

5G Mobilfunk im Automobilbereich

(Stand: 28. November 2018, Version 0.1)

Nicht zur Veröffentlichung bestimmt

Dieses Papier basiert auf den Arbeiten zu einem Promotionsvorhaben, welches bis Anfang 2017 andauerte, sowie einer Schnellrecherche zur Aktualisierung der mittlerweile stattgefundenen Vorgänge. Eine detaillierte Untersuchung der technischen und industriepolitischen aktuellen Gegebenheiten steht aus.

Einleitung

In etwa in den Jahren 2019 bis 2021 ist mit dem regional flächendeckenden¹ Ausbau von Mobilfunknetzwerken der fünften Generation (5G) zu rechnen. Die Konsortien (5GAA, GSMA), Mobilfunkanbieter (z.B. T-Mobile, Vodafone), Infrastrukturhersteller (z.B. Nokia, Huawei) und weitere Marktteilnehmer propagieren diese neue Technologie derzeit auf allen Kanälen als einen „Enabler“ für vielerlei neue digitale Angebote und Dienste. Basiseigenschaften sollen dabei Datenraten von bis zu 10 Gigabit pro Sekunde, Latenzzeiten von weniger als einer Millisekunde, bessere Unterstützung vieler gleichzeitiger Verbindungen. Technisch sind diese Daten bereits in Laboren und kleinräumigen Feldversuchen erfolgreich umgesetzt und standardisiert worden.

Frank Fitzek vom 5G Lab Germany:

Was am Ende die „Killeranwendung für 5G“ sein wird, ist laut Frank Fitzek vom 5G Lab Germany schwer vorherzusagen. Der Experte erinnert an den 3G-Standard, also UMTS: Bei dem sei es anfangs um Videotelefonie gegangen, rückblickend jedoch sei das mobile Internet die wichtigste Anwendung gewesen. "Und bei 2G war es am Ende die SMS", sagt Fitzek. "Jede Technologie hat immer etwas Bestimmtes versprochen, aber etwas anderes war nachher der große Anwendungsfall oder die große Cashcow."²

Ein oft genannter „großer Anwendungsfall“ ist, dass 5G das Autonome Fahren verbessern oder gar erst ermöglichen wird.³ Diese vereinfachte Darstellung ist bei genauer Betrachtung jedoch zu hinterfragen.⁴ Dieses Papier möchte einige dieser Punkte sammeln.

¹ Regional flächendeckend deswegen, weil aufgrund der potentiellen Kundschaft, entsprechend ausgestatteter Mobilfunkendgeräte und der Kosten für neue Funktechnik anfangs nur Ballungsräume mit technologieaffiner Bevölkerung von 5G profitieren werden.

² <http://www.spiegel.de/netzwelt/netzpolitik/5g-in-deutschland-darum-ist-der-neue-mobilfunkstandard-so-wichtig-a-1240665.html#sponfakt=2>

³ <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Autonomes-Fahren-profitiert-von-Einfuehrung-von-5G-Mobilfunknetzen-4167193.html>

⁴ <http://www.spiegel.de/netzwelt/netzpolitik/5g-in-deutschland-darum-ist-der-neue-mobilfunkstandard-so-wichtig-a-1240665.html#sponfakt=16>

Analyse

Netzabdeckung

Eine offensichtliche und medial häufig thematisierte Herausforderung jeglicher Mobilfunknetzwerke ist die Netzabdeckung. Dabei sind jeweils die Bezugsgrößen zu beachten. Zu unterscheiden sind⁵:

