach verkehrlichen Kriterien von Seiten der Politik bzw. der Verwaltung zu hinterfragen und durch leitende Maßnahmen vorzugeben. In einem ersten Schritt ist zu erwarten, dass bei der Automatisierungsklasse 5 auch die öffentliche (städtische) Parkplatzsuche automatisiert durchgeführt werden wird. Daraus ergeben sich folgende Folgewirkungen:

- Der große Vorteil liegt in der Zeitersparnis für den Insassen und im geringeren Platzverbrauch in den Parkplatzanlagen, weil eine effizientere Aufstellung möglich ist, bei Aufstellung aller Aufz nebeneinander. Ein dichtes aneinander reihen wird möglich, weil keine Insassen aus den Fahrzeugen aussteigen müssen. Der dadurch gewonnene Platz kann für die Errichtung der Übergabezonen aber auch für andere Nutzungen, wie Aufenthaltsfunktion, Grünraum, usw. verwendet werden. Auf Grund der Durchdringungsraten (siehe AUTO-NOM, Teil 1, Kapitel 9.4) kann innerhalb des Projekthorizontes nicht mit dieser Entwicklung gerechnet werden.
- Für die Adaptierung vorhandener und neu zu planender Abstellflächen können zugewiesene Stellplätze für Aufz mit reduzierter Stellplatzbreite eingerichtet werden, da kein Ein- und Aussteigen der Passagiere notwendig sein wird. Damit kann der Flächenbedarf für diese Anlagen reduziert werden. Zu Bedenken wird sein, dass weiterhin Gepäckentnahme und Reparaturmaßnahmen möglich sein sollen.
- Werden freie Stellplätze durch die Umfeldsensorik von Aufz gesucht und erkannt, ist mit überdurchschnittlich vielen Leerfahrten (Fahrten im Parkhaus, Parkzone oder im städtischen Gebiet) für die Parkplatzsuche zu rechnen. Bereits bei der Einfahrt in ein Parkhaus oder eine Parkzone kann jedem Fahrzeug automatisiert einen Parkplatz zugewiesen werden. Über V2I Schnittstellen erhält das Fahrzeug alle relevanten Informationen. Es ist denkbar, dem Fahrzeug Informationen über den idealen Anfahrtsweg zur Parklücke zu übermitteln, um weitere Leerfahrten zu vermeiden. Um zu verhindern, dass in der Zeit von der Zuweisung eines Parkplatzes bis zur Einnahme der Parkposition, der Parkplatz von manuell gesteuerten Fahrzeugen eingenommen wird, müssen diese Parkplätze beispielsweise durch eine Kennzeichnung mar-

kiert werden. Eine weitere Möglichkeit wäre es, eigens für automatisierte Fahrzeuge vorgesehene Parkplätze zuzuweisen.

3.3 Haltebereiche für automatisierte Mobilitätsdienste

Die Entwicklung hin zu AuFz der Automatisierungsklasse 5 bringt neue Möglichkeiten für Mobilitätsdienste mit sich. Speziell im städtischen Gebiet werden automatisierte, fahrerlose Taxis, Sammeltaxis und Minibusse eine Alternative zum herkömmlichen Taxi, privaten PKW aber auch zum ÖV darstellen. Durch die Parkraumbewirtschaftung in vielen Städten besteht das Risiko, dass das "Abstellen" eines KFZ teurer ist als das "Fahren". Auf automatisierte Mobilitätsdienste (aMoDi) umgelegt, würde das bedeuten, dass die Betreiber von aMoDi ihre Fahrzeugflotte Leerfahrten durchführen lassen wird, bis wieder ein Passagier zusteigen möchte. Folgende Überlegen wurden für aMoDi aufgestellt:

- **Strategisch flächig verteilte Abstellflächen**

Um Wartezeiten für Fahrgäste möglichst gering zu halten und Leerfahrten bestmöglich zu vermeiden, wird es notwendig sein, Abstellflächen für automatisierte Mobilitätsdienste im innerstädtischen Bereich strategisch zu verteilen, zu errichten oder vorhandene Verkehrsflächen zu adaptieren. Unter der Annahme der Elektromobilität wäre die Ausrüstung der Abstellflächen mit berührungslosen Fahrzeugladevorrichtungen (induktive Energieübertragung) möglich. Unter der Voraussetzung der Vernetzung der AuFz untereinander kann eine nachfragegesteuerte Verteilung je nach Tageszeit und Ort und somit eine flächige Verfügbarkeit der Dienste garantiert werden. Zentralisierte großflächigen Abstellflächen bzw. Depots in Randgebieten (ähnlich jenen bei dezentralen Einkaufszentren) sind aus verkehrlicher Sicht unbedingt zu vermeiden.

- **Einrichtung von Haltebereichen für Kiss-and-Ride, Pick-up und Drop-off**

Neben den flächig verteilten Abstellflächen werden Kiss-and-Ride oder Pick-up und Drop-off Zonen benötigt, an denen die Passagiere in das Fahrzeug ein- oder aussteigen können. Denkbar wäre, dass das Einfahren in innerstädtische Bereiche zukünftig ausschließlich Mobilitätsdiensten wie Sammeltaxis oder öffentlichen Verkehrsmitteln vorbehalten wird. Dadurch könnten Parkflächen in diesen Bereichen zum einen für Kiss-and-Ride und zum anderen für Pick-up und Drop-off Zonen verwendet werden. Die freiwerdenden Abstellflächen können weiteten Nutzungsmöglichkeiten zugeführt werden, wie der Ausbau von Fuß- und Radwegen oder für Erweiterungen von Grünflächen.

3.4 Eisenbahnkreuzungen

Nach wie vor werden technisch ungesicherte Eisenbahnkreuzungen im Straßenverkehr betrieben. Für automatisierte Fahrzeuge können sich Probleme durch einen zu geringen Erkennungshorizont bzw. Erkennungswinkel ergeben. Bei sich nähernden Zügen könnte die Entfernung oder die Geschwindigkeit falsch eingeschätzt oder im schlechtesten Fall eine Erkennung des Zuges gänzlich unmöglich werden. Neben den technisch ungesicherten Eisenbahnkreuzungen der Vollbahn gibt es in den Städten Wien, Graz, Linz und Innsbruck Kreuzungssituationen mit Straßenbahnen. An ungesicherten Stellen können im Stadtverkehr Konflikte mit AuFz auftreten.

- **Technische Absicherung von Eisenbahnkreuzungen**

Zurzeit werden Eisenbahnkreuzungen durch die Eisenbahnkreuzungsverordnung aus dem Jahr 2012 rechtlich beschrieben. Darin werden die unterschiedlichen Sicherungsmöglichkeiten thematisiert. Um Probleme mit AuFz zu vermeiden, sollten zukünftig alle Eisenbahnkreuzungen technisch abgesichert werden. Dies kann entweder durch Lichtsignalanlagen oder durch einen Schranken ausgeführt werden. Eine Neuregelung der Verpflichtung zur Sicherung von Eisenbahnkreuzungen kann in diesem Zusammenhang einer breiten Diskussion unterzogen werden.

- **Nutzung von Straßenrandinformationseinrichtungen (Road-Side-Units)**

Unter Umständen könnten zur Absicherung von Eisenbahnkreuzungen für automatisierte Fahrzeuge Straßenrandinformationseinrichtungen (Road-Side-Units) eingesetzt werden. Diese senden relevante Informationen direkt an das Fahrzeug. Dazu muss garantiert werden, dass alle im Straßenverkehr betriebenen Fahrzeuge diese Informationen verarbeiten können (Kompatibilität) und die ausgesendeten Informationen der Wirklichkeit entsprechen (Richtigkeit). An dieser Stelle erforderlich ist die Kommunikation zwischen Infrastruktur und den Fahrzeugen (V2I-Kommunikation). Bei technischen Schwierigkeiten und Defekten wird zur Wahrung der Verkehrssicherheit weiterhin eine physische vorhandene Sicherungsmaßnahme benötigt. Diese Rückfallebene sichert den Betrieb ab. Die V2X-Kommunikation stellt ein erhöhtes Qualitätsniveau dar, um die Effizienz zu steigern. Für nicht automatisierte Fahrzeuge stellt diese Lösung keine zusätzliche Absicherung dar.

4 Leiteinrichtungen

4.1 Leitpföcke, Rückhaltesysteme und Schneestangen

Neben den Straßenverkehrszeichen zählen auch Leitpföcke, Rückhaltesysteme und Schneestangen zu den Leiteinrichtungen. Leitpföcke werden in der RVS 05.02.22 bzw. 08.23.08, Rückhaltesysteme in der RVS 05.02.31 und Schneestangen in der RVS 05.02.41 bzw. .42 thematisiert.

Leitpföcke bieten eine optische Hilfestellung, die die Leitung des Verkehrs unterstützen. Die RVS 05.02.22 gibt vor, dass Leitpföcke auf Bundesstraßen und anderen wichtigen Straßen neben der Fahrbahn anzuordnen sind, wobei eine genauere Definition bezüglich des Anwendungsbereiches offenbleibt. Im Regelfall werden Leitpföcke alle 50m bei getrennten Richtungsfahrbahnen und alle 33m bei übrigen Straßen angeordnet. Bei Kurven und Kuppen wird der Abstand entsprechend zur Verbesserung der Sichtbarkeit verkürzt. Die Nutzung von Leitpföcken als Orientierungshilfe für AuFz ist nur im Bundesstraßennetz gesichert, ansonsten besteht keine Ausführungspflicht. Gezielt kann von der Verwendung von Leitpföcken abgesehen werden, wenn im Ortsgebiet oder auf Kunstbauwerken andere Leiteinrichtungen oder Rand- bzw. Bordsteine vorhanden sind. Leitpföcke können, wo vorhanden, eine gute Orientierungshilfe für AuFz bieten. Für eine flächendeckende Anwendung müssten alle Straßen, ausgenommen jene mit Rand- oder Bordsteinen oder vergleichbaren Leiteinrichtungen, mit Leitpföcke ausgestattet werden.

Rückhaltesysteme werden in der RVS 05.02.31 behandelt. Die Anordnung ist nicht flächendeckend notwendig, sondern in Bereichen von Gefahren für Verkehrsteilnehmer und für schützenswerte Objekte. Daher sind Rückhaltesysteme als Orientierungshilfe für AuFz nicht geeignet.

Schneestangen dienen zur Orientierung und Kennzeichnung der Straßen im Winter und haben eine große Bedeutung im Winterdienst für die Infrastrukturbetreiber. Sie bilden die äußerste Begrenzungslinie für die Schneeräumung ab. Grundsätzlich wäre denkbar, Schneestangen als Orientierungshilfe für AuFz im Winter zu verwenden, allen voran bei Schneefahrbahn, wenn Bodenmarkierungen nicht mehr erkennbar sind. Da Schneestangen keine einheitliche Formgebung besitzen, sondern entsprechend den Erfordernissen der Schneeräumung Zusatzsymbole aufweisen, wird die Verwendung als Orientierungshilfe erschwert. Auf Freilandstraßen sind Schneestangen grundsätzlich dort anzuordnen, wo der Straßenverlauf bei Schnee nicht ausreichend erkennbar ist. Da keine verbindliche Aufstellung gefordert ist, müsste die Aufstellung flächendeckend an jenen Abschnitten umgesetzt werden, wo keine Leitpfosten oder Bordsteinkanten den Straßenverlauf vorgeben.

4.2 Bodenmarkierungen und Straßenverkehrszeichen

4.2.1 Bodenmarkierungen - Allgemein

Bodenmarkierungen und Verkehrszeichen zählen zu den klassischen baulichen Einrichtungen einer Straße und definieren die Fahrbahn und den zulässigen Fahrbereich. Für den automatisierten Fahrbetrieb stellen Bodenmarkierungen eine der wichtigsten Bestandteile zur Orientierung im Raum dar. Nicht immer sind die Bodenmarkierungen für die maschinelle Wahrnehmung eindeutig zu interpretieren oder an jedem Straßenabschnitt vollständig vorhanden. Häufig werden sie bei zu häufigen Überfahren unkenntlich, können bei Dunkelheit oder Regen kaum wahrgenommen werden oder stehen im Widerspruch

zueinander (Bsp.: temporäre Bodenmarkierung im Baustellenfall). Die rechtlichen Grundlagen von Bodenmarkierungen werden in der StVO und in der Bodenmarkierungsverordnung geschaffen. Unter anderem regeln § 9 und § 55 der StVO die Anwendungen und das Verhalten bei Bodenmarkierungen. Die RVS 05.03.11 und 05.03.12 geben den Überblick über die Ausbildung und Anwendung von Bodenmarkierungen und sind auf allen Straßen anzuwenden, auf denen die StVO gilt. Betreffend die Anforderungen, die die Bodenmarkierungen in der aktuellen Form bezüglich Nach- und Tagsichtbarkeit, Griffbarkeit, Farbe und umweltrelevanten Anforderungen erfüllen müssen, wird auf die RVS 05.03.12 verwiesen. Als Zusatz in der RVS 05.03.12 wird auf die ÖNORM EN 1436 und die ONR 22441 verwiesen, die das zu verwendende Material und die Farbe genauer spezifizieren. Der Einsatz von weißer Markierungsfarbe wird in der ONR 22441 genormt, der Einsatz von anderen Farbtönen ist nicht vorgesehen.

Abbildung 4.2-1: Bodenmarkierungen und Straßenverkehrszeichen auf A+S



Die bestehenden Spezifikationen für Bodenmarkierungen wurden seinerzeit für die menschliche Wahrnehmung ausgelegt. Die Kompatibilität bei allen Wetter- und Lichtverhältnissen wie bei Regen, Schneefall, Nebel, Dunkelheit, Reflexionen oder tief stehender Sonne mit AuFz und deren Sensorik wird separat abzuklären sein. Huggins et al. (2017) haben in einem Forschungsbericht für Austroads, einer Straßenverkehrsbehörde im australasiatischen Raum (Australien, Neuseeland, Neuguinea, usw.), infrastrukturelle Voraussetzungen für AuFz thematisiert und Qualitäten definiert. Generell ist eine internationale Zusammenarbeit im Themengebiet automatisiertes Fahren wünschenswert, die AuFz auch grenzüberschreitend zum Einsatz kommen und die Straßeninfrastruktur nutzen werden. Das Thema der Finanzierung bestimmter infrastruktureller Maßnahmen stellt nach wie vor eine große Unbekannte dar und wird vermutlich nur auf vielen Ebenen lösbar sein. Eine finanzielle Beteiligung diverser Stakeholder (z.B.: Infrastrukturbetreiber, Fahrzeughersteller, Mobilitätsdienstleister, Telekommunikationsunternehmen) wird zu diskutieren sein.

Abbildung 4.2-2: Beispiele für temporäre Bodenmarkierung (Maier, 2013) und (Huggins et al., 2017)



Um den sicheren Fahrbetrieb für automatisierte Fahrzeuge zu gewährleisten, sind eindeutige, vollständige und richtlinienkonforme Bodenmarkierungen, sowohl im Normal- als auch im Baustellenbetrieb gefordert. Als Problem für AuFz könnten sich Bodenmarkierungen herausstellen, die eine längere Zeitdauer bereits in Betrieb sind. Rückstrahlkraft bei Tag und Nacht, Griffigkeit, Farbe könnten den Vorgaben in den Normen und Richtlinien nicht mehr entsprechen. Instandsetzungsintervalle sind in der RVS 05.03.11 und 05.03.12 keine vorgegeben, lediglich ein Zusatz in der RVS 12.01.12 betreffend die Erkennbarkeit. Die Norm legt fest, dass die Erkennbarkeit innerhalb einer Entfernung von 50m bis 120m ganzjährig bei Tag und Nacht einzuhalten ist. Um eine einheitliche Qualität sicherzustellen, die für AuFz ausreichend ist, wird eine klare Definition von Qualitätskontrollen und Instandsetzungsintervallen notwendig sein. Für den Betrieb von AuFz kann, je nach maschineller Sensorik, gefordert sein, dass weitere Maßnahmen zur besseren Erkennbarkeit der Bodenmarkierungen (optische oder elektronische Informationen) zur Verfügung gestellt werden müssen.

Die maschinelle Wahrnehmung der Fahrstreifen von AuFz kann über Graustufenbildverarbeitung optisch durchgeführt werden. EuroRAP (2011), eine Non-Profit Organisation mit dem Ziel der Erhöhung der Verkehrssicherheit, hat für den Betrieb von AuFz einige Limitierungen identifiziert, die die Wahrnehmung im Straßenverkehr stören können:

- bituminöse Ausfüllungen von Verkabelungen in der Deckschicht;
- ausgeblichene und undeutliche Bodenmarkierungen auf Asphalt und Betonfahrbahnen;
- uneinheitliche oder unübliche Bodenmarkierungen;
- nicht durchgängige Bodenmarkierungen.

Abbildung 4.2-3: Entfernte Bodenmarkierung mit sichtbaren Rückständen (Austroads, 2017)



Da nicht gewährleistet werden kann, dass Bodenmarkierungen auf allen Streckenabschnitten vorhanden sind bzw. die auch bei allen Witterungsbedingungen erkannt werden können, werden die identifizierten Maßnahmen klassifiziert und die Bodenmarkierungsproblematik in zwei Kategorien eingeteilt:

- **„Muss – Kriterium“:** Jene Maßnahmen, die zwingend für einen sicheren Betrieb der automatisierten Fahrzeuge notwendig sind. Hier stellt sich die Frage, wer dafür haftet, wenn dieses Kriterium nicht erfüllt ist.
- **„Kann – Kriterium“:** Stellen eine Qualitätsverbesserung der „Muss – Kriterien“ dar, und sollen optional für den Betrieb der automatisierten Fahrzeuge eingesetzt werden.

Weiterhin bestehen hinsichtlich Bodenmarkierungen offene Fragen, die von unterschiedlichen Randbedingungen abhängig sind. Im Folgenden werden die wichtigsten Probleme identifiziert und mögliche Maßnahmen vorgestellt, welche die Bereiche Bodenmarkierung, aber auch Straßenverkehrszeichen betreffen. Abschließend werden offene Fragen bzw. der Forschungsbedarf zu diesem Themenbereich aufgelistet.

4.2.2 Bodenmarkierungen – „Muss-Kriterien“

Die für das automatisierte Fahren wichtigste Funktion der Bodenmarkierung ist die Begrenzung des nutzbaren Fahrbereiches der Fahrbahn bzw. der Fahrfläche. Um die Orientierung und die maschinelle Wahrnehmung von automatisierten Fahrzeugen innerhalb des eigenen Fahrstreifens zu gewährleisten, ist es notwendig, den Fahrflächenrand mittels Randlinie, die Fahrstreifen untereinander mittels Leit- oder Sperrlinie und die Flächen des ruhenden Verkehrs mittels Begrenzungslinien voneinander zu trennen. Es muss eindeutig ersichtlich sein, welcher Bereich durch das AuFz im fließenden Verkehr befahren werden darf. Im hochrangigen Straßennetz sind Bodenmarkierungen flächendeckend ausgeführt und in der Regel in guter Qualität vorhanden. Baustellensituationen stellen häufig eine Ausnahme dar. Auch in diesen Bereichen wäre es empfehlenswert, bei Freigabe der Baustellen für AuFz, auf eine eindeutig erkennbare und widerspruchsfreie Bodenmarkierung zu achten. Die konkrete Umsetzung dieser Maßnahmen wird aber nur schwierig durch die Infrastrukturbetreiber durchzuführen sein. In diesem Zusammenhang muss im Detail die Haftungsfrage bei Freigabe der Streckenabschnitte für AuFz geklärt werden. Die rechtlichen Aspekte betreffend automatisiertes Fahren werden im dritten Teil des Berichtes näher erläutert.

- **Baustellensituationen**

In diesem Zusammenhang werden zumindest auf dem übergeordneten Straßennetz temporäre orangefarbene Bodenmarkierungen eingesetzt, um die Verkehrsführung bei Baustellen anzuzeigen. Diese müssen in guter und einheitlicher Qualität ausgeführt werden und dauerhaft für die Zeit der Baustelle vorhanden und ersichtlich sein. Im Zeitraum der Bauarbeiten werden formal die weißen Bodenmarkierungen für die betroffenen Streckenabschnitte außer Kraft gesetzt und die temporär aufgebracht orangefarbenen Bodenmarkierungen erlangen die Gültigkeit. Das automatisierte Fahrzeug muss in einer Baustellensituation erkennen und eindeutig zuordnen können, welche Bodenmarkierung in der aktuellen Situation gültig ist. Entweder wird im Fahralgorithmus eine Layerstruktur mit einer Hierarchie der Bodenmarkierung hinterlegt, die eindeutig definiert, welche Bodenmarkierungen gültig sind, oder die Information wird extern dem Fahrzeug übermittelt. Dies kann durch ein statisches Straßenverkehrszeichen erfolgen, bei geplanten Baustellen über hochgenaue digitale Karten oder über ein digitales Signal, welches von der intelligenten Infrastruktur (z.B.: „Achtung Baustelle“ über V2X-Kommunikation) übermittelt wird. Diese Möglichkeiten werden als „Kann – Kriterium“ klassifiziert, weil bei einem Übertragungsfehler, wie einer Abschattung, das AuFz weiterhin den Betrieb aufrechterhalten können muss.

- **Fahrbahn- und Fahrflächenränder in städtischen und ländlichen Gebieten**

In den städtischen aber auch in den ländlichen Gebieten ist eine klare Abgrenzung der Fahrbahn oftmals nicht vorhanden. Eine flächendeckende Abgrenzung der Fahrbahn und Fahrstreifen wäre auch in diesen Bereichen vorzugsweise mit Bodenmarkierungen durchzuführen. Bei ausreichender maschineller Wahrnehmung ist die Verwendung einer Bordsteinkante als Trennung, anstatt

einer Randlinie möglich (innerstädtisch). Parkstreifen und Parkflächen, ausgeführt als Seitenstreifen entlang der Fahrbahn ohne bauliche Trennung, sollen eine klare Abgrenzung zur Fahrbahn aufweisen. Eine Begrenzungslinie ist in diesen Fällen fachlich erwünscht und sollte über die gesamte Länge der Parkfläche ohne Unterbrechungen durchgeführt werden. Selbiges gilt für Parkplätze, deren Nutzung automatisiert vorgesehen ist (Bsp.: automatisiertes Valet-Parking).

- **Geh- und Radwege**

Radfahrstreifen und Gehwege sollen eindeutig von der Fahrbahn getrennt gekennzeichnet sein. Falls keine bauliche Trennung durch eine Bordsteinkante bzw. durch ein anderes Höhenniveau vorhanden ist, wäre es wünschenswert, eine durchgehende Begrenzungslinie zu den Verkehrsflächen der Fußgänger und Radfahrer vorzusehen.

- **Erkennbarkeit der Bodenmarkierung bei schlechten Sichtverhältnissen**

Ein sicherheitsrelevantes Thema ist die Erkennung der Bodenmarkierungen bei schlechten Sichtverhältnissen wie Starkregen und Nebel oder bei winterlichen Fahrverhältnissen. Sollen automatisierte Fahrzeuge bei allen Witterungen betrieben werden können, müssen dafür für die unterschiedlichen Anforderungen funktionsfähige Lösungen gefunden werden. Gewöhnliche Bodenmarkierungen sind unter Umständen bei einer schneebedeckten Fahrbahn nicht erkennbar. Beispielweise wäre der flächige Einsatz von Leitpflöcken zur Abgrenzung der Fahrbahn denkbar. Da diese Variante nicht überall anwendbar ist, können auch Metallzusätze bei der Erstellung der Bodenmarkierungen gesetzt werden, ähnlich der Zugabe von Glasperlen, um die Nachtsichtbarkeit zu verbessern, die das Erkennen der Bodenmarkierung über elektromagnetische Induktion auch unter einer Schneedecke ermöglichen. Damit können auch die Lage und der Typ der Bodenmarkierung bestimmbar werden. Mit dieser Methode kann allerdings die Farbe der Bodenmarkierung nicht identifiziert werden. Dadurch kann es bei Baustellen zum Problem der Identifizierung der gültigen Leiteinrichtung kommen. In diesen Fall, z.B. bei der Verkehrsführung auf Baustellen, muss die Standardmarkierung entfernt werden.

Um die allgemeine Erkennbarkeit von Fahrbahnbegrenzungen zu gewährleisten, wären fixe Wartungs- und Reinigungsintervalle für die entsprechenden Begrenzungen zu definieren. Auch eine regelmäßige Überprüfung und Messung der Bodenmarkierungen auf ihre Reflexionseigenschaften und Nachtsichtbarkeit wird vorgeschlagen und könnte Platz in den einschlägigen Vorschriften und Richtlinien finden. Eine Überprüfung, wie sie derzeit in der RVS 12.01.12 vorgegeben ist, wird nicht den stärkeren Anforderungen genügen, bedingt durch Automatisiertes Fahren.

4.2.3 Bodenmarkierungen – „Kann-Kriterien“

Bei diesen "Kann-Kriterien" sind jene Maßnahmen zur Erhöhung der Qualitätsverbesserung für das Automatisierte Fahren aufgelistet, die optional umgesetzt werden sollen.

- **Allgemeine Qualitätsverbesserungen**

Um die Erkennbarkeit von Bodenmarkierungen zu verbessern und die Falschinterpretation zu verringern, soll die Qualität von Bodenmarkierungen erhöht werden. Denkbar sind Anpassungen hinsichtlich der Breite, Farbe und/oder Reflexions- und Rückstrahlfähigkeit von Bodenmarkierungen. Derzeit sind Anforderungen an Bodenmarkierungen anhand diverser Vorgaben definiert

(siehe Kapitel 2.8.1). Retroreflektierende Bodenmarkierung kann, je nach maschineller Wahrnehmungsfähigkeit, den Betrieb bei schlechten Sichtverhältnissen stark verbessern und somit zur Steigerung der Sicherheit beitragen. In den aktuellen RVS 05.03.12 werden Bodenmarkierungen mit erhöhter Nachtsichtbarkeit durch Nachstreumittel beschrieben. Die verbesserte Erkennbarkeit durch die Sensorik der AuFz wird bezüglich der Qualitätskriterien noch zu überprüfen sein.

- **Zusatzreflektoren**

Bodenmarkierungen können in regelmäßigen Abständen mit Reflektoren ausgestattet werden, wie z.B.: Markierungsknöpfe mit integrierten Reflektoren. Derartige Reflektoren sind bei dünnen Schneedecken noch erkennbar. Zu beachten sind die erschwerten Verhältnisse für den Winterdienst bei Schneeräumung. Der erhöhte Aufwand muss im Instandhaltungsbetrieb eingeplant werden.

- **Nutzung moderner Farbstoffe**

Werden Bodenmarkierungen magnetisch ausgeführt, dann kann die Erkennbarkeit auch bei starker Verschmutzung oder dicken Schneedecken möglich werden. AuFz sollen mit entsprechenden Magnetfeldsensoren ausgestattet werden. Dieses „Kann – Kriterium“ stellt einen wichtigen Teilbereich in der Erkennung der Bodenmarkierung dar und sollte in einer detaillierten Untersuchung auf seine Wirksamkeit untersucht werden. Falls sich Schneefahrbahnen ohne diese oder andere Maßnahmen nicht durch AuFz befahren lassen, sind diese Maßnahme als „Muss – Kriterium“ zu definieren oder es ist der Fahrbetrieb bei schneebedeckten Fahrbahnen nicht möglich.

- **Einsatz von Rüttelstreifen bzw. Rumpelstreifen (akustische Fahrstreifenabgrenzung)**

Die derzeit im A+S Netz eingesetzte akustische Fahrstreifenbegrenzung, z.B. als Sicherheitseinrichtung in Tunnel, können flächendeckend als Fahrstreifenbegrenzung installiert werden. Bei Abkommen von der Fahrbahn versetzen die Rumpelstreifen das Fahrzeug in Vibration. Die maschinelle Sensorik, aber auch der Lenker können so über eine haptische Rückmeldung das Abweichen von der Fahrbahn erkennen. Durch die bauliche Höhendifferenz der Rüttelstreifen wird eine bessere Erkennbarkeit durch die Sensorik von Radar- und Lidarsensoren erreicht.

- **Temperaturabhängige Bodenmarkierungen**

Durch temperaturabhängige Bodenmarkierungen kann eine bessere Sichtbarkeit bei leichter Schneefahrbahn oder bei schlechten Sichtverhältnissen erreicht werden. Die Farbe verändert sich ab einem bestimmten Temperaturbereich und weist auf die Gefahr von möglichem Glatteis hin.

- **Geschwindigkeitsabhängige Bodenmarkierungen**

Wenn Bodenmarkierungen hinsichtlich ihrer Breite der zulässigen Höchstgeschwindigkeit angepasst werden, wird auch bei höheren Geschwindigkeiten eine zuverlässige Erkennung garantiert. In ähnlicher Weise wird derzeit die Ausführung von Bodenmarkierungen je nach Straßenkategorie vorgegeben (siehe RVS 05.03.11).

- **Einbau von Lichtleitungen:**

Durch ein in die Bodenmarkierung integrierte Lichtquelle wird die Erkennbarkeit von Bodenmarkierungen erhöht. Bei Schneefall und bei Schneedecken mit geringer Höhe sind damit Bodenmarkierungen länger und einfacher erkennbar.

Das „European Road Assessment Program“ (EuroRAP), eine non-profit Organisation mit dem Ziel die Verkehrssicherheit zu erhöhen, hat in einem Diskussionspapier aus dem Jahr 2011 bzw. 2014 Empfehlungen für die bessere Gestaltung und Erkennbarkeit der Bodenmarkierungen zusammengestellt (EuroRAP, 2014). Die ÖNorm EN 1436 definiert eine gute Qualität, wenn die Rückstrahlkraft bei Nacht und bei trocknen Verhältnissen mindestens 150 mcd/lux/m² und bei nassen Verhältnissen 35 mcd/lux/m² erreicht (bmvit, 2005). Die Abbildung 2.8-3 macht deutlich, welche Auswirkung die Rückstrahlkraft der Bodenmarkierungen auf die Erkennbarkeit hat.

Abbildung 4.2-4: Verschiedene Stufen der Erkennbarkeit von Bodenmarkierungen (Carnaby, 2003)



Die EuroRap legt folgende Empfehlungen für den Bereich der Bodenmarkierungen fest, um die maschinelle Wahrnehmung zu verbessern:

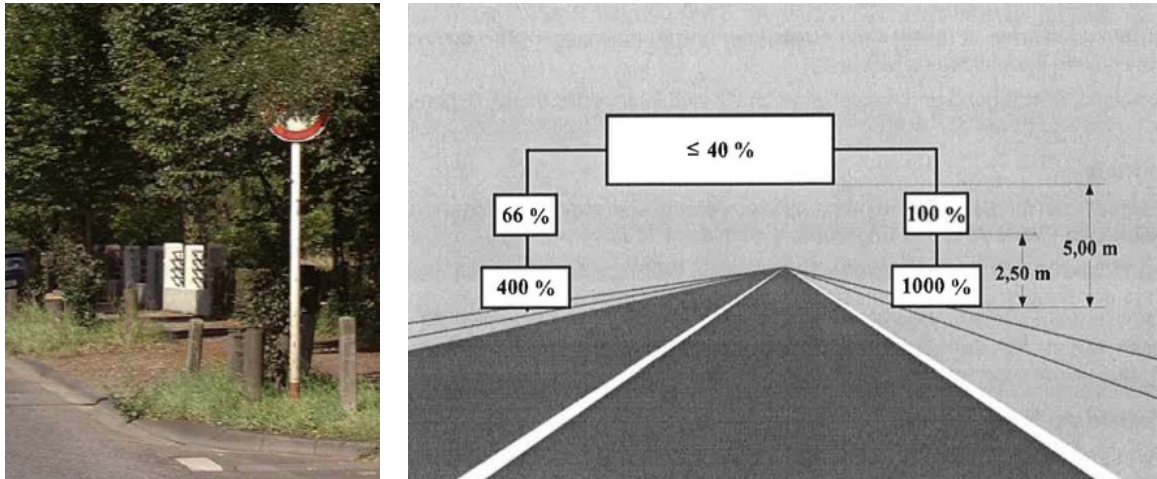
- Retroreflektierende Bodenmarkierungen, die bei allen Wetterbedingungen sichtbar bleiben und eine minimale Breite von 150 mm aufweisen;
- Harmonisierung der Farbe, Abmessungen von Bodenmarkierungen und Randmarkierungen;
- Einheitlich durchgehende Linie für den Fahrbahnrand (Randlinie), um eine deutliche Abgrenzung zur Fahrbahn herzustellen.

4.2.4 Straßenverkehrszeichen - Allgemein

Die Straßenverkehrszeichen stellen einen sichtbaren Teil der Straßeninfrastruktur dar und regeln die zulässige Art und Weise der Benutzung der Straßeninfrastruktur. Eine vollständige und richtlinienkonforme Ausführung ist die Grundlage für die sichere Benutzung der Straßen. Der rechtliche Rahmen von Straßenverkehrszeichen wird in der StVO in den Paragraphen 48 bis 54 abgesteckt. Darin definiert wird die Anbringung und die verschiedenen Arten (Gefahrenzeichen, Vorschriftszeichen, Hinweiszeichen, Zusatztafeln) von Straßenverkehrszeichen. Die Anforderungen an Straßenverkehrszeichen und die Aufstellung werden speziell in den Richtlinien RVS 05.02.11, RVS 05.02.12, RVS 05.02.13 geregelt. Für temporäre Straßenverkehrszeichen kommt die RVS 08.31.02 zur Anwendung. Bezüglich der Aufstellung von Straßenverkehrszeichen werden von der RVS minimale und maximale Abstände zur Fahrbahn angegeben. Der Aufstellungsraum von Straßenverkehrszeichen muss sich innerhalb des Erkennungshorizontes der

Sensorik von AuFz befinden, um eine Erkennung grundsätzlich zu ermöglichen. Zusätzlich gibt die Richtlinie vor, dass keine Verdeckungen (z.B.: Pflanzen) oder Verschmutzungen von Straßenverkehrszeichen auftreten sollen.

Abbildung 4.2-5: Unkenntliches Straßenverkehrszeichen (links) und Beleuchtungsstärken verschiedener Standorte der Verkehrszeichen (rechts) laut RVS 05.02.12



Automatisierte Fahrzeuge sind von einer einheitlichen Ausführung der Straßenverkehrszeichen abhängig, da die maschinelle Wahrnehmung anhand einer optischen Erkennung funktioniert, die das Erfasste richtig interpretiert und das erkannte Bild einem Verkehrszeichen zuordnen kann. Einige Faktoren können die Erkennbarkeit der Straßenverkehrszeichen stören oder gänzlich unmöglich machen (EuroRAP, 2011):

- Inkonsistenzen in der Ausführung der Straßenverkehrszeichen, wie unterschiedliche Größen, Farben oder Schrifttyp,
- Vandalismus oder Graffiti, die das Verkehrszeichen unlesbar machen,
- Verkehrszeichen ist durch Bewuchs oder andere Objekte verdeckt,
- Verkehrszeichen ist verdreht, nicht vorhanden, gestohlen oder durch einen Unfall niedergefahren,
- alte oder verschmutzte Verkehrszeichen werden unlesbar oder bieten eine zu geringe Erkennbarkeit bei schlechter Sicht und in der Nacht mit zu wenig Rückstrahlkraft.

Alle diese Faktoren stellen Sicherheitsrisiken dar, weil die mögliche Reaktion der automatisierten Fahrzeuge auf schlecht lesbare Verkehrszeichen nicht abschätzbar ist. Dies kann ein akutes Bremsen, unsicheres Fahrverhalten und Ähnliches sein. Neben der Erkennbarkeit von Straßenverkehrszeichen werden durch den Betrieb von automatisierten Fahrzeugen eventuell neue Verkehrszeichen notwendig, die den sicheren Betrieb gewährleisten oder eine zusätzliche Information für automatisierte Fahrzeuge bereitstellen. Für einen sicheren Betrieb der automatisierten Fahrzeuge wurden folgende Maßnahmen dargestellt, die in Kap. 2.8.5 identifiziert werden.

4.2.5 Verkehrszeichen – Maßnahmen nach „Muss-Kriterien“

Einsatzbeschränkung des Einsatzgebietes

Da nicht davon ausgegangen wird, dass zu Beginn der Einführung von AuFz der Automatisierungsklasse 3, 4 oder 5 ein flächendeckender Einsatz technisch möglich oder rechtlich zugelassen sein wird, wäre es denkbar den Einsatz von AuFz räumlich und für Straßenkategorie einzugrenzen. Die Einsatzerteilung kann anhand der Straßenkategorien festgelegt werden, wie z.B. die Fahrerlaubnis nur auf A+S. Oder die Einsatzerteilung wird innerhalb der bestehenden Straßenkategorien mithilfe entsprechend verordneter Straßenverkehrszeichen kenntlich gemacht. Um die erlaubten Einsatzbereiche abzugrenzen, bestehen mittels Verkehrszeichen folgende Möglichkeiten:

- **Möglichkeit 1:** Es wird ein Straßenverkehrszeichen definiert, das jene Bereiche und Streckenabschnitte kennzeichnet, auf denen mit AuFz gefahren werden darf. Alle anderen, nicht explizit gekennzeichneten Abschnitte dürfen nicht befahren werden.
- **Möglichkeit 2:** Es wird eine Straßenkategorie bzw. definiertes Gebiet vollständig für den Betrieb von automatisierten Fahrzeugen frei gegeben, wie z.B.: das gesamte Autobahnen- und Schnellstraßennetz. Mit Hilfe eines Vorschriftszeichens, wäre eine Kennzeichnung bestimmter Streckenabschnitte möglich, auf denen der Einsatz der Automatisierung oder der generelle Betrieb der AuFz verboten wird.

Im städtischen Gebiet können dieses Straßenverkehrszeichen eine ähnliche Funktion, wie z.B. Zonenverkehrszeichen, haben. Es wird, je nach Ausprägung, entweder der erlaubte Betrieb von automatisierten Fahrzeugen oder das Fahrverbot für automatisierte Fahrzeuge angezeigt.

Auf Autobahnen und Schnellstraßen ist eine generelle Fahrerlaubnis (Möglichkeit 2) für AuFz anzustreben. Mit Hilfe eines Straßenverkehrszeichens können jene Abschnitte mit Sichtweitereinschränkung oder anderen Störfaktoren, wie Baustellen, hoher Anteil an konventionellen Fahrzeugen oder Ähnliches von der Nutzung für die Automatisierungsklasse 3, 4 oder 5 ausgenommen werden.