- **Netzabdeckung nach Bevölkerung:**
Wird in der Regel nach Haushalten bemessen. Im Zuge der 5G-Frequenzvergabe sollen die teilnehmenden Mobilfunkbetreiber „bis Ende 2022 mindestens 98% der Haushalte je Bundesland mit mindestens 100 Mbit/s“ versorgen können.
- **Netzabdeckung nach Fläche:**
Da die Bevölkerung/Haushalte sich regional ballen, bedeuten die 2% Nichtabdeckung nach verschiedenen Schätzungen zwischen 10% und 30% der Fläche der Bundesrepublik.⁶
Darunter leidet die ländliche Bevölkerung, aber auch jeder dortige Besucher/Durchreisende. Um hier entgegenzuwirken, sollen „bis Ende 2022 1.000 „5G-Basisstationen“ und 500 Basisstationen mit mindestens 100 Mbit/s in *weißen Flecken* in Betrieb“ genommen werden.
- **Netzabdeckung nach Straßen (-kilometer):**
Schon heute sind Funklöcher Telefonanrufe im Fahrzeug weit verbreitet und gefürchtet. Sollten zukünftige autonome/automatisierte Fahrzeuge auf eine Mobilfunkabdeckung angewiesen sein, muss eine breite Abdeckung von Straßen, gedungen werden. Die Bundesnetzagentur fordert von 5G-Betreibern „bis Ende 2022 alle Bundesautobahnen und Bundesstraßen mit Verbindungsfunktionsstufen 0/1 mit mindestens 100 Mbit/s und höchstens 10 Millisekunden (ms) Latenz“, „bis Ende 2024 alle übrigen Bundesstraßen mit mindestens 100 Mbit/s und höchstens 10 ms Latenz, bis Ende 2024 alle Landes- und Staatsstraßen mit mindestens 50 Mbit/s“ zu versorgen.

Diese Anforderungen lesen sich zunächst gut. Zweifelhaft ist, ob diese Werte innerhalb der gegebenen Fristen erreicht werden können bzw. ob überhaupt jeweils der Fall sein wird, bis 5G von einer zukünftigen Technologie ersetzt werden wird. Ein Blick in aktuelle Testberichte zeigt, dass selbst Telefonie mit den bestehenden Technologien im Jahr 2018 nach knapp dreißig Jahren Mobilfunk im Massenmarkt auf Verbindungsstraßen (!) maximal bei 92% der Strecke funktioniert.⁷ Ob innerhalb von weniger als drei Jahren eine neue Technologie diese Werte übertreffen kann, ist kritisch zu hinterfragen. Dies auch im Anbetracht der Tatsache, dass die bei 5G verwendeten Frequenzen kürzere Reichweiten haben und somit zur Abdeckung derselben Fläche wesentlich mehr Mobilfunkmasten vonnöten sind.

In dieser Stelle ist das „Roaming“ ein wichtiger Aspekt. Roaming bezeichnet den Wechsel zwischen Netzen verschiedener Betreiber. Während ein einzelner Mobilfunkbetreiber die obenstehenden Abdeckungen schwerlich alleine erreichen kann, ermöglicht die Kombination aller Netze eine wesentlich bessere Abdeckung. Allerdings ist Roaming bei den Betreibern ungeliebt, insbesondere bei denjenigen mit besserer Abdeckung, weil sie damit ihrer Konkurrenz helfen würden. In den

⁵ Zitierte Anforderungen nach

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OffentlicheNetze/Mobilfunk/DrahtloserNetzzugang/Mobilfunk2020/20181126_Entscheidungen_III_IV.pdf?__blob=publicationFile&v=1

⁶ <http://www.spiegel.de/netzwelt/netzpolitik/5g-in-deutschland-darum-ist-der-neue-mobilfunkstandard-so-wichtig-a-1240665.html#sponfakt=8>

⁷ <https://www.connect.de/bildergalerie/mobilfunk-netztest-2017-connect-ergebnisse-tabellen-galerie-3197975-118657536.html>

aktuellen Regularien wurde das Roaming – vermutlich aufgrund von Lobbying – nicht zur Pflicht gemacht, sondern lediglich ein „Verhandlungsgebot“ erlassen.⁸

Ein Blick in die Verbreitung vorangegangener Technologien zeigt, dass sich Mobilfunktechnologien auch in der Nutzung bisher langsamer als „gefühlte“ verbreitet haben. Im Jahr 2018 fanden nur ca. 35% der Verbindungen mit 4G-Technologie statt, während 3G („UMTS“) fast auf denselben Wert kommt.