Im innerstädtischen Bereich ist je nach technologischer Entwicklung die Umsetzung beider Varianten denkbar. Für eine stufenweise Implementierung des Automatisierten Fahrens ist eine Freigabe von Teilgebieten einer Stadt für den Betrieb von automatisierten Fahrzeugen möglich. Mit Hilfe eines "neu einzuführenden" Straßenverkehrszeichens für „Automatisiertes Fahren“ könnten Streckenabschnitte innerhalb dieser Zonen von der Nutzung wieder ausgenommen werden, wie z.B. vor staatlichen Einrichtungen, Botschaften, Schulen, Kindergärten und Seniorenheimen. Die Größe der Teilgebiete kann im Laufe der Zeit ausgeweitet werden, somit können die zu erwartenden Konfliktsituationen in der Anfangsphase reduziert und in einem überschaubaren Umfeld beobachtet werden. Bei AuFz der Automatisierungsklasse 5 wird mittelfristig die Möglichkeit 2 wahrscheinlich sein. Zweckmäßiger Weise ist der Einsatz AuFz in ausgewiesenen Gebieten (Zonen) flächendeckend möglich zu machen. Bei ausgenommenen Strecken ist darauf zu achten, dass ein zusammenhängendes Streckennetz bestehen bleibt.

Einheitlicher Standard für Straßenverkehrszeichen:

Um die eindeutige maschinelle Wahrnehmung der Verkehrszeichen zu gewährleisten, wird ein einheitlicher internationaler Standard notwendig. Merkmale wie Größe, Farbe, Schrift und ein Mindestmaß an Rückstrahlkraft sind zu definieren und einheitlich auszuführen. Die Tabelle 4.2-1 zeigt, dass dieses Thema nicht nur auf nationaler Ebene relevant ist, sondern eine internationale Harmonisierung der Straßen-


verkehrszeichen benötigt wird, um eine die maschinelle Wahrnehmung zu unterstützen und zu vereinfachen.

Einen Beitrag zur Harmonisierung von Produkten innerhalb der Europäischen Union liefert die CE-Zertifizierung. Damit wird seitens des Herstellers eines Produktes erklärt, dass das Produkt den geltenden Anforderungen gemäß der Verordnung 765/2008 genügt. Die Bereits vorhandene CE-Zertifizierung ist weiter zu entwickeln und alle Verkehrszeichen für einen automatisierten Fahrbetrieb müssen diese Anforderungen erfüllen. Seit 2013 ist in Österreich die CE Kennzeichnungspflicht für Straßenverkehrszeichen, die die europäische Normreihe ÖNORM EN 12899 einhält, verpflichtend. Außerdem ist eine Produktzertifizierung gemäß der RVS 08.23.01 gefordert.

Ein wichtiger Aspekt im Zusammenhang mit dem automatisierten Fahrzeugbetrieb ist die international einheitliche Gestaltung von Straßenverkehrszeichen. Dadurch wird eine einheitliche Basis geschaffen, um den Betrieb von AuFz grenzüberschreitend zu ermöglichen. Das Wiener Übereinkommen über Straßenverkehrszeichen aus dem Jahr 1968 hat bereits eine internationale Vereinheitlichung geschaffen. Trotz der Homogenisierung bezüglich Form und Piktogramm zeigen sich Unterschiede in der Ausführung der einzelnen Verkehrszeichen untereinander. Die Tabelle 4.2-1 zeigt die verschiedenen Ausführungsvarianten von 6 europäischen Staaten, die dem Wiener Übereinkommen über Straßenverkehrszeichen beigetreten sind. Es ist vorstellbar, dass AuFz die unterschiedlichen Ausführungsvarianten auf unterschiedliche Art und Weise interpretiert. Aus fachlicher Sicht ist eine Überprüfung der Verhaltensweise von AuFz auf die Straßenverkehrszeichen wünschenswert. In Zukunft wird zu diskutieren sein, ob die bestehende Homogenisierung für AuFz ausreichend ist, oder ob eine weitere internationale Vereinheitlichung, bis hin zur exakt selben Ausgestaltung des Straßenverkehrszeichens notwendig sein wird. (EuroRAP, 2014)

Neben der farblichen und gestalterischen Ausführung der Straßenverkehrszeichen wird die Rückstrahlkraft, die vor allem bei schlechten Sichtverhältnissen, aber auch in den Abend- und Nachtstunden relevant ist, von entscheidender Bedeutung sein. Nässe, schwierige Sichtverhältnisse und Reflexionen können dabei unterschiedliche Wirkungen auf die Sensorik der Fahrzeuge haben und unterschiedliche Interpretationen und Reaktionen verursachen.

Tabelle 4.2-1: Beispiele von verschiedenen Ausführungsvarianten der Straßenverkehrszeichen aus der „Wiener Konvention“ aus 6 europäischen Staaten (EuroRAP, 2014 bzw. StVO)

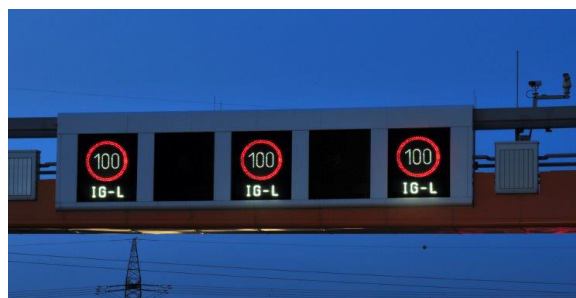
Verkehrszeichen	Vereinigtes Königreich	Griechenland	Niederlande	Polen	Serbien	Österreich
„Halt“						
„Vorrang Geben“						
„Einfahrt Verboten“						

Die Rückstrahlkraft ist abhängig von der verwendeten Verkehrszeichenfolie, die in verschiedene Typen eingeteilt werden. Die mikroprismatische Folie laut ÖNORM V 2050 stellt den höchsten Qualitätsstandard dar. Um eine gute Erkennbarkeit sicherzustellen, soll die Rückstrahlkraft der Straßenverkehrszeichen so stark wie möglich sein. Betreffend temporärer Verkehrszeichen auf Baustellen oder elektronischen Verkehrszeichen muss sichergestellt sein, dass auch diese allen Anforderungen entsprechen. Für die Positionierung von Straßenverkehrszeichen sind bereits Regelungen in Kraft, wie die Bestimmung des maximalen Abstandes vom Fahrbahnrand oder der Drehwinkel zur Fahrbahnachse. Laut RVS 05.02.11 sind Straßenverkehrszeichen in einem Winkel von 90° zur Straßenachse aufzustellen. Es ist eine wissenschaftliche Analyse notwendig, ob und wie die beste maschinelle Erkennung gegeben ist. Zum Mindeststandard bei der Aufstellung von Verkehrszeichen sind auch Mindeststandards für die Wartung und Instandsetzung festzulegen. Wünschenswert wäre die Definition von Überprüfungs- und Reinigungsintervallen. Eine Sichtprüfung ist in diesem Zusammenhang wahrscheinlich unzureichend. Die Kontrolle auf ausreichender Rückstrahlkraft muss bei allen Verkehrszeichen vor der Freigabe für AuFz durchgeführt werden. Bei Bedarf muss ein bestehendes Verkehrszeichen mit zu schlechter Leuchtkraft ausgetauscht werden.

Elektronische Straßenverkehrszeichen

Neben den statischen Straßenverkehrsschildern können auch optische oder elektronische Anzeigevorrichtungen verwendet werden (§ 48 Abs 1 a StVO). Häufig werden elektronische oder optische Straßenverkehrszeichen auf hochrangigen Straßen in der Form einer Wechselverkehrsanzeige (WVZ) oder Wechseltextanzeige (WTA) verwendet. Werden diese in Kombination mit Sensoren zur Verkehrs- und Umfelddatenerfassung für die Erfassung von Verkehrsmenge, Geschwindigkeit, Nässe oder schlechter Sicht ausgestattet, werden diese Anlagen Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) genannt (ASFINAG 2017b).

Abbildung 4.2-6: Beispiele für Wechselverkehrsanzeige (WVZ) und Wechseltextanzeigen (WTA) (ASFINAG 2017b)



Wechselverkehrsanzeige (WVZ)



Wechseltextanzeige (WTA)

Verkehrsbeeinflussungsanlagen dienen bei verschiedensten Vorkommnissen (Bsp.: Unfall, Baustelle, Nebel, usw.) der Verkehrssteuerung und bieten in Echtzeit Informationen und Handlungsangaben für die Verkehrsteilnehmer an, wie Geschwindigkeitsbeschränkungen, Fahrstreifensperre, Alternativrouten, Warnungen (ASFINAG, 2017b).

Die fahrerseitige Sensorik hat zum Teil Probleme bei der Erkennung von lichtemittierenden Verkehrszeichen auf Grund der Helligkeit oder der Bildwiederholungsrate. Für eine bessere Erkennung der elektronischen Verkehrszeichen kann straßenseitig die RGB LED Technologie verwendet werden. (Huggins et al., 2017)

Für automatisierte Fahrzeuge jeder Automatisierungsklasse ist für einen sicheren Betrieb im Straßenverkehr, die Erkennung von elektronischen Verkehrszeichen erforderlich. Das heißt, dass bei Einführung eine Überprüfung der bestehenden Anlagen auf maschinelle Wahrnehmung notwendig ist. Die Ausführung der elektronischen Verkehrszeichen soll sowohl an die Erkennbarkeit des menschlichen Auges, als auch an die maschinelle Wahrnehmung angepasst werden. Für den Zeitraum des Mischbetriebes muss davon ausgegangen werden, dass die notwendigen Informationen für Menschen und auch für AuFz verständlich weitergegeben wird. Das heißt, beide Arten von Straßenverkehrszeichen, statische Schilder und elektronische Verkehrszeichen, müssen parallel geführt werden.

4.2.6 Verkehrszeichen – Maßnahmen nach „Kann-Kriterien“

Als nicht erforderlich („Kann – Kriterium“) wird die maschinelle Wahrnehmung von Verkehrszeichen betrachtet, die nicht verordnungspflichtig sind. Dabei handelt es sich oft um Zusatztafeln mit Information, die nichts mit der StVO zu tun hat (Bsp.: „Bürgermeister empfiehlt“). Verordnungspflichtige Zusatztafeln müssen ebenfalls den Mindeststandards entsprechen und ausschließlich Informationen enthalten, die für den Verkehrsteilnehmer tatsächlich notwendig sind. Da es sich hierbei in der Regel um Texte handelt, die eine rechtlich spezifische Information beinhalten, stellt das insbesondere auf internationaler Ebene eine Herausforderung dar. Hier ist eine internationale Standardisierung wünschenswert.

4.2.7 Offene Fragen Bodenmarkierungen und Verkehrszeichen

Weitere Anforderungen an Bodenmarkierungen und Verkehrszeichen

Es muss vor dem Setzen infrastruktureller Maßnahmen geklärt werden, welche maschinelle Wahrnehmung technologisch möglich ist und welche Mindestansprüche automatisierte Systeme an Bodenmarkierungen und Verkehrszeichen stellen können. Die Fragen umfassen die Rückstrahlkraft, die Erkennbarkeit der Bodenmarkierungen und den Verschmutzungsgrad von Bodenmarkierungen und Straßenverkehrszeichen. Im Konkreten stellt sich die Frage, wieweit dürfen Markierungen abgefahren, also zum Teil nicht mehr sichtbar sein und wenn ja, welche Lücken verträgt die maschinelle Wahrnehmung. Diese Diskussionspunkte können nicht durch die Infrastrukturbetreiber allein gelöst werden. Vom Zusammenspiel und Austausch zwischen den Fahrzeugherstellern, den Infrastrukturbetreibern und der Politik wird es abhängen, ob eine ausreichende Grundlage geschaffen werden kann.

Grundsätzliche Hinterfragung der Notwendigkeit von Bodenmarkierungen und Verkehrszeichen

Grundsätzlich muss geklärt werden, ob und innerhalb welches Zeitraumes durch den Einsatz digitaler Karten die Notwendigkeit von flächendeckenden Bodenmarkierungen und Verkehrszeichen entfallen kann. Dabei müssen viele Fragen betrachtet werden: Einführungszeitraum von hochgenauen digitalen Karten, Möglichkeit einer flächendeckenden Einführung, laufende Aktualisierungsmöglichkeit für HD-Maps, ausreichende Genauigkeit der Positionsbestimmung, mögliche Rückfallebenen bei Störung der Funktion. Diese Fragestellungen sind in ihrem vollen Ausmaß noch nicht bekannt.

Rückfallebene, wenn die Anforderungen nicht erfüllt werden

Offene Fragen sind, ob als Rückfallebene in jedem Fall die auf Umfeldsensorik basierende Steuerung eines Fahrzeugs notwendig ist und wenn ja, ist die Notwendigkeit von eindeutigen Fahrbahnbegrenzungen gegeben?

Erkennbarkeit von Geschwindigkeitsbeschränkungen, die als Bodenmarkierung ausgeführt sind

Im städtischen Bereich sind zulässige Geschwindigkeitsbeschränkungen ergänzend als Bodenmarkierung ausgeführt. Können AuFz anhand der vorhandenen On-Board-Sensorik diese Art der Geschwindigkeitsbeschränkungen wahrnehmen oder muss die höchstzulässige Geschwindigkeit mittels Straßenverkehrszeichen angezeigt werden?

5 Verkehrslichtsignalanlagen (VLSA)

Verkehrslichtsignalanlagen stellen einen Teil der verkehrstechnischen Straßeninfrastruktur dar. Sie dienen zur Lenkung der Verkehrsteilnehmer und zur Gewährung der Verkehrssicherheit an Knotenpunkten. Die Ausführung und der Betrieb von VLSA wird in der RVS 05.04.33 thematisiert. Der Einsatz für Fahrstreifensignale (FASI) und Wechselverkehrszeichen wird in der RVS 05.04.21 behandelt. Die derzeitigen Schaltprogramme sind der menschlichen Fahrweise angepasst. Die maschinelle Wahrnehmung, die durch die Umfeldsensorik durchgeführt wird, kann, solange sich die VLSA im Erkennungshorizont befindet, die Lichtsignale erkennen und entsprechend interpretieren. Die RVS 05.04.21 legt fest, dass bei der Anordnung von FASI die Erkennbarkeit für eine Zeitdauer von 5 Sekunden gewährleistet sein soll. Es wird im Detail zu prüfen sein, welche Voraussetzungen bezüglich Position und Erkennbarkeit einer VLSA für AuFz gewährleistet sein müssen. Ähnlich wie bei den elektronischen Verkehrszeichen muss auch bei VLSA darauf geachtet werden, dass die optische Wahrnehmung der Lichtsignale für die Fahrzeugsensorik geeignet ist.

Befindet sich der Signalgeber außerhalb des von der On-Board-Sensorik erfassten Bereiches, dann werden entsprechende Signale nicht erfasst. Diese Problematik kann unter Umständen bei größeren VLSA-geregelten Knoten, welche mit Signalgeber am rechten und linken Fahrbahnrand und zusätzlich mit Überkopfanlagen ausgestattet sind, auftreten. Steht ein Fahrzeug direkt an der Haltelinie einer Verkehrslichtsignalanlage, befindet sich der Signalgeber im Idealfall im Sichtbereich des Fahrers, meist am rechten Rand der Windschutzscheibe. Wird jedoch der Signalgeber am rechten Fahrbahnrand durch ein nebenstehendes Fahrzeug, beispielsweise einen LKW, verdeckt, dann muss der Lenker auf den Überkopfsignalgeber achten. Dieser befindet sich oftmals direkt über dem Fahrzeug und kann nur durch einen Blick steil nach oben erfasst werden. Befindet sich der Signalgeber nicht im Erfassungsbereich der Umfeldsensorik eines automatisierten Fahrzeuges, kann das Lichtsignal nicht wahrgenommen werden.

In der RVS sind keine exakten Regelungen hinsichtlich des maximalen Montageraumes für VLSA definiert. Um den notwendigen Erfassungsbereich der Umfeldsensorik und damit den Erfassungswinkel festlegen zu können, ist die Definition eines zulässigen Montageraumes aus fachlicher Sicht wünschenswert und sollte bei Neubauten Berücksichtigung finden. Bestehende Anlagen müssen anhand dieser Vorgaben überprüft und bei Bedarf angepasst werden. Dasselbe gilt auch für Verkehrslichtsignalanlagen an Tunnelportalen oder ähnlichen Anlagen. Solange automatisierte Fahrzeuge nicht das gesamte Umfeld, also auch den Bereich oberhalb eines Fahrzeugs, erfassen oder die Signale nicht direkt mittels V2I-Kommunikation wahrgenommen werden können, wird diese Maßnahme als grundlegend erachtet.

Wie in Kapitel 4.2.5 dargelegt, hat die fahrzeugseitige Sensorik zum Teil Probleme bei der Erkennung von lichtemittierenden Verkehrszeichen auf Grund der Helligkeit oder der Bildwiederholungsrate (Huggins et al., 2017). Dasselbe Problem tritt bei Verkehrslichtsignalanlagen auf. Bei tiefstehender Sonne oder Refle-

xionen kann die Sensorik die Lichtsignale kaum erkennen. Ist eine Erkennung anhand der Fahrzeugsensorik nicht möglich, wird die Übertragung der Signalphasen an das AuFz über V2I-Kommunikation notwendig.

5.1 Intelligente Vernetzungstechnologien

Automatisiertes Fahren steht im Zusammenhang mit weitreichenden Veränderungen der Organisation und des Betriebes der Straßeninfrastruktur. Dabei steht die Erfassung der Fahrzeugumgebung im Fokus der Untersuchungen. Neben der fahrzeugseitig verbauten Sensorik gibt es Überlegungen, die Umfelderkennung mit Hilfe von externen Daten und Informationen zu unterstützen. Das Ziel ist eine effizientere und zielgerichtete Erkennung der Umgebung, das frühzeitige Erkennen von Gefahren und die Optimierung des Verkehrsflusses in der vorhandenen Infrastruktur. In diesem Zusammenhang spielt die gezielte Vernetzung intelligenter Verkehrssysteme (IVS) oder auch „Intelligent Transport Systems“ (ITS) genannt, eine große Rolle. Der Austausch von Daten und Informationen mit anderen Verkehrsträgern wird unter dem Sammelbegriff V2X (Vehicle-to-Everything) oder C-ITS (cooperative Intelligent Transport Systems) zusammengefasst und beschreibt zum einen die Datenkommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur (V2I – Vehicle to Infrastructure) und zum anderen zwischen Fahrzeug und Fahrzeug (V2V – Vehicle to Vehicle). Darin enthalten sind alle On-Board Units, Road Side Units, standardisierte Daten von C-ITS (CAM Standard), Traffic Control Center (Verkehrsleitzentrale) und Probe Vehicle Data (Echtzeit Wetterdaten, Echtzeit Straßenzustand, Echtzeit Parkplatzsituation, Echtzeit virtuelle Verkehrszeichen, Echtzeit Verkehrszustand). (bmvit, 2016a), (bmvit, 2016b), (ECo-AT, 2018)

Durch die frühzeitige Mitteilung von Verkehrssituationen, Störungen und Gefahrenstellen kann eine positive Wirkung auf die Verkehrssicherheit, den Fahrkomfort und den Verkehrsfluss wahrgenommen werden (bmvit, 2016a). Dieses kooperative Verkehrssystem (C-ITS) kommuniziert drahtlos mittels unterschiedlicher Schnittstellen untereinander. Für den Informationsaustausch wird unter anderem WLAN oder Dedicated Short Range Communication (DSRC), Bluetooth oder das Mobilfunknetz (4G/LTE und 5G) verwendet. Dadurch eröffnen sich für Infrastrukturbetreiber neue Möglichkeiten des direkten Informationsaustausches mit der entsprechend ausgestatteten Fahrzeugflotte. Anzustreben ist ein Informationsfluss in beide Richtungen. Somit können nicht nur Lenker von AuFz von diesen Informationen profitieren (Bsp.: Reisezeitoptimierung), sondern auch die Infrastrukturbetreiber. Durch Einbeziehen aktueller Verkehrsdaten und Echtzeitinformationen der Fahrzeugflotten, kann das Verkehrsgeschehen dynamischer, schneller und effizienter gesteuert und optimiert werden. Als Beispiele sind die dynamische Steuerung von Verkehrslichtsignalanlagen, die frühzeitige Vermeidung von Stausituationen zu nennen.