Im Anbetracht der Autonomen/Automatisierten Fahrzeuge, die nach derzeitigem Ermessen erst Mitte der 2020er den Markt in alltagstauglicher Qualität erreichen werden, sind die geforderten Netzabdeckungen, so sie denn erreicht würden, nur für eine kleine Elite von Vorteil. Der größte Teil der Bevölkerung wird erst viel später davon profitieren.

Nicht unerwähnt bleiben soll dabei ein Henne-Ei-Problem, das die Verbreitung neuer Technologien oft behindert: Sollte 5G-Technologie für autonome/automatisierte Fahrzeuge notwendig sein, werden sich diese Fahrzeuge nicht durchsetzen, wenn entsprechende Netzabdeckung nicht gegeben ist. Sind nicht genügend Fahrzeuge vorhanden, wird sich auch eine entsprechende Netzabdeckung für die Mobilfunkbetreiber nicht lohnen. Gleiches gilt z.B. bei Elektrofahrzeugen und der entsprechenden Ladeinfrastruktur. Ohne Investitionen auf die Zukunft auf beiden beteiligten Seiten kann dieses Problem quasi nicht gelöst werden.

Global mobile adoption by technology

Share of mobile connections, excluding cellular IoT

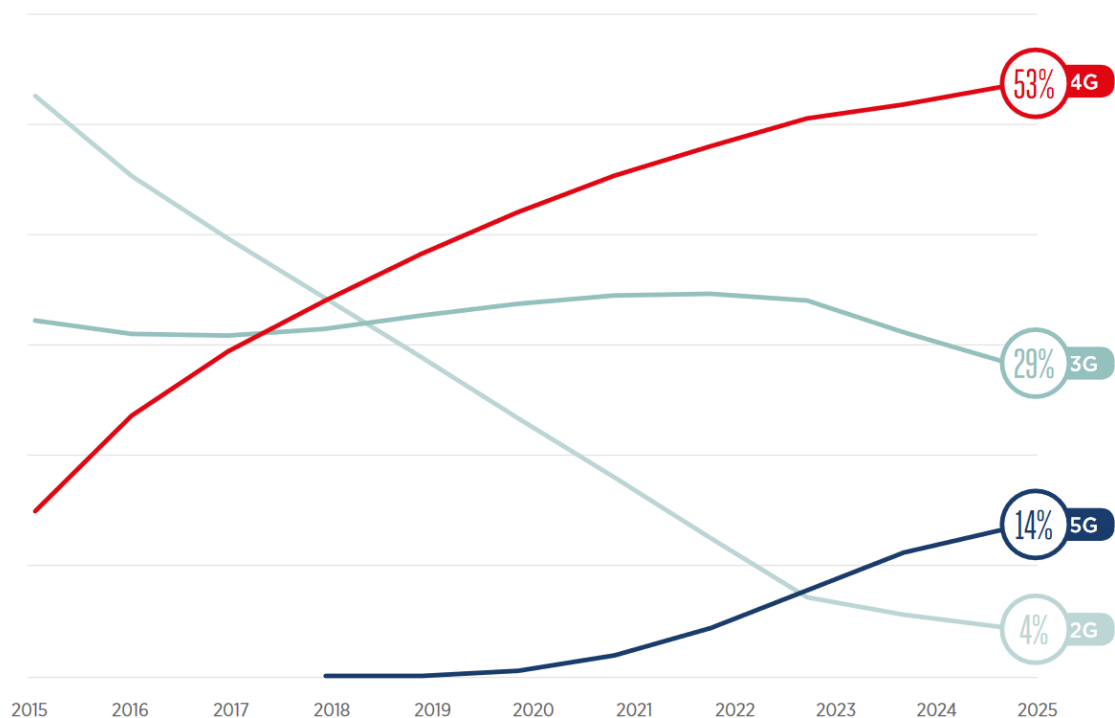


Abbildung 1 entnommen aus <https://www.gsmainelligence.com/research/2018/02/the-mobile-economy-2018/660/>