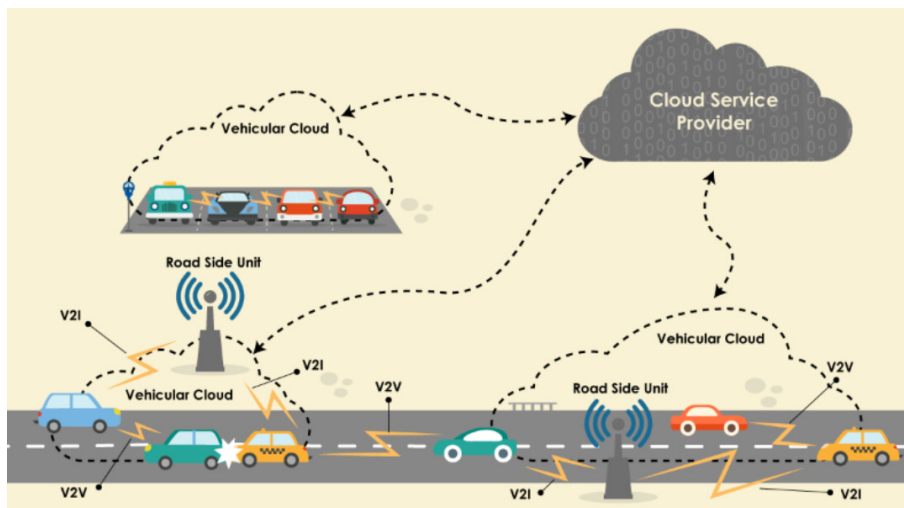
Die straßenseitige Ausrüstung für C-ITS setzt große Investitionen in die Infrastruktur voraus. Neben der benötigten Hardware entlang der Strecke, sogenannte Road Side Units, die Informationen entlang der Strecke selbstständig erfassen, Daten von Fahrzeugen erhalten bzw. an diese übermitteln, wird die Schnittstellentechnologie und der Kommunikationsstandard benötigt, um Daten und Informationen austauschbar zu machen. Neben WLAN- Netzwerk (IEEE 802.11p) wird auch das Mobilfunknetz (4G/LTE oder zukünftig 5G) zur Anwendung kommen (Ress und Wiecker 2016). Die Informationen werden von einem Cloud Service Provider (siehe Abbildung 5.1-1), in der Regel ist das der Infrastrukturbetreiber, in einer Verkehrsleitzentrale gesammelt, verarbeitet und über das Mobilfunknetz an die Road Side Unit (Straßenseitige Rechneinheit) und den jeweiligen vernetzten Verkehrsteilnehmer übermittelt. Neben der V2I-Kommunikation wird eine direkte Kommunikation im unmittelbaren Nahbereich (Vehicular

Cloud) zwischen den Fahrzeugen direkt über WLAN- Netzwerke (IEEE 802.11p) stattfinden können (V2V-Kommunikation).

Dadurch kann eine Erweiterung des Erfassungshorizontes des jeweiligen automatisierten Fahrzeuges erreicht werden. Anhand Informationen von vorausfahrenden Fahrzeugen stehen frühzeitig Sensordaten zur Verfügung. (acatech Studie, 2016)

Im Zusammenhang mit dem automatisierten Fahren werden weitere Innovationen erwartet, die auf die V2X-Kommunikation aufsetzen oder in Verbindung stehen. Digitale hochauflösende Karten (HD-Maps), Verkehrszeichenkataster, Unfallhäufungspunkte als Erweiterung von HD-Maps, Probe Vehicle Data (Echtzeit Wetterdaten, Echtzeit Straßenzustand, Echtzeit Parkplatzsituation, Echtzeit virtuelle Verkehrszeichen, Echtzeit Verkehrszustand, usw.) und intelligente Verkehrszeichen und intelligente Verkehrslichtsignalanlagen stellen eine Übersicht der möglichen Anwendungen dar.

Abbildung 5.1-1: Konzept der V2X-Kommunikation (Alam, 2016)



Grundsätzlich werden diese neuen Ansätze aus Sicht des AuFa als „Kann-Kriterien“ einzustufen sein, da jederzeit mit Technologieausfällen (z.B. Funklöcher, etc.) zu rechnen ist und der Fahrbetrieb weiterhin aufrecht bleiben muss. Die zusätzlichen Umfeldinformationen, die durch V2X-Kommunikation an das AuFz übertragen werden, sind daher als Qualitätssteigerung des automatisierten Fahrens und in weiter Folge auch für die Erhöhung der Verkehrssicherheit und der Optimierung des Verkehrsflusses dienlich. Den automatisierten Fahrzeugen stehen neben den selbst erfassten Daten zusätzlich externe Daten zu Verfügung, die ihren Wahrnehmungshorizont um ein Vielfaches erhöhen können. Diese Daten werden intern abgeglichen, gewichtet und priorisiert. Fehler in der On-Board Erfassung können dadurch korrigiert werden. Die Bewertung, welche Daten als "richtig" zu werten sind, wirft neben den technischen Fragen auch juristische Fragen auf, z.B. welche Fehldaten bzw. Fehlinterpretationen die Ursache für einen Unfall gewesen sein könnte (Integration einer Blackbox). Jedes einzelne automatisierte Fahrzeug stellt somit erhobene Daten zur Verfügung und verbessert die Datengrundlage für alle anderen Verkehrsteilnehmer. Gleichzeitig erwachsen auch neue Datenschutzfragen.

Nicht unberücksichtigt bleiben darf die Möglichkeit eines Systemausfalls der vernetzten Kommunikation oder einer Störung einzelner oder aller Kommunikationssysteme. Bei vollständiger Abhängigkeit des

automatisierten Fahrbetriebes von V2X-Kommunikation würde der Fahrbetrieb vollständig zum Erliegen kommen. Um diesen Fall zu berücksichtigen, muss eine Rückfallebene vorhanden sein, die den Betrieb nach wie vor gewährleisten kann. Für diese Rückfallebene muss das automatisierte Fahrzeug selbstständig auch ohne externe Daten unmittelbar und im vollen Umfang agieren können. Ihre On-Board Sensorik muss soweit ausgereift und die Wahrnehmung bzw. Interpretationsmöglichkeit soweit fortgeschritten sein, dass ein gefahrloser Betrieb gewährleistet werden kann. Damit wird festgelegt, dass der Grundbetrieb im Straßenverkehr durch AuFz selbstständig bewerkstelligt werden muss, unter der Einhaltung der Mindestanforderungen an die Infrastruktur („Muss-Kriterien“). Alle Innovationen und zusätzlichen Infrastruktureinrichtungen im Zusammenhang mit jeder folgenden Verbesserung, entlastet die On-Board Sensorik und liefert weitere Vorteile in der Qualität des Fahrbetriebes, darf aber keine vollständige Abhängigkeit für das automatisierte Fahrzeug schaffen.

Für den Projektzeitraum 2040 zeigt sich mit dem derzeitigen Informationsstand, dass keine vollständige Vernetzung aller Fahrzeuge möglich sein wird. Viel mehr ist mit einem Mischbetrieb zwischen vernetzten AuFz und konventionellen Fahrzeugen zu rechnen. Ebenso erscheint derzeit die Vorstellung der Vernetzung aller Verkehrsteilnehmer, wie Fußgänger und Radfahrer, für nicht durchsetzbar. Die Bedenken zum Thema Datenschutz werden nicht ohne weiteres unberücksichtigt bleiben. Diese Aspekte werden für den zukünftigen Betrieb von AuFz weitere Limitierungen zur Folge haben. Dazu zählt z.B. der Betrieb auf Straßen außerhalb. Auf Grund der zu erwartenden Durchdringungsraten der AuFz wird im Jahr 2040 mit einem Mischbetrieb mit manuell gelenkten Fahrzeugen zu rechnen sein. Konventionelle Fahrzeuge werden nach wie vor Teil des Straßenverkehrs sein und werden weiterhin alle klassischen infrastrukturellen Einrichtungen wie Straßenverkehrsschilder, Bodenmarkierungen, Verkehrslichtsignalanlagen für die Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen benötigen. Das heißt, ein mögliches Einsparungspotential für Infrastruktureinrichtungen (Verkehrszeichen, etc.) kann daher bis zum Jahr 2040 nicht abgerufen werden. Hier ist insbesondere auch die rechtliche Frage ins Spiel zu bringen.

5.2 Informationsfluss zwischen automatisierten Fahrzeugen und der Infrastruktur

Zurzeit erfassen und überwachen Infrastrukturbetreiber des hochrangigen Straßennetzes den Verkehrsfluss über zahlreiche stationär installierte Kameras, Sensoren und mobile Sensorsysteme. Straßenabschnitte, die sich nicht im Erfassungsbereich befinden, können nur vor Ort untersucht, keinesfalls jedoch ununterbrochen überwacht werden. In der Verkehrsleitzentrale wird diese Informationen gesammelt und über den Hörfunk an die Verkehrsteilnehmer übermittelt. Bei Zwischenfällen auf überwachten Streckenabschnitten ist der Infrastrukturbetreiber von Meldungen durch Einsatzfahrzeuge oder von vor Ort befindlichen Personen abhängig. Erst nach Meldungseingang können Maßnahmen getroffen werden, wie z.B. eine Umleitung des Verkehrs. In den meisten Fällen wird sich bereits ein Stau gebildet haben.

C-ITS stellt für diesen Anwendungsfall eine schnellere und genauere Informationsbereitstellung zur Verfügung. Von einem Zwischenfall betroffene Fahrzeuge können durch V2V-Kommunikation, in der unmittelbaren Nähe befindliche Fahrzeuge und Road Side Units über den Zwischenfall informieren. Je nach Zwischenfall wird eine Unfallwarnung, eine Fahrzeugpannenwarnung, eine Hinderniswarnung, eine Stauwarnung oder eine Baustellenwarnung gesendet. Der Vorteil liegt in der Echtzeitübertragung der Information und dem zusätzlichen Informationsgehalt über die Art des Zwischenfalles. Mit Hilfe von Road Side Units gelangt die Information in die Verkehrsleitzentrale, wo, abgestimmt auf die Verkehrssi-

tuation, Handlungsmaßnahmen definiert und allen betroffenen Verkehrsteilnehmern mitgeteilt werden können. Dazu zählen:

- die Vorgabe von Alternativrouten,
- bei Stauwarnung die Verringerung der Geschwindigkeit, um den Verkehrsfluss aufrecht zu halten,
- Bildung einer Rettungsgasse, um Einsatzfahrzeugen die Zufahrt zu ermöglichen,
- usw.

Während AuFz direkt die Handlungsanweisungen erhalten und umsetzen, muss für die zukunftsnahe Einführung dieses Dienstes eine Möglichkeit geschaffen werden, dass konventionelle Fahrzeuge ebenfalls auf die Meldungen Zugriff haben. Über eine nachträglich eingebaute On Board Unit, die Meldungen ausschließlich empfangen kann, werden „In Vehicle Informations“ (IVI) übertragen. Das konventionelle Fahrzeug erhält ebenfalls die vorhandenen Informationen über den Zwischenfall und weitere Maßnahmen.

Neben Zwischenfällen und Verkehrsflussdaten können, anhand der Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur, weitere Informationen weitergegeben werden. Möglich ist die Erfassung der Fahrbahnbeschaffenheit, wie Glatteis, Schlaglöcher und Schmieröl auf der Fahrbahn. Des Weiteren kann der Zustand der Straßenverkehrszeichen oder die Erfassung der Wetterbedingungen, wie Nebel, Starkregenereignis oder Schneefall weitergegeben werden.

Durch die Koppelung mit der im Aufbau befindlichen Plattform „Echtzeit Verkehrsinformation Straße Österreich“ (EVIS.AT) können Verkehrsinformationen rasch ausgetauscht werden. Durch Echtzeitinformationen an Knotenpunkte ist eine großflächige dynamische Steuerung von Verkehrslichtsignalanlagen möglich.

Für das Ermöglichen der Bereitstellung von Echtzeitdaten wird die Einführung von kooperativen Verkehrslichtsignalanlagen fachlich erwünscht, die mit Hilfe verschiedenster Servicefunktionen Daten an herannahende Fahrzeuge zur Verfügung stellen. Im Projekt „DRIVE C2X“ (2011-2014) wurden verschiedene Servicefunktionen erarbeitet und in drei Kategorien klassifiziert:

- Sicherheitsrelevante Funktionen,
- Verkehrsflussoptimierungsfunktionen,
- Infotainment und gewerbliche Funktionen.

Tabelle 5.2-1: Funktionsliste für V2X-Kommunikation (Malone, 2014), (Drive C2X Konsortium, 2014)

V2X - Funktionen	Sicherheit	Verkehrsfluss	Infotainment. bzw. Gewerblich
Stauendenwarnung (Traffic jam ahead warning)	x	X	
Baustellenwarnung (Road works warning)	x	X	
Fahrzeugpannenwarnung (Car breakdown warning)	x	X	
Einsatzfahrzeugwarnung (Approaching emergency vehicle)	x	X	
Wetter Warnung (Weather warning)	x	X	
Notbremswarnung (Emergency electronic brake lights)	x		
Langsame Fahrzeug Warnung (slow vehicle warning)	x	X	
Unfallwarnung (Post-crash warning)	x	X	
Hinderniswarnung (Obstacle warning)	x	X	
Motorradwarnung (Motorcycle warning)	x	X	
On-Bord Informationsbereitstellung (In vehicle signage, In vehicle information)	x	X	
Fahrzeuggeschwindigkeitsoptimierung für Grüne Welle (Green light optimized speed advisory - GLOSA)		X	
Verkehrsflussinformationen (Traffic information)		x	
Versicherungs- und Finanzservice (Insurance and financial service)			x
Dealer-Management-System (Dealer management)			x
Sehenswürdigkeiten Benachrichtigung (Point of interest notification)			x
Flottenmanagement (Fleet management)			x
Fahrverhaltensüberwachung (Leasing) (Transparent Leasing)			x

Das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie hat sich ebenfalls mit den ersten Schritten der Umsetzung von C-ITS Services auseinandergesetzt. Hierfür wurden die „Day 1 Applications“ definiert, die die ersten Anwendungsmöglichkeiten bei Einführungsbeginn darstellen sollen: (bmvit, 2016b)

- Traffic jam ahead warning (Stauende- bzw. Stauwurzelwarnung)
- Road works warning (Baustellenwarnung)
- Weather conditions (Wetter Bedingungen)
- Emergency brake light (Notbremswarnung)
- Emergency vehicle approaching (Einsatzfahrzeugwarnung)
- In-vehicle signage, In-vehicle speed limits (On-Bord Verkehrszeichen- und Geschwindigkeitslimitsanzeige)

- Signal violation, Intersection Safety (Rotlichtverstöße)
- Green Light Optimal Speed (Fahrzeuggeschwindigkeitsoptimierung für Grüne Welle)
- Probe vehicle data.

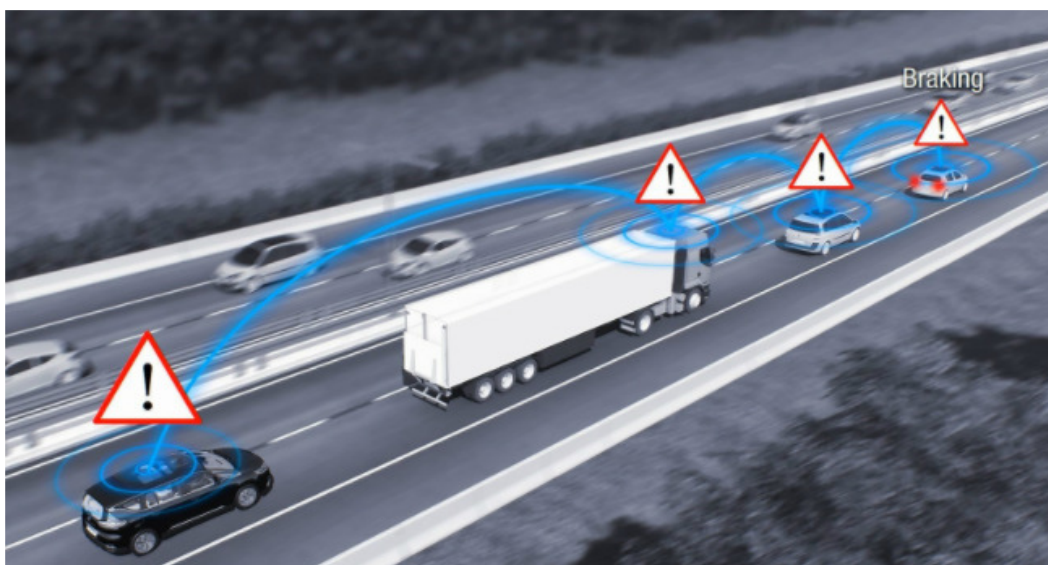
Abbildung 5.2-1: Beispiel einer "In Vehicle Information" Darstellung (Innamaa, 2014), (bmvit, 2016b), (Bosch Automotive, 2017a)



Diese V2X – Funktion (oder C-ITS Services) dient zum einen dem Ziel, einen gleichmäßigeren Verkehrsfluss zu erzeugen und zum anderen der Erhöhung der Verkehrssicherheit. Internationale Untersuchungen z.B in den USA haben gezeigt, dass eine Reduktion der Unfallhäufigkeit um bis zu 30% bei Ausstattung aller Fahrzeuge mit C-ITS möglich ist. Nicht außer Acht gelassen darf dabei der Einfluss von automatisierten Fahrassistenzsystemen, die das Risiko für Unfälle weiter senken. (Harding et al. 2014)

Durch die frühzeitige Informationsbereitstellung seitens der Infrastrukturbetreiber können Fahrzeuge schneller auf kritische Fahrsituationen reagieren und dadurch Unfälle vermeiden. Zumindest ist eine Reduktion des Schweregrades des Unfalls zu erwarten.

Abbildung 5.2-2: Beispiel eines virtuellen " Emergency electronic brake light" (torque, 2017)



Großen Einfluss auf das Verbesserungspotential der Verkehrssicherheit hat die Durchdringungsrate der Fahrzeuge und der Ausstattungsgrad der Straßenverkehrsinfrastruktur mit C-ITS Diensten. Die Effizienzsteigerung im Verkehrsfluss kann durch folgende Aspekte erreicht werden (bmvit 2016b):

- Frühzeitige und genauere Lokalisierung der Problemstellen, Zwischenfälle oder Hindernisse (Bsp.: bei Zufahrt zu Stauenden kann eine frühzeitige Geschwindigkeitsanpassung weitere Staubildung vermeiden),
- Frühzeitiges und gleichmäßiges Verringern und Anpassen der Geschwindigkeiten vor Baustellen, um den Verkehrsfluss frühzeitig zu homogenisieren und Einfluss auf die Dichte zu nehmen,
- Frühzeitiges Warnen vor gefährlichen Wetter- und Straßenzuständen (Bsp.: Starkregen, Nebel, Schneefahrbahn).

Mit Hilfe von Verkehrslichtsignalanlagen kann speziell im städtischen Verkehr die Effizienz des Verkehrsflusses gesteigert werden. Hinter dem Begriff SPAT (Signal Phase and Timing) versteckt sich eine Funktion von kooperativen Verkehrslichtsignalanlagen. Dabei wird der aktuelle Zustand der Signalphase an das Fahrzeug übermittelt. Hervorzuheben wäre die Funktion GLOSA (Green light optimized speed advisory) oder zu Deutsch "Fahrzeuggeschwindigkeitsoptimierung für Grüne Welle". Durch die Kenntnis des Zeitpunktes der Grünphasen, kann die Haltezeit und teilweise unnötige Beschleunigungsvorgänge im städtischen Verkehr durch Reduktion des Treibstoffverbrauches und der Emissionen verringert werden. Mit Hilfe von On-Bord Geschwindigkeitsempfehlungen kann diese Anwendung bereits ansatzweise ab den Automatisierungsklassen 3 und 4 umgesetzt werden. Hier ist allerdings einzuschränken, dass gerade im städtischen Bereich die Bedeutung des nichtmotorisierten und öffentlichen Verkehrs nicht einer rein Kfz-orientierten Optimierung der Vorrang eingeräumt werden kann.

Weitere C-ITS Anwendungen an Verkehrslichtsignalanlagen können Warnungen vor Rotlichtverstößen, optimierte Räumung der Knotenpunkte und die erwähnte Fahrzeuggeschwindigkeitsoptimierung für Grüne Wellen sein. (bmvit, 2016b)

In der zweistufigen Delphi-Untersuchung wurden, anhand einer offen gestellten Frage, die Gefahren von V2X auf das Verkehrssystem abgefragt. Übergreifend über alle Straßenkategorien (Autobahn und Schnellstraße, Straße außer- und innerorts) wurden zwei Hauptprobleme durch die Expertenantworten identifiziert:

- Im Mischbetrieb ist mit einer Interaktionsproblematik zwischen automatisierten und konventionellen Fahrzeugen zu rechnen. Es werden Konflikte mit Fußgängern, Radfahrern und motorisierten Zweirädern erwartet, weil eine Vollvernetzung aller Verkehrsteilnehmer nicht durchführbar erscheint. Bestätigt wird diese Problematik durch weitere Fragestellungen in der zweistufigen Delphi-Untersuchung. Abgefragt wurde, welche Problem- oder Gefahrensituationen durch Mischbetrieb auf Autobahn- und Schnellstraßen bzw. Stadtstraßen auftreten könnten (Abbildung 5.2-3). Die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern wurde durchwegs kritisch, sowohl für das hochrangige Netz, als auch für Straßen innerorts eingestuft (siehe
-
-
- Abbildung 5.2-4).

Als weitere Hauptursache für Interaktionsprobleme wird der ungleiche Informationsstand über die Verkehrssituationen genannt. Primär betroffen sein könnten konventionelle Fahrzeu-

ge sowie Fußgänger bzw. Radfahrer, aber auch AuFz. Wird zwischen den Fahrzeugherstellern kein einheitlicher Standard für die Kommunikation der Fahrzeuge untereinander angestrebt, ergeben sich unterschiedliche Wissensstände über das Umfeld. Unvorhersehbares Fahrverhalten könnte die Folge sein.

- Als zweite zentrale Problematik wurde die Zuverlässigkeit der Informationen genannt. Neben Hack-Angriffen und der Gefahr der Datenmanipulation besteht die Frage nach der Richtigkeit, Zuverlässigkeit und Ausfallsicherheit übermittelter V2V Daten. V2I Daten werden mit einem geringeren Risiko eingestuft, weil der Informationsgehalt durch den Infrastrukturbetreiber zur Verfügung gestellt werden soll und daher glaubwürdiger erscheint.

Für das Autobahn- und Schnellstraßennetz wurde zusätzlich Platooning und inhomogenes Abstandsverhalten im Mischbetrieb als Problem identifiziert. Platooning wird hauptsächlich auf Grund der Vielzahl an Verflechtungsbereichen auf Autobahnen und Schnellstraßen in Österreich als kritisch eingestuft.

Auf Außerortsstraßen kommen neben den beiden Problemfeldern weitere Unsicherheitsfaktoren zum Tragen, weil diese für alle Verkehrsteilnehmer, auch Fußgänger und Radfahrer sowie landwirtschaftliche Fuhren offen sind. Das Trennen der Verkehrsteilnehmer wird auf Grund der hohen Geschwindigkeitsunterschiede vorgeschlagen, vor allem sollen sich Radfahrer und Fußgänger nicht auf der Fahrbahn bewegen. Aber auch Motorräder und landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge stellen Konfliktpartner dar, die weiterhin auf Straßen außerorts fahren. Neben den Verkehrsteilnehmern stellen Tiere im Straßenverkehr immer schon eine Gefahr dar. Das wird sich durch die Einführung von C-ITS Dienste eventuell ändern. Im Stadtverkehr wird auf das Trennprinzip verwiesen, weil eine vollständige Vernetzung, nach aktuellem Wissensstand, nicht absehbar ist. Ohne V2P, also Kommunikation zwischen Fahrzeug und Personen, wäre auch das Queren von Straßen nur an fest vorgegebenen Positionen möglich.

Abbildung 5.2-3: ExpertInnen-Einschätzungen von Themenbereichen, die für den Mischbetrieb auf A+S Straßen ein Problem oder eine Gefahrensituation darstellen

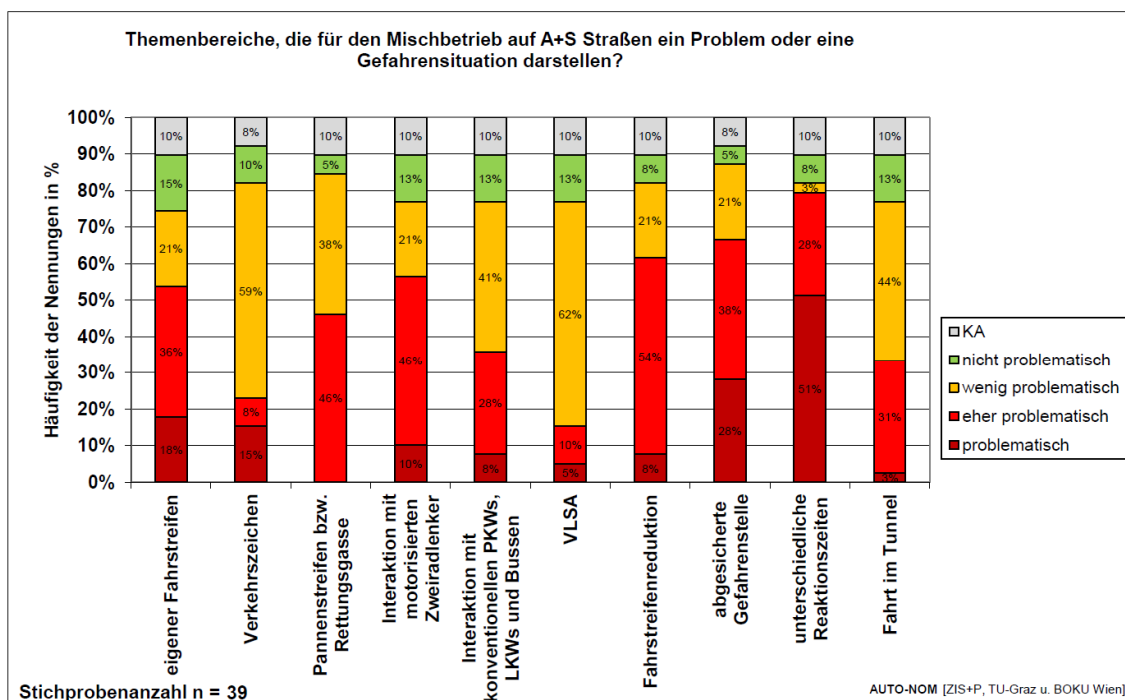
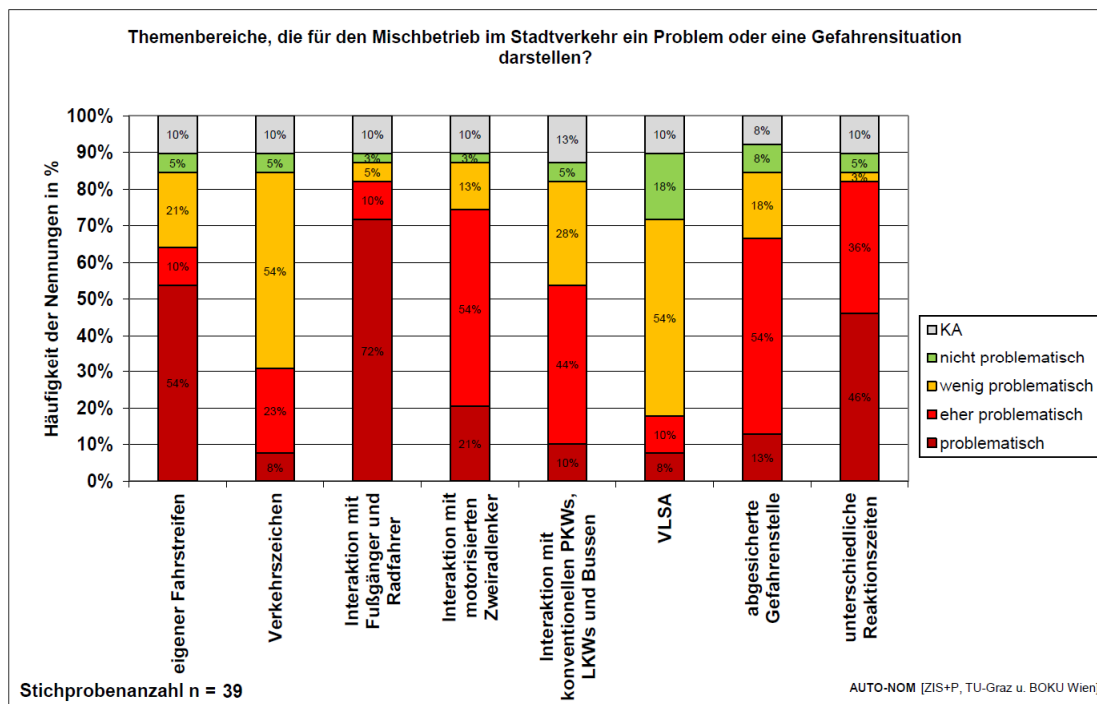


Abbildung 5.2-4: ExpertInnen-Einschätzungen von Themenbereichen, die für den Mischbetrieb im Stadtverkehr ein Problem oder eine Gefahrensituation darstellen



Im Anhang wird eine Übersicht von V2X- Funktionen dargestellt, die den aktuellen Stand der Forschung darstellt. Die Inhalte der V2X-Funktionalitäten basieren auf dem Forschungsprojekt Drive C2X, das zwischen 2011 und 2014 bearbeitet wurde. Darin wurden verschiedenste V2X-Funktionalitäten erarbeitet und definiert (Drive C2X Consortium, 2014). Daneben wurden V2X-Funktionalitäten auch durch das Bundesministerium für Verkehr und Innovation (bmvit, 2016b) und im Rahmen der acatech Studie (2016) untersucht und beschrieben. Die Tabelle beschreibt zum einen die Situationen, in denen V2X-Kommunikation Platz findet und definiert in welchem Umfang der Einsatz stattfinden kann.

5.3 Hochoflösende digitale Straßenkarten (HD-Maps)

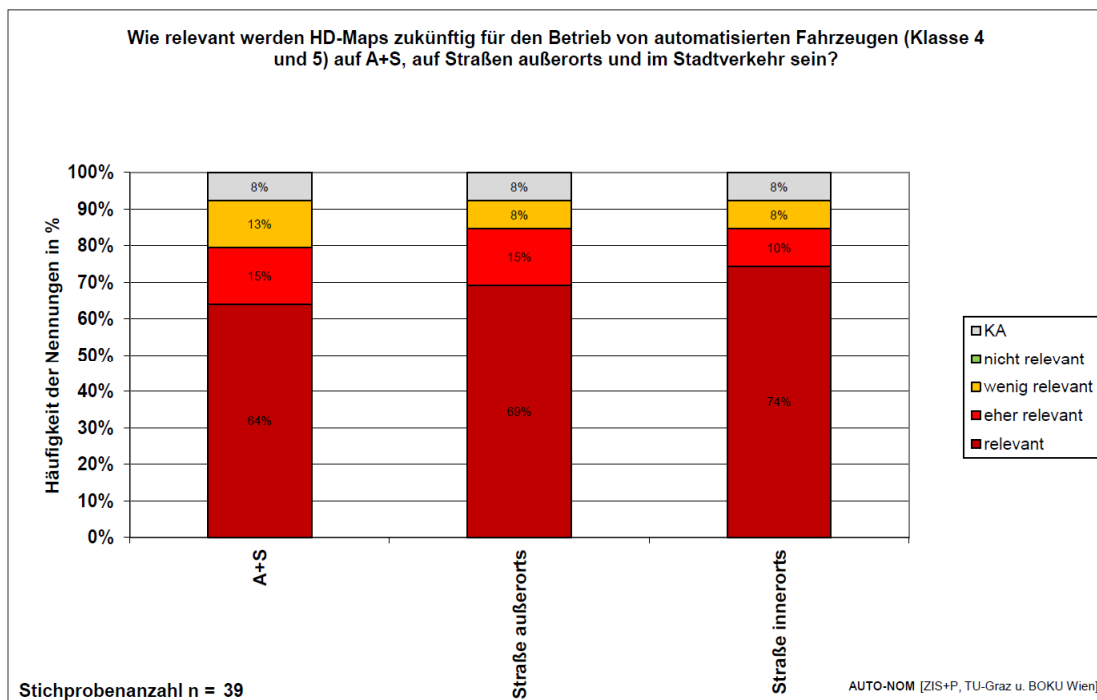
Der Betrieb AuFz wird zukünftig davon abhängen, wie gut die Abstimmung zwischen Infrastruktur und Fahrzeug funktioniert. Die Abstimmung der Leistungsanforderungen an das Fahrzeug und an die Infrastruktur wird ein zentrales Thema der Zukunft sein. Auf dem Weg Richtung AuFa der Automatisierungsklasse 5 gewinnt die präzise Eigenlokalisierung der Fahrzeuge an Wichtigkeit. C-ITS Dienste sind in ihrer Funktionsweise von Zusatzinformationen abhängig und benötigen Daten aller Parameter der Straßengeometrie, die Anzahl der Fahrstreifen, die Position der Bodenmarkierungen und Straßenverkehrszeichen, inklusive der geltenden höchstzulässigen Geschwindigkeiten. V2X-Kommunikation kann aus diesem Grund nicht als selbstständige Funktionsweise bestehen, sondern benötigt das Zusammenspiel einer

hochauflösenden digitalen Straßenkarte (HD-Maps) und der exakten Positionsbestimmung der Fahrzeuge. (Bennett et al., 2013)

Grundlegend können zwei Arten der Lokalisierung unterschieden werden. Zum einen die präzise Lokalisierung innerhalb des Fahrstreifens, um den Fahrbetrieb und Fahrmanöver, in dem dafür vorgesehenen Fahrbereich, sicherzustellen. Hierfür ist die Erkennung der Fahrbahnbegrenzungen aber auch das Erfassen von Hindernissen erforderlich. Die zweite Art der Lokalisierung gewinnt mit steigendem Automatisierungsgrad an Bedeutung. Neben dem Erfassen von Hindernissen wird die Verbesserung des Informationsgehaltes über die Umgebungssituationen, wie Verkehrslage, Baustellen, Fahrbahnzustand und Wetter, einen wichtigen Einfluss nehmen. Durch die Nutzung von hochgenauen digitalen Straßenkarten (HD-Maps) mit positionsgenauen Echtzeitinformationen kann das Fahrzeug, ergänzend zur On-Bord Sensorik, Umweltinformationen miteinbeziehen. Dadurch wird zum einen die fahrzeugseitige Sensorik entlastet und zum anderen stehen Informationen von vorausliegenden Streckenabschnitten zur Verfügung. Zusätzliche Informationen können dabei helfen frühzeitig die Fahrweise anzupassen oder Fahrmanöver einzuleiten, die einen Unfall verhindern können. Eine Verbesserung der Verkehrssicherheit wird dadurch möglich. (Cacilo et al., 2015)

In der zweistufigen Delphi-Untersuchung wurde die Relevanz bzw. die Wichtigkeit von HD-Maps in Zukunft für den automatisierten Fahrbetrieb abgefragt. Deutlich zeigt sich, dass ca. zwei Drittel der befragten Experten HD-Maps als ein relevantes Thema identifiziert haben. Knappe 80 % der Befragten sind der Meinung, dass HD-Maps zumindest ein eher relevantes Thema im automatisierten Fahrbetrieb sein werden.

Abbildung 5.3-1: Einschätzung der Relevanz von HD-Maps für den Betrieb von automatisierten Fahrzeugen (Automatisierungsklassen 4 und 5) auf A+S Straßen, auf Straßen außerorts und im Stadtverkehr (Ortsgebiet)



Somit können hochauflösende digitale Straßenkarten zu den Schlüsselinfrastruktureinrichtungen, im weiteren Ausbau für vollautomatisiertes Fahren, gezählt werden. Die aktuell am Markt erhältlichen digitalen Straßenkarten erfüllen noch nicht die geforderte Genauigkeit im Zentimeterbereich und können daher nicht für C-ITS Dienste verwendet werden. Das bestehende Knoten-Kanten Modell, mit einer Genauigkeit in Metern, genügt, dank Map-Matching, den Anforderungen der Navigation. Für den flächendeckenden fahrstreifenfeinen Straßengraph, inklusive Geometrie, Lichtraum und Topografie, werden weitere Daten benötigt: (acatech Studie, 2016), (Cacilo et al., 2015)

- Unterschiedliche Verkehrsinformationen für das richtige Fahrverhalten (Geschwindigkeiten, geltende Verkehrsregeln und VLSA Informationen),
- Landmarken oder andere Methoden zur hochgenauen absoluten Positionsbestimmung in Kombination mit Methoden zur relativen Lokalisierung und
- dynamische Informationen (Baustellen, Unfälle, Stau, Hindernisse, Zwischenfälle).

5.3.1 Positionsbestimmung mit HD-Maps

Als Grundvoraussetzung der Nutzung von HD-Maps wird die robuste Eigenlokalisierung des Fahrzeuges benötigt. Die notwendige Trajektorienplanung (Spurwechsel, Ausweichmanöver, Verhalten an Knotenpunkte, usw.) ist nur möglich, wenn eine zentimetergenaue Positionsbestimmung möglich ist. In Bereichen, an denen eine Ermittlung der Umgebungssituation anhand der maschinellen Wahrnehmung nicht ausreichend möglich ist, könnte eine zentimetergenaue Positionsbestimmung durch HD-Maps unterstützend eingreifen. Die ausschließliche satellitenbasierte (GNSS) Lokalisierung ist für diesen Anwendungsbereich nicht geeignet, da Empfangsprobleme, Kartenfehler oder eine nicht ausreichende Genauigkeit zur Verfügung gestellt werden kann. Mit Hilfe von Inertialsensorik und Odometriedaten (Geschwindigkeit, Raddrehzahl, Lenkwinkel, Radstand, Spurweite, Quer- und Längsbeschleunigung, Gierrate, usw.) kann die Positionsbestimmung unterstützt werden. Eine Verbesserung der Positionsbestimmung wird dadurch nicht erreicht, weil es sich um eine relative Positionsbestimmung handelt. Die Koppelnavigation mittels Odometriedaten kann daher nur jene Genauigkeit liefern, die durch die absolute Positionsbestimmung vorgegeben ist. Um die absolute Ortung zu verbessern, stehen weitere Möglichkeiten zur Verfügung. Satellitengestützte Verfahren können durch Methoden der kartenbasierten Lokalisierung unterstützt werden. Zunächst wird eine vorausgehende Schätzung der aktuellen Position benötigt, die anschließend anhand von ortsfesten Kartendaten abgeglichen werden. Mit Hilfe von mehreren ortsfesten „Landmarken“ (Schilder, Brückenpfeiler, Fixpunkte), die mit dem präzisen Abstand und Winkel zum Fahrzeug detektiert werden, sind Rückschlüsse auf die eigene Position möglich. Für die Positionsbestimmung in der Ebene sind mindestens zwei Landmarken erforderlich, im Raum mindestens drei. Je mehr Landmarken vorhanden sind, desto genauer und robuster ist die Positionsbestimmung. Die grundlegende Herausforderung ist die Bereitstellung einer ausreichenden Anzahl an Landmarken entlang der Straßeninfrastruktur.