Die aktuellen Formulierungen könnten dazu führen, dass die beteiligten Mobilfunkbetreiber die Anforderungen in den Jahren 2022 bzw. 2024 nicht erreichen, ggf. einmalig sanktioniert werden und

⁸ <http://www.spiegel.de/netzwelt/netzpolitik/5g-in-deutschland-darum-ist-der-neue-mobilfunkstandard-so-wichtig-a-1240665.html#sponfakt=8>

danach keine weiteren Konsequenzen zu befürchten haben, während die öffentliche Hand keine Möglichkeiten mehr zur späteren Einflussnahme hat (die Frequenzen sind ja bereits erteilt.).

Zusammenfassend sollte untersucht werden, ob die Anforderungen zur Netzabdeckung mit der erwarteten Verbreitung von Endgeräten/Fahrzeugen besser abgestimmt werden können.

Einsatzszenarien

Warum wird 5G-Technologie überhaupt als Kernelement von autonomen/automatisierten Fahrzeugen betrachtet? Die drei eingangs erwähnten prominenten 5G-Vorteile zielen auf verschiedene Aspekte ab:

- **Höhere Datenübertragungsraten:**
Dies ist relevant für die Übertragung von hochgenauem Kartenmaterial. Nach weitläufiger Ansicht ist autonomes/automatisiertes Fahren nur mit solchen Karten möglich. Die Datenmengen sind zu groß und dynamisch, um auf einem Speicher im Fahrzeug vorgehalten zu werden und nur sporadisch aktualisiert zu werden. Daher wird davon ausgegangen, dass jeweils die neusten Karten für einen Straßenabschnitt bei bzw. kurz vor der Einfahrt in denselben heruntergeladen wird.
Hohe Datenraten sind auch für den umgekehrten Fall wichtig: Um die Karten stets aktuell zu halten, können die Fahrzeuge selbst zur Datensammlung verwendet werden. Die über viele Sensoren gesammelten Informationen können über Mobilfunk an eine zentrale Auswertungs- und Verteilungsstelle gesendet werden. Für manche Datenpunkte findet das bereits heute statt.
- **Kürzere Latenzzeiten:**
Latenzzeiten beschreiben die Zeit, welche vergeht, bis auf eine Aktion eine Reaktion erfolgt. Im Fahrzeugbereich wird das vor allem dann wichtig, wenn Fahrzeuge sich untereinander über ihren Zustand und bevorstehende Fahraktionen austauschen sollen (sog. Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation, Car-to-Car-Kommunikation). Auf diese Weise kann Verkehr sehr viel sicherer, komfortabler und effizienter gestaltet werden.
- **Mehr Endgeräte:**
Wer schon einmal bei einem Großereignis anwesend war und dort ein Telefonat führen oder Nachrichten versenden wollte, weiß, dass dies oft nicht oder nur sehr schlecht funktioniert. Mit 5G sollen sehr viel mehr Endgeräte und damit auch Fahrzeuge gleichzeitig mit hoher Qualität bedient werden. Im Fahrzeugbereich ist das insbesondere auch dann wichtig, wenn automatisierte/autonome Fahraktionen auch auf vielspurigen Straßen im Berufsverkehr oder bei der Vorbeifahrt an einem vollbesetzten Fußballstadion funktionieren sollen.

Alle oben genannten Einsatzszenarien sind valide. Allerdings kann in Frage gestellt werden, ob autonome/automatisierte Fahrzeuge vom ersten Tag an auf die von 5G theoretisch erbrachten Werte angewiesen sein werden.⁹

Alternative Technologien

Lange Zeit wurde von der Automobilindustrie, der Forschung und der öffentlichen Hand eine andere Technologie im Bereich fahrzeugorientierter Kommunikation mit geringen Latenzen gefördert:

⁹ <http://www.spiegel.de/netzwelt/netzpolitik/5g-in-deutschland-darum-ist-der-neue-mobilfunkstandard-so-wichtig-a-1240665.html#sponfakt=16>