Abbildung 5.3-2: Beispiel eines Verkehrsschilds (Landmark) zur Positionsbestimmung (auf der A9 in Bayern/ Deutschland)



Quelle: <http://cdn4.spiegel.de/images/image-1084993-galleryV9-kiet-1084993.jpg>

Eine weitere Möglichkeit ist das differentielle globale Positionierungssystem (DGPS). Durch Ausstrahlung von Korrekturdaten (Bahn und Zeitsystem) wird die Genauigkeit der Position gesteigert. Hierfür notwendig wären ortsfeste GNSS-Antennen (Referenzstationen), deren Lage durch klassische Vermessungsmethoden anschließend bestimmt werden muss. Aus der Abweichung der tatsächlichen und der empfangenen Position werden die tatsächlichen Laufzeiten der Satellitensignale präzise ermittelt. Die Differenzen der theoretischen und der tatsächlichen Signallaufzeiten können anschließend an die DGPS-Empfänger in der Umgebung übermittelt werden. Ähnlich wie zuvor sind seitens der Infrastruktur zusätzliche Maßnahmen erforderlich (Errichtung und Vermessung der Referenzstationen), um die präzise Positionsbestimmung innerhalb der HD-Map zu ermöglichen. (Strang et al., 2008)

Die Erstellung der hochgenauen digitalen Straßenkarten stellt eine weitere Herausforderung dar. Da aktuell kein verwendbares Kartenmaterial zur Verfügung steht, müssen diese erst aufgebaut werden. Mit Hilfe einer Stereokamera wird die Straße entlang der Fahrstrecke abgetastet und liefert bildliche Streckeninformationen in Form eines dreidimensionalen Modells mit hochgenauen satellitenbasierten Positionsdaten im Hintergrund. Um eine ausreichende Qualität zu erhalten, ist ein mehrmaliges Abfahren der Strecke notwendig. (Haeus und Keller, 2017)

Um den Erstellungsaufwand zu verringern, gibt es die Möglichkeit, dass automatisierte Fahrzeuge während der Fahrt Kartendaten selbst erstellen und sich darin lokalisieren (SLAM): „Simultaneous Localization and Mapping“ (SLAM) oder zu Deutsch „Simultane Lokalisierung und Kartenerstellung“. Mit entsprechender Sensorikausstattung der automatisierten Fahrzeuge kann eine Eigenpositionsschätzung mit Hilfe von GNSS geschätzt, die Abtastung der Straße während der Fahrt durchgeführt und eine dreidimensionale Karte mit Positionsdaten erzeugt werden. (acatech Studie, 2016)

Mit Hilfe dieser Technologie könnte das sofortige flächendeckende und kostenintensive Erzeugen und Vorhandensein von HD-Maps unnötig werden. Nach und nach könnte für das untergeordnete Straßen-

netz die Karte durch automatisierte Fahrzeuge erzeugt werden, vorausgesetzt, eine Schätzung der Eigenposition ist in diesem Bereich möglich.

5.3.2 Fragen der Bereitstellung, Koordination, Aktualität und von Unsicherheiten

Die flächendeckende Bereitstellung von hochgenauen digitalen Karten (HD-Maps) ist eine schwierige und kostenintensive Aufgabe. Derzeit ist nicht klar, wer die hochgenauen digitalen Karten erzeugen, warten, betreiben und finanzieren soll. Verschiedenste Organisationen bzw. Unternehmen könnten ein Interesse an HD-Maps haben und Einfluss nehmen. In der zweistufigen Delphi-Untersuchung wurde abgefragt, welche Organisation in Zukunft HD-Maps bereitstellen und deren Wartung betreuen und finanzieren soll. Vier mögliche Betreiber wurden identifiziert und zur Auswahl gestellt. Darunter die öffentliche Hand bzw. Infrastrukturbetreiber, der Fahrzeughersteller, Navigations- und Kartendienstleister sowie Telekommunikationsunternehmen.

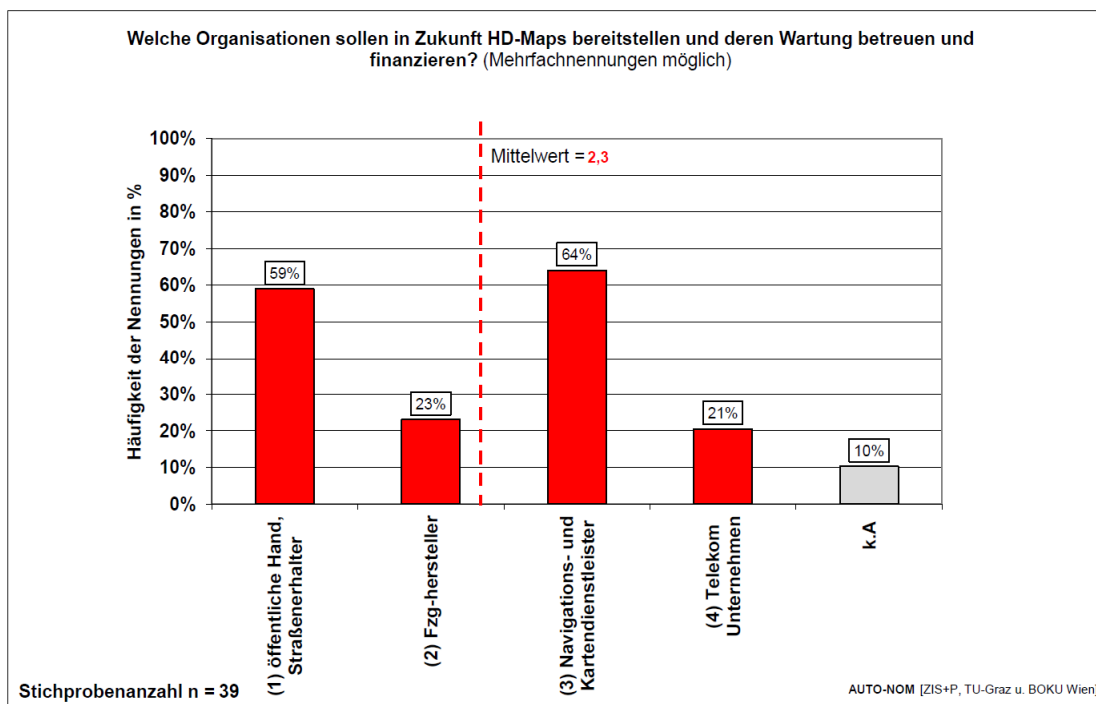
Die Experten haben die öffentliche Hand bzw. den Straßenbetreiber und die Navigations- und Kartendienstleister als mögliche Betreiber identifiziert. Da die Politik die gesetzlichen Rahmenbedingungen für automatisiertes Fahren vorgibt und öffentliche Gelder für den Bau und die Erhaltung der Straßeninfrastruktur verwendet, könnte die Bereitstellung der hochgenauen digitalen Karten im Interesse der öffentlichen Hand sein. Die Vorteile liegen darin, dass eine Schlüsselfunktion des automatisierten Fahrens durch die öffentliche Hand gelenkt und öffentliches Interesse in den Vordergrund gestellt werden kann. Der Nachteil liegt in der Haftungsfrage, die durch das Bereitstellen von HD-Maps zum Tragen kommt. Die Frage wird sein, ob die öffentliche Hand bzw. der Straßenbetreiber diese Verantwortung übernehmen möchte oder kann.

Die Kernkompetenz liegt im Bereich der Navigations- und Kartendienstleister (Bsp.: Garmin, TomTom, Google), die diesen Bereich als ein neues Geschäftsmodell identifiziert haben und zukünftig stärker nutzen könnten. Unabhängig vom Betreiber ist die Bereitstellung einer offenen und einheitlichen Funktionsweise bzw. einheitlicher Karten mit identem Inhalt und Detaillierungsgrad für alle Verkehrsteilnehmer erforderlich. Die Datenübertragung ist auf einer einheitlichen Basis für alle Nutzer vorzusehen. Unterschiede im Informationsstand beinhaltet die Gefahr von unvorhersehbarem Fahrverhalten und Konfliktsituationen zwischen den Verkehrsteilnehmern und stellt somit einen verkehrssicherheitsrelevanten Aspekt dar.

Ein weiterer Aspekt der Bereitstellung ist die Frage, wie Fahrzeuge auf das Kartenmaterial zugreifen können. Eine Möglichkeit stellt die cloudbasierte Lösung dar, über die auf das aktuelle Kartenmaterial zugegriffen werden kann. Damit wird das flächendeckende Vorhandensein von V2X-Kommunikation vorausgesetzt. Um Hackangriffe und Störsignale abzuwenden, muss eine sichere Datenverbindung für V2X-Kommunikation bereitgestellt werden. Eine weitere Möglichkeit ist das lokale Speichern der HD-Maps, ähnlich der Navigationsgeräte im Fahrzeug. Dadurch ist eine V2X-Kommunikation nicht zu jeder Zeit notwendig und Hackangriffe würden damit an Bedeutung verlieren. Für diese Variante erscheint die Forderung nach Echtzeitinformationen und sofortiger Aktualisierungen der Straßeninfrastruktur problematisch. Kurzfristige Fahrstreifensperren, Baustellen, Staus und Verkehrsunfälle wären nicht in der HD-Map enthalten. Dadurch würde ein großer Vorteil, der durch die Verwendung von HD-Maps entstehen könnte, nicht genutzt. Naheliegender erscheint die Kombination beider Varianten, um eine robuste und ausfallssichere Informationsbereitstellung und die Forderung nach Echtzeitinformationen sicher zu stellen.

Für den Themenbereich Aktualisierung von HD-Maps muss die Zuständigkeit der Durchführung von Aktualisierungen geklärt werden. Zusätzlich wird eine Definition notwendig sein, welche Ereignisse in welchem Zeitraum aktualisiert werden müssen. Ist eine manuelle Eingabe der Aktualisierung notwendig, werden kurzfristige Ereignisse wie Unfälle und die damit erforderliche Informationsbereitstellung, welche Fahrstreifen befahrbar bleiben oder wie die temporäre Verkehrsführung vorgesehen wird, nur schwierig kurzfristig einzubetten sein. Für dieses Problemfeld müssen Automatismen entwickelt, gegebenenfalls auf die maschinelle Wahrnehmung der automatisierten Fahrzeuge (Bsp.: SLAM) zurückgegriffen werden.

Abbildung 5.3-3: Einschätzung, welche Organisationen in Zukunft diese HD-Maps bereitstellen und deren Wartung betreuen bzw. finanzieren sollen



Zusatznutzen von HD-Maps

Hochgenaue digitale Straßenverkehrskarten bieten die Möglichkeit Funktions- und Informationserweiterungen zu implementieren. Eine zukünftige Erweiterung könnte eine Art Verkehrszeichenkataster innerhalb der HD-Map sein, die das Vorhandensein von ortsfesten Straßenverkehrszeichen unnötig machen würde. Alle verordnungspflichtigen Straßenverkehrszeichen werden digital mit genauer Position in der HD Map hinterlegt. Die Information der höchstzulässigen Geschwindigkeit könnte damit über diesen Verkehrszeichenkataster abgefragt werden. Um gänzlich auf Straßenverkehrszeichen verzichten zu können, müssten:

- Alle temporären und kurzfristig aufgestellten Geschwindigkeitsbeschränkungen in den Verkehrszeichenkataster eingebettet werden und
- alle Fahrzeuge, auch konventionelle Fahrzeuge, Motorräder und landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge, Radfahrer und Fußgänger auf die Information zugreifen können.

Der gänzliche Verzicht auf Straßenverkehrszeichen steht im Widerspruch zur Forderung einer Rückfallebene, wenn ein Systemausfall gegeben ist. Nicht zuletzt aus diesem Grunde ist mit einer langfristigen Umsetzung zu rechnen, die vermutlich Jahrzehnte in Anspruch nehmen wird.

Eine Erweiterungsmöglichkeit für HD-Maps könnten die Integration von Unfallhäufungspunkten (Hot Spots) darstellen. Unter „Hot Spots“ werden verkehrssicherheitsrelevante Konfliktzonen oder Unfallhäufungspunkte (Bsp.: Erhöhte Gefahr von Glatteis, Rutschgefahr, usw.) verstanden, die in die HD-Maps eingebettet werden könnten. Eine geringe Verbesserung der Verkehrssicherheit könnte dadurch erreicht werden.

Problemfragen für HD-Maps

- **Frage der vollständigen Durchdringung**

Wie öfters erwähnt, ist innerhalb des Projektbetrachtungszeitraum weitestgehend von Mischbetrieb auszugehen, weil keine vollständige Durchdringung und vollständige Vernetzung absehbar ist. Aus diesem Grund wird auf Bodenmarkierungen, Straßenverkehrszeichen und andere ortsfeste Infrastruktureinrichtungen auch in Zukunft nicht verzichtet werden können, zumal die Forderung einer Rückfallebene im Falle eines Systemausfalls notwendig ist. C-ITS Services, V2X-Kommunikation und HD-Maps stellen Qualitätsverbesserungen da, die primär die Verkehrssicherheit und den Verkehrsfluss erhöhen können. Sie sollen aber nicht die vorhandene Infrastruktur ersetzen, sondern den Betrieb unterstützen.

- **Übereinstimmungskonflikte**

Durch das parallele Vorhandensein der ortsfesten und der hinterlegten Information in den HD-Maps, können Übereinstimmungskonflikte auftreten, wenn die Information Vorort nicht mit jener der digitalen Karte übereinstimmt. Es benötigt Definitionen, welcher Information vertraut werden kann und soll. Ein Beispiel könnte das Übereinstimmungsproblem der höchstzulässigen Geschwindigkeit eines Straßenabschnittes sein, oder eine Unstimmigkeit von Bodenmarkierungen im Baustellenbereich. Im Zweifelsfall sollte auf die vorhandene Information referenziert werden, damit zumindest ein einheitlicher Informationsstand mit den konventionellen Fahrzeugen besteht und kein verkehrssicherheitsrelevantes Problem auftreten sollte. Die Übereinstimmungsproblematik wird sich vermutlich für die unterschiedlichen Straßentypen unterschiedlich darstellen. Im hochrangigen Straßennetz wird die Übereinstimmung der Informationen leichter zu erreichen sein, wie auf Straßen innerorts. Dieser Umstand bedarf einer breiten Diskussion, wie damit umzugehen sein wird und wäre rechtlich zusätzlich abzuklären. Letztendlich könnte es sich dementsprechend darstellen, dass die fahrzeugseitige Sensorik für die Vor-Ort-Information der Vorrang zukommt, was sich auch auf die rechtlichen Haftungsfragen durchschlagen könnte.

- **Ungeeignete Straßen bzw. Straßentypen**

Absehbar ist, dass nicht alle Straßen im ersten Schritt für AuFa geeignet oder zugelassen sein werden. Abhängig von der fahrzeugseitigen Sensorik und der maschinellen Wahrnehmung sind Straßen, ohne Bodenmarkierungen oder ohne andere deutliche Abgrenzungen zum Fahrbahnrand, nicht für den Betrieb geeignet (z.B.: Forststraßen, entlegene Straßen und Bergstraßen). Dementsprechend wird im ersten Schritt die Einteilung der Straßen in zwei unterschiedliche Netze notwendig sein. Entweder bestimmt der Infrastrukturbetreiber, welche Straßen für den Betrieb freigegeben werden können (Erstellung eines selektiven Straßennetzes), oder der Fahrzeug-

hersteller definiert, welche Kriterien erfüllt sein müssen seitens der Infrastruktur, um den sicheren Betrieb zu gewährleisten. Vor Fahrantritt wird vom AuFz geprüft, ob eine automatisierte Fahrt überhaupt möglich ist. Beide Möglichkeiten können auch parallel eingesetzt werden.

- **Uneinheitliches HD-Kartenmaterial**

Wird die Erstellung der HD-Maps dem freien Markt überlassen, besteht die Gefahr von uneinheitlichen digitalen Kartenmaterial durch eine Vielzahl an Anbietern (Bsp. Here, TomTom, Google, usw.), die für die unterschiedlichen Fahrzeughersteller einen Kooperationsvertrag haben. Umso wichtiger erscheint die Forderung nach einheitlichen Regelungen und einem einheitlichen Informationsstand in den hochgenauen digitalen Karten.

- **Tunnelproblematik**

Tunnels sind im hochrangigen Straßenverkehr insbesondere in Österreich häufig vorhandene Infrastruktureinrichtungen. Da in diesen Abschnitten keine exakte satellitenbasierte Positionsbestimmung möglich ist, müssen satellitengestützte Verfahren durch Methoden der kartenbasierten Lokalisierung unterstützt werden. Notwendig könnte die Errichtung von Landmarken oder Referenzpunkten innerhalb der Tunnels sein. Diffuse Lichtverhältnisse, welche die maschinelle Wahrnehmung der Bodenmarkierungen oder Straßenverkehrszeichen innerhalb der Tunnels erschweren, können durch verbesserte Lichtverhältnisse, helle Tunnelauskleidung, hochreflektierende Bodenmarkierungen und Straßenverkehrszeichen ausgeglichen werden.

5.3.3 Schlussfolgerung für die Nutzung von HD-Maps

Automatisiertes Fahren ist zum einen von der Fahrzeug-Sensorik und der maschinellen Wahrnehmung und zum anderen von der straßenseitigen Infrastruktur abhängig. Dieses Ineinandergreifen macht eine gemeinsame Weiterentwicklung und Abstimmung der beiden Themenfelder notwendig, um effizient die Vorteile des automatisierten Fahrens nutzen zu können.

Die Mindestanforderungen an die straßenseitige Infrastruktur kann auf einige wenige Themenfelder eingegrenzt werden und werden als „Muss-Kriterium“ innerhalb der Untersuchung dargestellt. Die zentralen Themenfelder sind:

- Straßenbauliche Maßnahmen (Trassierung, Querschnittsgestaltung, Fahrzeugrückhaltesysteme, Leiteinrichtungen, usw.),
- Bodenmarkierungen und Straßenverkehrszeichen,
- Verkehrslichtsignal- und Verkehrssteuerungsanlagen und
- technische Innovationen, digitale Infrastruktur (HD-Maps, C-ITS und V2X-Kommunikation, usw.).

Neben den „Muss-Kriterien“ wurden „Kann-Kriterien“ definiert, die eine Erhöhung der Qualität der Infrastruktur und des automatisierten Fahrens bedeuten, aber auf Grund der Limitierungen nicht zwingend für den Betrieb vorhanden sein müssen oder können. Zu diesen Gründen zählt zum einen, dass keine Vollvernetzung innerhalb des Projektzeitraumes, aber auch danach absehbar ist. Da für einen längeren Zeitraum oder überhaupt dauerhaft ein Mischbetrieb vorherrschen wird, werden Rückfallebenen bei Systemausfall erforderlich. Zum anderen wird eine Vernetzung von nicht motorisierten Verkehrsteilnehmern, wie Fußgängern und Radfahrer und die damit verbundenen rechtlichen Fragen eine langfristige Limitierung darstellen. Im Bereich der technischen Innovationen wurden alle neuen Technologien als „Kann-Kriterium“ definiert, weil auch ohne C-ITS Dienste, V2X-Kommunikation oder HD-Maps der auto-

matisierte Fahrzeugbetrieb zumindest nach der derzeitigen Rechtslage möglich sein muss. Alle drei genannten Innovationen stellen ein großes einheitliches Netzwerk dar, das sich gegenseitig beeinflusst und voneinander abhängig ist. Ein zentraler Aspekt im Bereich der technischen Innovationen stellt die exakte absolute Positionsbestimmung dar. Auf Basis der Lokalisierung der Eigenposition werden nahezu alle C-ITS Dienste aufgebaut. Daraus ergeben sich folgende Schlüsselemente für den Lokalisierungsprozess:

a) Entwicklung einer digitalen Karte (Datensätze) für Navigation:

Es wird eine Kombination aus präzisen Straßenkarten, präziser Umfeldinformation und hinterlegten Verkehrsflussdaten in der HD-Map aufgebaut. Die Herausforderung wird sein, das digitale Kartenmaterial jeder Straße aktuell zu halten. Der Zugriff könnte über einen Cloud-Dienst erfolgen.

b) Lokalisierung innerhalb der digitalen Karte:

Anhand von satellitenbasierender Positionsbestimmung und eventuell in Unterstützung durch zusätzliche Systeme zur Positionsbestimmung, wie terrestrischer Navigation, Ultra-Wide-Band basierte Positionsbestimmung, Landmarken, Koppelnavigation mit Odometriedaten, Space Based Augmentation System (SBAS) kann die Lokalisierung innerhalb der HD-Maps durchgeführt werden. Satellitenbasierte Ergänzungssysteme werden verwendet, um die Genauigkeit der Positionsbestimmung von etwa 10 Metern auf einige Zentimeter zu erhöhen. Diese Systeme senden Informationen über:

- Die Plausibilität der GNSS-Signale,
- Berichtigungen für GNSS-Satellitenuhren- und Bahnen und
- Berichtigungen für ionosphärisch bedingte Laufzeitverzögerungen basierend auf einem Datengitter.

c) Erfassung der Straßeninfrastruktur:

Die Erfassung der lokalen Straßeninfrastruktur erfolgt, um physische Merkmale in digitale Karten anhand der im Fahrzeug verbauten Sensorik – LIDAR, Ultraschall, Kameras, zu integrieren.

d) Adaptierung und Rückmeldung:

Die Adaptierung und Rückmeldung an die digitalen Karten der Infrastrukturbetreiber basierend auf den aktuell erfassten Daten dient zur Aktualisierung der Information.

e) „Simultaneous Localization and Mapping“ (SLAM):

Simultane Lokalisierung und Kartenerstellung.

Ohne robuste Eigenlokalisierung werden die technischen Innovationen keinen zusätzlichen Nutzen generieren können. Allgemein wird der erreichbare Nutzen des automatisierten Fahrens durch das bestmögliche Zusammenspiel der Infrastruktur und maschineller Wahrnehmung erreicht. Ziel der Einführung des automatisierten Fahrbetriebes könnte eine Annäherung eines gesamtwirtschaftlichen Vorteils sein. Folgende Fragen ergeben sich:

- Erstellung von HD Maps – Wer ist dafür verantwortlich, führt dies zu Haftungsverschiebungen?
- Wer ist für den zeitlichen Ablauf für Änderungen, Updates zuständig (z.B. Baustellen oder Integrierung von Unfallhäufungspunkten)?

- Was passiert bei einer Nichtübereinstimmung mit der Realität – Welche Information ist gültig? Laut Straßenverkehrszeichen sind 100 km/h erlaubt aber anhand der V2I-Kommunikation bekommt das Automatisierte Fahrzeug eine davon abweichende Information (z.B. höchstzulässige Geschwindigkeit 130 km/h).
- Wenn keine bzw. nicht aktuelle HD-Maps vorhanden sind, müssen diese Strecken für automatisiertes Fahren gesperrt werden (selektives Straßennetz)? Was passiert, wenn das Automatisierungssystem ausfällt, muss das Fahrsystem als Backup auch ohne HD-Maps "gleich" gut funktionieren?
- Wie ist die Qualität bzw. die Vertrauenswürdigkeit der Information zu gewährleisten (Datenmanipulation, Hackerangriff etc.)?

Ohne entsprechender Konkretisierungen innerhalb des automatisierten Fahrbetriebes werden weitere Maßnahmen nicht zu treffen sein. Sowohl die Sensorik in den Fahrzeugen, wie die Kommunikationsmöglichkeiten als auch die digitale Infrastruktur sind technologisch noch nicht ausgereift. Zukünftig wäre es fachlich wünschenswert, weitere Forschungsschwerpunkte zu den angeführten Themen zu setzen:

- Zum einen könnten weitere Forschungsbereiche im Bereich Straßengrapherstellung untersucht werden. Ein Aufgabengebiet von AuFz könnte die aktive Mithilfe bei der Erstellung und Aktualisierung von HD-Maps sein. Als verwendbares Verfahren könnte die „Simultane Lokalisierung und Kartenerstellung“ (SLAM) verwendet werden. Ziel könnte sein, dass AuFz anhand ihrer Sensorik die hochgenauen digitalen Karten mitaufbauen und ständig aktuell halten. Dadurch wäre auch im Falle eines Verkehrsumfalls, einer Fahrstreifensperre oder eines auf der Fahrbahn liegendes Objektes, die Detektion und die sofortige Implementierung in die bestehende HD-Map als temporärer Störstelle auf Basis eines eigenen Layers möglich. Die frühzeitige Informationsbereitstellung an herannahende Verkehrsteilnehmer wird daher in kürzester Zeit möglich.
- Ein weiterer Aspekt, der eng mit den rechtlichen Voraussetzungen gekoppelt ist, wird das Thema der Sichtweiten, in der ersten Phase auf Autobahnen und Schnellstraßen sein. Dabei empfiehlt es sich, das gesamte Autobahn- und Schnellstraßennetz vollständig auf Sichtweitenunterschreitungen zu überprüfen und gegebenenfalls Maßnahmen, wie Sichtweitenanpassungen durch Geschwindigkeitsreduktion oder selektive Fahrverbote für AuFz auf bestimmten Streckenabschnitten zu setzen.
- Schwerverkehrs-Platooning bietet Energieeinsparungspotential. Die höheren statischen und dynamischen Belastungen, die dadurch entstehen, übersteigen die aktuell gültigen Bemessungskriterien von Oberbau und Tragwerken. In Rahmen von Forschungsprojekten mit Testfahrten könnte die Oberbaudimensionierung überarbeitet werden. Für die Tragwerksplanung wäre die Wirkung der zusätzlichen statischen und dynamischen Belastung in der Konstruktion zu überprüfen.
- Im Bereich der digitalen Infrastruktur könnten vernetzte VLSA eine Rolle für die Effizienzsteigerung im Straßenverkehr liefern. Die beschriebenen V2X- Funktionalitäten, wie die dynamische Steuerung der Signalphasen an VLSA (SPAT), die Einsatzfahrzeugwarnung oder die Fahrzeuggeschwindigkeitsoptimierung für Grüne Welle (GLOSA) stellen einige theoretische Anwendungsbeispiele dar. Die Bereitstellung einheitlicher Standards für die Informationsweitergabe an die AuFz wird weitere Untersuchungen und Testbetriebe notwendig machen.

- Eines der Hauptthemenfelder stellt die Integration des AuFz in den konventionellen Fahrbetrieb dar. Eine Vielzahl an Themenfeldern haben gezeigt, dass in naher und mittlerer Zukunft der Mischverkehr vorherrschend sein wird. Die Interaktion zwischen den unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern erscheint daher, mit derzeitigem Wissensstand, als Kernthema des automatisierten Fahrbetriebes. Forschungsprojekte hinsichtlich Gestaltung der Interaktion mit AuFz wären fachlich wünschenswert, um Verkehrssicherheit und Akzeptanz im Straßenverkehr besser zu verstehen.

Um den Erstellungsaufwand zu verringern, gibt es die Möglichkeit, dass automatisierte Fahrzeuge während der Fahrt Kartendaten selbst erstellen und sich darin lokalisieren (SLAM): „Simultaneous Localization and Mapping“ (SLAM) oder zu Deutsch „Simultane Lokalisierung und Kartenerstellung“

Um die Einführung AuFz zu erleichtern, sollte eine einheitliche Gestaltung der Straßeninfrastruktur angestrebt werden. Damit Infrastrukturbetreiber einen definierten Standard bereitstellen können, sollten von aktuellen Straßenbaurichtlinien abweichende Straßenabschnitte angepasst oder zumindest vor Ort oder in entsprechenden Karten gekennzeichnet werden. Da AuFz auf internationaler Basis entwickelt werden, ist eine internationale Harmonisierung des Entwurfs von Straßeninfrastruktur anzustreben.

6 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen Infrastruktur

Aus der Sicht der Gestaltung der Infrastruktur ist zu diskutieren, in wie weit eine Harmonisierung für die Einführung des automatisierten Fahrens der Automatisierungsklasse 4 und 5 aus gesamtwirtschaftlicher Sicht möglich bzw. notwendig ist. Aufbauend auf den Ergebnissen der Abschätzung der mittelfristigen verkehrlichen Auswirkungen zeigt sich, dass die Vorgabe einer rein auf fahrzeuginterne Umfeldsensorik basierende Fahrzeugsteuerung notwendig ist und diese auch flächendeckend unter definierten Rahmenbedingungen für Straßentyp und Geschwindigkeiten mit den, in diesem Berichtsteil vorgeschlagenen Maßnahmen, umsetzbar ist.

Systeme, die auf zusätzlichen externen Datenquellen aufbauen, müssen so definiert werden, dass diese ergänzend wirken, weil hier die Datensicherheit nicht zu 100% gewährleistet werden kann. Das Fehlentscheidungsrisiko, aufbauend auf der Verwendung externer Daten führt auch zu einer Haftungsverschiebung, z.B. in Richtung öffentlicher Hand oder hinzu den Datenbereitstellern. Mit Rücksichtnahme auf diese Einschränkungen können durch externe Daten (V2I, V2V, HD-Maps) Vorteile für das automatisierte Fahren, insbesondere bei den Automatisierungsklassen 4 und 5 erwirkt werden. Nichtsdestotrotz wird die interne Sensorik als Rückfallebene alle Anforderungen erfüllen können muss. Die öffentliche Hand ist daher gefordert, klare Richtlinien und Zeithorizonte für die infrastrukturellen Adaptierungen sowie Mindeststandards, wie Qualität, Aktualität, Ausfallsicherung, der Datenbereitstellung (V2I, V2V, HD-Maps) auszuarbeiten.

Betreffend weiterführenden Handlungsempfehlung zeigt sich, dass Themenschwerpunkte für nahe und mittelfristige Überlegungen notwendig sind.

Straßenbauliche Infrastruktur

Wie bereits dargestellt (siehe AUTO-NOM, Teil 1, Kapitel 8.2.2) können die vorhandenen Sichtweiten bei diversen Streckenabschnitten Limitierungen für den automatisierten Fahrbetrieb darstellen. Die Forderung „Fahren auf Sicht“ bietet daher auch im Autobahn- und Schnellstraßennetz einige Einschränkungen. Die Prüfung der vorhandenen und erforderlichen Sichtweiten bei gegebener höchstzulässiger Geschwindigkeit wäre aus fachlicher Sicht erwünscht und könnte zu einem selektiv freigegebenen Streckennetz führen, das für AuFz freigegeben wird. Des Weiteren wäre eine abschnittsweise Anpassung der höchstzulässigen Geschwindigkeiten denkbar. Anpassungen der Infrastruktur sind betreffend Verkehrsrecht, Trassierungsentwurf samt Sichtweite und technologische Entwicklung für AuFz der Automatisierungsklasse 3 nicht zu empfehlen und wird ab der Automatisierungsklasse 4 anzudenken sein. Durch das geplante Herbeiführen eines sicheren Fahrzustandes (z.B. Halt am Pannestreifen) bei Erreichen der Steuerungsunfähigkeit der AuFz der Klasse 4 werden Pannen- und Haltebuchten vorzusehen oder zu ergänzen sein, wo derzeit noch keine vorhanden sind.

Schwerverkehrs Platooning wird einen neuen Belastungsfall für den Oberbau und für die Tragwerke der Straßeninfrastruktur darstellen. Dadurch sind Maßnahmen anzudenken, die neue Bemessungslastfälle beinhalten. Zusätzlich ist eine Anpassung des Fahrverhaltens denkbar, bei dem eine gezielte Variation des Fahrbereiches innerhalb des Fahrstreifens vorgesehen wird („Sinuslauf“). Eigene Fahrstreifen stellen einen kostspielige Variante dar und werden nur schwierig umzusetzen sein. Die Einführung wird sich mittelfristig auf Autobahnen und Schnellstraßen beschränken. Um Platooning möglich zu machen, wer-

den noch einige Überlegungen anzustellen sein, die die Gliederung des Querschnittes und das gefahrlose Eingliedern in den Verkehr an Anschlussstellen betreffen.

Die Fahrbahnbeschaffenheit stellt die Sensorik der AuFz vor Interpretationsschwierigkeiten. Unterschiedliche Deckschichtfarben, sowie Schlaglöcher oder Netzrisse können als Hindernisse identifiziert werden und Ausweichmanöver notwendig machen. Als Maßnahmen wären ein Mindeststandard der Deckschicht bzw. eine gleichbleibende Deckschicht je Streckenabschnitt fachlich wünschenswert.

Leiteinrichtungen

Auf Basis der zu erwartenden Durchdringungen sind primär Überlegungen und Überprüfungen im Bereich der Leiteinrichtungen, wie Bodenmarkierungen, Straßenverkehrszeichen oder Leitpflöcke zu tätigen. Die Einführung von international einheitlichen Qualitätsstandards wird unter Einbeziehung der Fahrzeughersteller zu konkretisieren sein, da im derzeitigen Entwicklungsstand, die Eigenlokalisierung der AuFz auf Randlinien basiert. Insofern wird näher vorzugeben sein, in welchen Bereichen bzw. Gebieten und Streckenabschnitten die Einführung primär gestartet werden soll. Eine sofortige flächendeckende Einführung auf allen Straßenkategorien erscheint aus derzeitigem Wissensstand nicht durchführbar, da eine flächendeckende Bereitstellung aller infrastrukturellen Voraussetzungen nicht herzustellen sein wird. Autobahnen und Schnellstraßen bieten bereits eine gute infrastrukturelle Qualität. Für Straßen außerorts der Kategorie Landesstraße B und L sind nach derzeitigen Forschungsstand keine Anpassung durchzuführen, da Limitierungen betreffend des automatisierten Fahrbetriebs bestehen, die primär die Benutzung der Landesstraßen B und L betreffen (siehe Kapitel 1). Für das untergeordnete Straßennetz im Außerortsbereich wäre der Betrieb bei Vorhandensein eines zusammenhängenden Straßennetzes und bei geringen Geschwindigkeiten zu diskutieren. Dementsprechend müssten Qualitätsstandards auch außerhalb vom Autobahn- und Schnellstraßennetz bereitgestellt werden. Straßen innerorts sind von ähnlichen Problemen, wie Straßen außerorts betroffen, wobei ein grundsätzlicher Betrieb von AuFz, durch das geringe Geschwindigkeitsniveau (<30 km/h) möglich ist. Detailliert wird zu klären sein, in welchem Ausmaß Anpassungen für Straßen innerorts notwendig sein werden. Als erste Einführungsfelder könnten sich daher Autobahnen und Schnellstraßen herausstellen.

VLSA und VBA

Lichtemittierende Verkehrszeichen wie Wechselverkehrsanzeigen oder Wechseltextanzeigen, aber auch Verkehrslichtsignalanlagen stellen auf Grund ihrer Helligkeit, Bildwiederholungsrate oder durch Reflexionen und ungünstige Sonneneinstrahlung Probleme für die Fahrzeugsensorik dar. In Abstimmung mit den Fahrzeugherstellern könnte geklärt werden, welche infrastrukturseitigen Maßnahmen gesetzt werden können. Ohne eindeutige Erkennbarkeit der lichtemittierenden Verkehrszeichen ist der sichere Betrieb der AuFz nicht gewährleistet. V2X-Funktionalitäten, wie die Übertragung der aktuellen Signalphase oder höchstzulässige Geschwindigkeit an das AuFz stellen Lösungen dar, wobei die Frage der Finanzierung, Bereitstellung und Haftung der Systeme zu klären ist.

Mittel- bis langfristig wird die mögliche Rolle von hochgenauen digitalen Straßenkarten (HD-Maps) zu diskutieren sein. Frühzeitig darf die Definition der Qualitätsstandards nicht unberücksichtigt bleiben. Anhand von Kriterienkatalogen können Anwendungsfelder und Ziele, die mit HD-Maps erreicht werden sollen, definiert werden. Diese Diskussion wird nur auf internationaler Ebene zu führen sein, da zum einen einheitliche Ziele definiert werden sollen und zum anderen, die finanziellen Mittel für die Erstellung der HD-Maps vorhanden sein müssen. Verschiedenste Stakeholder und Nutzergruppenvertreter werden den Diskussionsprozess begleiten und einheitliche internationale Standards erarbeiten.

7 Anhang

Dargestellt ist eine Übersicht der V2X- Funktionen, die den aktuellen Stand der Forschung darstellt. Die Inhalte der V2X-Funktionalitäten basieren auf dem Forschungsprojekt Drive C2X, das zwischen 2011 und 2014 bearbeitet wurde. Darin wurden verschiedenste V2X-Funktionalitäten erarbeitet und definiert (Drive C2X Consortium, 2014). Daneben wurden V2X-Funktionalitäten auch durch das Bundesministerium für Verkehr und Innovation (bmvit, 2016b) und im Rahmen der acatech Studie (2016) untersucht und beschrieben. Die Tabelle beschreibt zum einen die Situationen, in denen V2X-Kommunikation Platz findet und definiert in welchem Umfang der Einsatz stattfinden kann. Die für die Bearbeitung dieser Aufstellung notwendigen Quellen sind: (bmvit, 2016b), (ASFİNAG, 2017a), (acatech Studie, 2016), (Mattheß et al., 2009).