Sogenannte Ad-hoc-Verbindungen auf Basis eines modifizierten WLAN-Standards (IEEE 802.11p). Anstatt die Kommunikation über das Mobilfunknetz und/oder Mobilfunkinfrastruktur („Mobilfunkmasten“) durchzuführen, findet sie in erster Linie zwischen Fahrzeugen ohne irgendwelche Zwischenstationen statt.¹⁰ Durch das Aufkommen von 5G ist diese Technologie, die schon lange entwickelt wurde, mittlerweile ausgereift ist und das oben genannte Henne-Ei-Problem bisher nicht überwunden hat, ins Hintertreffen geraten. Trotzdem wird sie z.B. von Volkswagen immer noch vorangetrieben und soll 2019 in Serie gehen.¹¹ Aus dem Mobilfunkbereich wurde das weitere C-V2X (Cellular Vehicle-to-X Communication) eingebracht, welches bereits in einer Version von 4G enthalten ist und viele Vorteile von 802.11p ebenfalls bieten soll. Derzeit wird C-V2X in Feldversuchen und Piloten erprobt, erste Produkte sollen demnächst verfügbar sein.

Die unten dargestellte Tabelle vergleicht die diversen Technologien zur Kommunikation zwischen Fahrzeugen (wobei ein Kommunikationspartner stets auch andere Verkehrsteilnehmer oder fest installierte Geräte wie Ampeln, Schilder sein kann). 5G vertritt dabei die beiden rechten Varianten, während 802.11p links und C-V2X beide linken Varianten grundsätzlich ermöglicht.

Zentrale Nachteile von 5G sind die erhöhten Kommunikationskosten für Fahrzeugbetreiber (Endkunden oder Flottenbetreiber), Datenschutzbedenken und ungeklärte Roaming/Interoperabilitäts-Fragen:

- **Kommunikationskosten:**
Die Mobilfunkbetreiber müssen die hohen Kosten für Frequenzen und Infrastruktur wieder hereinspielen. Auch wenn Datenpreise sich in stetigem Fall befinden, gibt es bei neuen Technologien zunächst einen mitunter starken Preisanstieg. Aufgrund des aggressiven Rollouts von 5G dürfte dies unvermeidlich sein.
Technologien zur direkten Kommunikation sind dagegen quasi frei von Kommunikationskosten (die Frequenzen z.B. für 802.11p sind kostenlos in der Nutzung). Die Kommunikationskosten sind jedoch in Verhältnis zu den Hardware-Kosten in den Fahrzeugen zu setzen. Mobilfunktechnologie dürfte bis auf Weiteres obligatorisch für Internet und Telefonie sein und daher „sowieso“ vorhanden. Dagegen sind domänenspezifische Technologien wie 802.11p und ggfs. auch C-V2X separat davon zu installieren.
- **Datenschutz:**
Jede Technologie, bei der Kommunikation in einem weltweiten Netz stattfindet, kann mit relativ einfachen Mitteln zur zentralen Datensammlung genutzt werden. Dies kann durch Regulierung eingeschränkt werden – so das überhaupt gewollt ist (siehe Terrorismusbekämpfung) – aber technisch ist es nicht zu verhindern. Alle über 5G anfallenden Daten können an einen Datensammler weitergeleitet werden. Bei 802.11p ist dies grundsätzlich ebenfalls möglich, aufgrund der dezentralen Natur jedoch mit immens hohem Aufwand verbunden.
- **Roaming/Interoperabilität:**
Wie weiter oben beschrieben ist nationales Roaming zwischen den Netzen nicht im direkten Interesse der Mobilfunkbetreiber.¹² Wenn aber ein Audi im T-Mobile-Netz fährt und ein BMW im Vodafone-Netz – wie wird dann sichergestellt, dass beide miteinander mit kurzen

¹⁰ Die Weiterleitung von Nachrichten über mobile oder statische Knoten ist natürlich ebenso machbar.

¹¹ <https://www.volkswagen-newsroom.com/de/pressemitteilungen/mit-dem-ziel-die-sicherheit-im-strassenverkehr-zu-erhoehen-laesst-volkswagen-fahrzeuge-ab-2019-miteinander-kommunizieren-1022>

¹² International ist das eine andere Frage, da jeder Anbieter seinen Kunden nur über fremde Netze auch im Ausland Konnektivität bieten kann.

Latenzzeiten kommunizieren können, vor allem falls sie sich gerade auf Kollisionspfad befinden?

Alle Technologien haben ihre Vor- und Nachteile. Teilweise können Vorteile durch die Kombination der Technologien kombiniert werden. Für das Gemeinwohl ist es wichtig, dass staatliche Mittel und Regulierungsmöglichkeiten effizient eingesetzt werden. Momentan macht die die Vielzahl von teilweise widersprüchlichen Verlautbarungen (manchmal pro 802.11p, manchmal pro 4G/5G) und Aktivitäten (Pilotprogramme, Forschungsprojekte, ...) nicht den Eindruck, dass die Bundesregierung geordnet vorgeht.


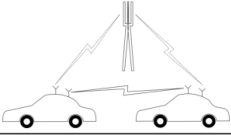
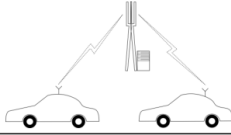
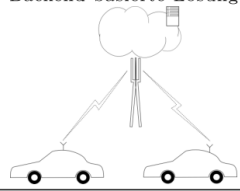
	IEEE 802.11p	Basisstation koordiniert dedizierten Funkkanal	Basisstation als Relay/Mobile Edge	Backend-basierte Lösung
				
Latenzen	< 10 ms	vergleichbar zu 802.11p	vergleichbar zu 802.11p	Hohe Latenzen, abhängig von Netzqualität
Datenraten	3 bis 27 $\frac{\text{Mbit}}{\text{s}}$	vergleichbar zu 802.11p	< 300 $\frac{\text{Mbit}}{\text{s}}$	lastabhängig
Reichweite	bis 1 km bei LOS ^a	bis 1 km bei LOS	Zellengröße: 1 – 30 km	Netzweit
Datenschutz/ Privatsphäre	Pseudonymität, hoher Aufwand für Fahrzeugtracking	Zentrales Fahrzeugtracking möglich		
Ausprägungen	Cooperative Awareness und Ereignisinformation			Nur Ereignisinformation
Interoperabilität	Unabhängig von Fahrzeughersteller und Netzbetreiber	Ungeklärt		Möglich durch Vernetzung der Backends
Frequenzen	Dediziert für ITS	Ungeklärt		Kontrolliert durch Mobilfunkoperatoren
Infrastruktur	Nicht notwendig	Koordination Kanalzugriff		Notwendig
Zusätzlicher Hardwarebedarf ^b	Transceiver, Antennen		Keine	
Betriebskosten	Gering ^c	vergleichbar zu 802.11p	Tendenziell hoch	Tendenziell hoch

Abbildung 2 entnommen aus Jakob Breu: Relevanzbasierte Nachrichtenselektion für die serientaugliche Integration von Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation, Dissertation, Tübingen 2016

Poltische Handlungsfehler und Forderungen

Bei den folgenden Punkten handelt es sich um erste Empfehlungen des Autors.

- Die Anforderungen zum 5G-Netzausbau sollten längerfristig realistischer angesetzt sein und nicht nur kurzfristige unrealistische Werte enthalten.
- Es sollten standardisierte Messverfahren definiert werden, um die Netzabdeckung und -Qualität verbindlich kontrollieren zu können.
- Nationales Roaming bzw. lokale Kommunikation über Betreibergrenzen hinaus muss forciert werden.
- Ergebnisoffene Bewertung von alternativen Technologien zusammen mit Interessensgruppen.
- Herbeiführung einer Festlegung der deutschen Automobilindustrie auf eine Technologie.
- Forderung nach einer bundesweiten Strategie zur Entscheidungsfindung bzgl. des Einsatzes neuer Kommunikationstechnologien im Fahrzeugumfeld.
- Fokussierung der staatlichen Fördermittel und Regulierung entsprechend der Ergebnisse der vorgenannten Punkte.