Anwendungsfall	Beschreibung
Traffic jam ahead warning: "Stauendenwarnung"	Verkehrsteilnehmer werden über den bevorstehenden Verkehrsstau und relevante Daten informiert (Bsp.: gesperrte Fahrstreifen, veränderte Verkehrsführung). Diese Funktion verbessert die Verkehrssicherheit für Fahrzeuge, die sich einem Stau annähern oder das Ende eines Staus bilden. Auffahrunfälle auf Autobahnen und Schnellstraßen sollen dadurch vermieden werden. Zusätzlich beinhaltet die Anwendung, Fahrzeuge vor einem nahenden Stau zu warnen und die Aufforderung die Fahrweise anzupassen, um weitere Staubildung zu vermeiden.
Road works warning: „Baustellenwarnung“	„Road Side Units“ (oder Baustellenwarnanhänger) werden bei Straßenbauarbeiten installiert und senden Baustelleninformationen an heranahende Fahrzeuge. Es werden ebenfalls Informationen bezüglich Streckenverlauf und damit verbundene Behinderungen (z.B. gesperrte Fahrstreifen) in das Fahrzeug auf die „On-Board Unit“ übertragen. Drei unterschiedliche Anwendungsszenarien sind denkbar: <ul style="list-style-type: none"> • Kurzfristige Baustellen und Unfälle • Langfristig geplante Baustellen • Mobile Baustellen (Bodenmarkierungsarbeiten, Mäharbeiten, usw.)
In-Vehicle Information (IVI): „Informationsbereitstellung im Fahrzeug“	Verkehrsteilnehmer erhalten Informationen über die höchstzulässige Geschwindigkeit, Verkehrszeichen oder Informationen anderer relevanter Gefahrenquellen direkt in das Fahrzeug, die sonst mittels statischen oder dynamischen Straßenverkehrszeichen angezeigt werden. (Bsp.: In-Vehicle signage, In-Vehicle speed limits)
CAM, DENM Aggregation - Probe Vehicle Data	▶ CAM: „Cooperative Awareness Message“

(Mattheß et al. 2009)	<p>stellt die standardisierte Nachrichtenform von C-ITS dar, um Verkehrsdaten zwischen Fahrzeugen auszutauschen. In den Nachrichten sind die Informationen bezüglich der aktuellen Position, der Geschwindigkeit und der Bewegungsrichtung enthalten. Mit Hilfe von CAM sollen Fahrzeuge im Umfeld von 300 bis 1000 m Informationen austauschen können. Die Tabelle enthält Daten der aktuellen Kommunikationspartner, die sich im Empfangsbereich befinden.</p> <p>► DENM: „Decentralized Environment Notification Message“ ist ein Nachrichtentyp, anhand dem Warnmeldungen oder Ereignisse im C-ITS Netz übermittelt werden. Es werden Informationen über Ereignisse und Straßeneigenschaften zur Verfügung gestellt, die für bestimmte Zeit in einer bestimmten Region interessant für Fahrzeuge oder Fahrer sein können. Die Informationen werden bei diesem Anwendungsfall direkt zwischen den Fahrzeugen ausgetauscht. Es kann eine Reichweite bis 20 km erreicht werden.</p> <p>DENM Anwendungsfälle:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Höhenkontrolle • Tunnelsperre (Verkehrsunfall, Brandfall) • Verkehrsüberlastung • Unfall • Ladegutverlust • Fahrzeugpannen • Sperre einzelner Fahrstreifen oder der gesamten Straße • Instandhaltungs- und Wartungsmaßnahmen • Fahrzeugbrand • Gefährliche Fahrbahnverhältnisse (nasse Fahrbahn, Glatteis, Schneefahrbahn, Aquaplaning) • Falschfahrer („Geisterfahrer“) • Sondertransporte <p>► Probe Vehicle Data (PVD): Das Sammeln anonymisierter Daten von Fahrzeugen (mobiler ITS Stationen) erweitert die Datengrundlage für das Verkehrsmanagement. Dadurch kann auf den vorhandenen Verkehrszustand geschlossen und Fahrzeuge frühzeitig über gefährliche Situationen informiert werden. Sie dienen der Erweiterung der Datengrundlage und fließen in das Verkehrsmanagement ein.</p>
Intersection Safety (ISS)	<ul style="list-style-type: none"> • Intersection Topology (HD Maps) • Signal Phase and Timing (SPAT): Aktuelle Signalphase, Verbleibende Grünzeit, Konfliktzonen Assistenten, → Red light violation (Rotlichtverstöße)

	<p>→ Fast clearing of intersection (optimierte Räumung der Knotenpunkte)</p> <p>→GLOSA (vehicle speed optimization)</p> <p>► SPAT: Kooperative Verkehrslicht-Signalanlagen informieren über den aktuellen Status ihrer Signalphase (SPAT Signal Phase an Timing)</p>
Car breakdown warning: „Fahrzeugpannen Warnung“	Die Verkehrssicherheit kann erhöht werden, indem Fahrzeuge mit einem technischen Defekt herannahende Fahrzeuge warnen und ihren exakten Standort übermitteln.
Approaching emergency vehicle oder Emergency vehicle approaching: “herannahende Einsatzfahrzeuge”	Anhand der V2X-Kommunikation kann die Warnung eines herannahenden Einsatzfahrzeuges an die umliegenden Fahrzeuge übermittelt werden. Somit kann sichergestellt werden, dass das Einsatzfahrzeug Vorfahrt erhält. In den Automatisierungsklassen 3 und 4 erhält der Fahrer mittels Board-Computer (Display) die Informationen. Zusätzlich erfolgt eine Warnung mit akustischen und haptischen Signalen.
Weather warning „Wetterwarnung“	Es werden Informationen von kritischen Wetterverhältnissen an das Fahrzeug übermittelt (Starker Wind, Glatteis auf der Fahrbahn, Starkregen, Schnee, usw.)
Emergency electronic brake lights, Emergency brake light, Collision avoidance system: „autonomer Notbremsassistent“	Diese Funktion erhöht die Verkehrssicherheit in einer dichten Verkehrsumgebung. Das Ziel ist die Vermeidung von Auffahrunfällen, die durch das plötzliche Bremsen verursacht werden. In den Automatisierungsklassen 3 und 4 wird der Fahrer, bevor er selbst die Situation erkennen kann, gewarnt. Durch die Erweiterung des Erfassungshorizontes, kann frühzeitig auf ein Bremsmanöver eines nicht sichtbaren vorausfahrenden Fahrzeuges gesetzt werden. Wird keine Handlung vom Fahrer durchgeführt, reagiert das System automatisiert mit einer Notbremsung.
Slow vehicle warning: “langsames Fahrzeug Warnung”	Durch dieses System sollen Auffahrunfälle auf langsame Fahrzeuge vermieden werden (Bsp.: Mähfahrzeuge, Traktoren, landwirtschaftliche Fahrzeuge in unübersichtlichen Kurven). Die langsamen Fahrzeuge senden Informationen zu ihrem Standort und warnen herannahende Fahrzeuge.
Post-crash warning: “Unfallwarnung”	Fahrzeuge werden von Unfallereignissen auf ihrer Fahrtroute in Kenntnis gesetzt, direkt nachdem die Unfälle vorgefallen sind. Die Herausforderung wird sein, wie die Unfallinformationen an die folgenden Fahrzeuge weitergegeben werden kann, wenn davon ausgegangen wird, dass das verunfallte Fahrzeug nicht mehr in der Lage ist, seine Standortdaten zu übermit-

	<p>teln.</p> <p>Straßeninfrastrukturseitige Sensoren oder Kameras müssten in diesen Fällen das verunfallte Fahrzeug detektieren und die Informationen an die herannahenden Fahrzeuge und die Einsatzkräfte übermitteln.</p>
Obstacle warning: "Hinderniswarnung"	<p>Das Fahrzeug erhält Informationen von vorausliegenden Gefahren und Hindernissen auf der Fahrbahn. Die Informationen können bereitgestellt werden durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fahrer, die die Information manuell bereitgestellt haben, • von Fahrzeugen, die die Hindernisse automatisiert erkannt haben, oder • von „Road Side Units“, die durch den Straßenbetreiber betrieben werden.
Motorcycle warning: "Motorradfahrerwarnung"	<p>Motorräder übertragen kontinuierlich ihre Bewegungs- und Positionsdaten an umliegende Fahrzeuge. Diese Fahrzeuge erhalten die Informationen und vergleichen sie mit den eigenen Daten. Wenn ein möglicher Konflikt erkannt oder ein Sicherheitsabstand unterschritten wird, wird eine Warnung ausgesendet.</p>
Green light optimized speed advisory (GLOSA): "Fahrzeuggeschwindigkeitsoptimierung für Grüne Welle"	<p>Diese Funktion reduziert die Haltezeit und unnötige Beschleunigungsvorgänge im städtischen Verkehr (Reduktion des Treibstoffverbrauches und der Emissionen). Für die Automatisierungsklassen 3 und 4 werden Geschwindigkeitsempfehlungen ausgegeben, um die folgenden VLSA während der Grünphase zu erreichen. Wenn keine Geschwindigkeitsempfehlung möglich ist, wird die Zeit bis zum Beginn der Grünphase in der „On Board Unit“ angezeigt.</p>
Multimodal information (MIF): „Multimodale Informationen“	<p>Bereitstellung von multimodalen Information in Echtzeit.</p>

8 Literaturverzeichnis

acatech Studie (2016): Neue autoMobilität. Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft. Hg. v. Karsten Lemmer. acatechSTUDIE. München. Online verfügbar unter <http://www.acatech.de/neue-automobilitaet>.

Alam, Mahbul (2016): Convergence of Secure Vehicular Ad-Hoc Network and Cloud in Internet of Things. Online verfügbar unter <http://mahbulalam.com/convergence-of-secure-vehicular-ad-hoc-network-and-cloud-in-iot/>.

ASFINAG (2017a): Verkehrsinformation. Online verfügbar unter <https://www.asfinag.at/ueber-uns/verantwortung/innovation/themenbereiche/verkehrsinformation/>.

ASFINAG (2017b): WVZ Wechselverkehrszeichen. Wien. Online verfügbar unter <http://services.asfinag.at/web/trafficdata/variable-message-signs>.

Bennett, Paul; Han, Clarissa; Green, David; Gaffney, John (2013): Emerging Digital Mapping Requirements for C-ITS. Hg. v. Asutroads Ltd. (AP-R432-13). Online verfügbar unter <https://www.onlinepublications.austroads.com.au/items/AP-R432-13>.

bmvit (2005): Merkblatt für die Auswahl von Bodenmarkierungsmaterialien. Online verfügbar unter https://www.bmvit.gv.at/verkehr/strasse/technik/verkehrstechnik/downloads/bomark_techmerkblatt.pdf.

bmvit (2016a): Automatisiert - Vernetzt - Mobil. Aktionsplan Automatisiertes Fahren. Hg. v. bmvit. Wien. Online verfügbar unter <https://www.bmvit.gv.at/service/publikationen/innovation/mobilitaet/downloads/automatisiert.pdf>.

bmvit (2016b): C-ITS Strategie Österreich. VerkehrsteilnehmerInnen vernetzen, Effizienz und Sicherheit im Verkehr fördern. Hg. v. bmvit. Wien. Online verfügbar unter <https://www.bmvit.gv.at/service/publikationen/verkehr/gesamtverkehr/citsstrategie.html>.

Bosch Automotive (2017a). Online verfügbar unter http://www.bosch-automotive.com.cn/media/db_application/stage_funktion/bilder/anzeigesysteme_emo1_big~1_w982.jpg?width=982&height=450.

Bosch Automotive (2017b): Bosch und Daimler zeigen fahrerloses Parken im realen Verkehr. Weltpremiere im Parkhaus des Mercedes-Benz Museums. Online verfügbar unter https://www.bosch-mobility-solutions.de/media/global/highlights/automated-mobility/automated-valet-parking/presseinformation_die-revolution-des-parkvorgangs.pdf.

Cacilo, Andrej; Schmidt, Sarah; Wittlinger, Philipp; Hermann, Florian; Bauer, Wilhelm; Sawade, Oliver et al. (2015): Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen - Industriepolitische Schlussfolgerungen. Fraunhofer IAO. Stuttgart (Dienstleistungsprojekt 15/14 Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi). Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/H/hochautomatisiertes-fahren-auf-autobahnen.pdf?__blob=publicationFile&v=1.

Daimler (2017): Highway Pilot Connect: Vernetzte Lkw fahren im Verbund mit mehr Sicherheit und weniger Verbrauch. Online verfügbar unter <http://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Highway-Pilot-Connect-Vernetzte-Lkw-fahren-im-Verbund-mit-mehr-Sicherheit-und-weniger-Verbrauch.xhtml?oid=9905211>.

Drive C2X Consortium (2014): V2X Use Cases and Functions. Online verfügbar unter <http://www.drive-c2x.eu/use-cases>.

ECo-AT (2018): Kooperative Intelligente Transport Systeme (C-ITS). Hg. v. ASFINAG Maut Service GmbH. Wien. Online verfügbar unter <http://www.eco-at.info/projektbeschreibung.html>.

EuroRAP, Euroncap (2014): Roads that cars can read. A Quality Standard for Road Markings and Traffic Signs on Major Rural Roads. Online verfügbar unter http://www.eurorap.org/wp-content/uploads/2015/03/roads_that_cars_can_read_2_spread1.pdf.

Harding, John; Powell, Gregory; Yoon, Rebecca; Fikentscher, Joshua; Doyle, Charlene; Sade, Dana et al. (2014): Vehicle-to-Vehicle Communications: Vehicle-to-Vehicle Communications: Readiness of V2V Technology for Application. Hg. v. National Highway Traffic Safety. Washington, D.C. (Report No. DOT HS 812 014). Online verfügbar unter <https://www.nhtsa.gov/.../V2V/Readiness-of-V2V-Technology-for-Application-812014...>

Haueis, Martin; Keller, Christoph (2017): Hochpräzise Landkarte fürs autonome Fahren. Hg. v. Mercedes-Benz. Online verfügbar unter https://www.mercedes-benz.lu/content/luxembourg/mpc/mpc_luxembourg_website/de/home_mpc/passengercars/home/world/innovation/news/high_precision_maps.html.

Huggins, Rosie; Topp, Rebecca; Gray, Lachlan; Piper, Lachlan; Jensen, Ben; Isaac, Lauren et al. (2017): Assessment of Key Road Operator Actions to Support Automated Vehicles. Hg. v. Austroads Ltd. Sydney (AP-R543-17). Online verfügbar unter <https://www.onlinepublications.austroads.com.au/items/AP-R543-17>.

Innamaa, Satu (2014): DRIVE C2X Assessed the Impacts of Cooperative Systems. NORDIC Road and Transport Research. Online verfügbar unter <http://nordicroads.com/drive-c2x-assessed-the-impacts-of-cooperative-systems/>.

Malone, Kerry (2014): Impact Assessment Overview. Drive C2X - Accelerate cooperative mobility. Berlin, 2014. Online verfügbar unter www.drive-c2x.eu/tl_files/publications/Final%20event/05_Impact%20Assessment_Kerry%20Malone.pdf.

Mattheß, Manuel; Norbert, Bißmeyer; Schütte, Julian; Stotz, Jan Peter; Gerlach, Matthias; Friederici, Florian et al. (2009): Sichere Intelligenmte Mobilität. Testfeld Deutschland. Hg. v. sim TD Konsortium. Fraunhofer-Institut SIT. Online verfügbar unter http://winfwiki.wifom.de/index.php/Standards_in_der_Car-To-Car-Kommunikation#Vehicle_2_Vehicle_Decentralized_Environmental_Notification).

Reschka, Andreas (2016): Fertigkeiten- und Fähigkeitengraphen als Grundlage des sicheren Betriebs Fertigkeiten- und Fähigkeitengraphen als Grundlage des sicheren Betriebs von automatisierten Fahrzeugen im öffentlichen Straßenverkehr in städtischer Umgebung. Dissertation. Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig. Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik, Physik.

Ress, Christian; Wiecker, Martin (2016): Potenzial der V2X-Kommunikation für Verkehrssicherheit und Effizienz. In: *ATZ Automobiltech Zeitschrift*. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/article/10.1007/s35148-015-0154-y>, zuletzt geprüft am 05.03.2017.

Schito, Paolo; Braghin, Francesco (2012): Numerical and Experimental Investigation on Vehicles in Platoon. In: *SAE Int. J. Commer. Veh.* 5 (1), S. 63–71. Online verfügbar unter <https://saemobilus.sae.org/content/2012-01-0175>, zuletzt geprüft am 25.04.2017.

Strang, T.; Schubert, F.; Thöler, S.; Oberweis, R. (2008): Lokalisierungsverfahren. Hg. v. DLR - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Institut für Kommunikation und Navigation. Oberpfaffenhof. Online verfügbar unter http://elib.dlr.de/54309/1/Lokalisierungsverfahren_v22.pdf.

torque (2017): V2X. Hg. v. SPH Magazines Pte Ltd. Online verfügbar unter <http://www.torque.com.sg/tag/v2x/>.

TÜV Rheinland (2018): Bosch und Daimler zeigen fahrerloses Parken im realen Verkehr. Online verfügbar unter <https://www.tuv.com/landingpage/de/c2f/main-navigation/future-mobility/driveless-parking.html>, zuletzt geprüft am 23.04.2018.

Richtlinien

- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2016): Oberbaubemessung (RVS 03.08.63), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2016): Temporäre Verkehrszeichen (RVS 08.31.02), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2015): Leitpflöcke (RVS 08.23.08), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2015): Verkehrszeichen (RVS 08.23.01), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2014): Pannenbuchten an Richtungsfahrbahnen (RVS 03.07.12), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2014): Anforderungen und Aufstellung - Verkehrszeichen und Ankündigungen (RVS 05.02.11), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2014): Beschilderung und Wegweisung im untergeordneten Straßennetz (RVS 05.02.12), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2013): Beschilderung und Wegweisung auf Autobahnen (RVS 05.02.13), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2013): Wegweiserbrücken (RVS 13.03.51), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2013): Standard in der betrieblichen Erhaltung von Landstraßen (RVS 12.01.12), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2012): Schnittgrößen in Fahrbahnplatten von Strassenbrücken (RVS 15.02.32), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2011): Anforderungen und Aufstellung - Leiteinrichtungen (RVS 05.02.31), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2011): Straßenbrücken (RVS 13.03.11), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2010): Entwurfsgrundlagen für Garagen (RVS 03.07.32), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2010): Ziel- und Aufgabenbeschreibung (RVS 06.01.41), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2010): Nutzen-Kosten-Untersuchungen im Verkehrswesen (RVS 02.01.22), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2009): Ausbildung und Anwendung von Bodenmarkierungen (RVS 05.03.11), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2009): Auswahl von Bodenmarkierungen (RVS 05.03.12), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2009): Zustandsbeschreibung und mögliche Schadensursachen von Asphalt- und Betonstraßen (RVS 13.01.11), Wien.
- FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2005): Querschnittselemente Freilandstraßen; verkehrs- und Lichtraum (RVS 03.03.31), Wien.

FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2004): Vertikale Leiteinrichtungen- Ausbildung und Anforderungen Schneestangen (RVS 05.02.41), Wien.

FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2004): Vertikale Leiteinrichtungen - Anordnung und Aufstellung Schneestangen (RVS 05.02.42), Wien.

FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2003): Qualitätskriterien für die Planung von Brücken (RVS 15.01.11), Wien.

FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2001): Querschnittsgestaltung von Innerortsstraßen (RVS 03.04.12), Wien.

FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (2001): Verkehrslichtsignalanlagen - Verkehrsleit-einrichtungen (RVS 05.04.21), Wien.

FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (1998): Verkehrslichtsignalanlagen - Einsatzkrite-rien (RVS 05.04.33), Wien.

FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (1984): Rahmenrichtlinie für Verkehrserschließung (RVS 03.01.12), Wien.

FSV, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene Verkehr (1980): Vertikale Leiteinrichtungen (RVS 05.02.22), Wien.

Norm

A.S.I, Austrian Standards International (2015): Richtlinien zur Spezifikation von Bodenmarkierungen und Bodenmarkierungsmaterial (ONR 22441), Wien.

A.S.I, Austrian Standards International (2009): Straßenmarkierungsmaterialien - Anforderungen an Markierungen auf Straßen (ÖNORM EN 1436), Wien.

A.S.I, Austrian Standards International (2008): Ortsfeste, vertikale Straßenverkehrszeichen - Teil 1: Verkehrszeichen (ÖNORM EN 12899), Wien.

A.S.I, Austrian Standards International (2003): Retroreflektierende Materialien für ortsfeste Verkehrszeichen - Lichttechnische Mindestanforderungen an mikroprismatische Materialien vom Typ 3 für Straßenverkehrszeichen (ÖNORM V 2050), Wien.