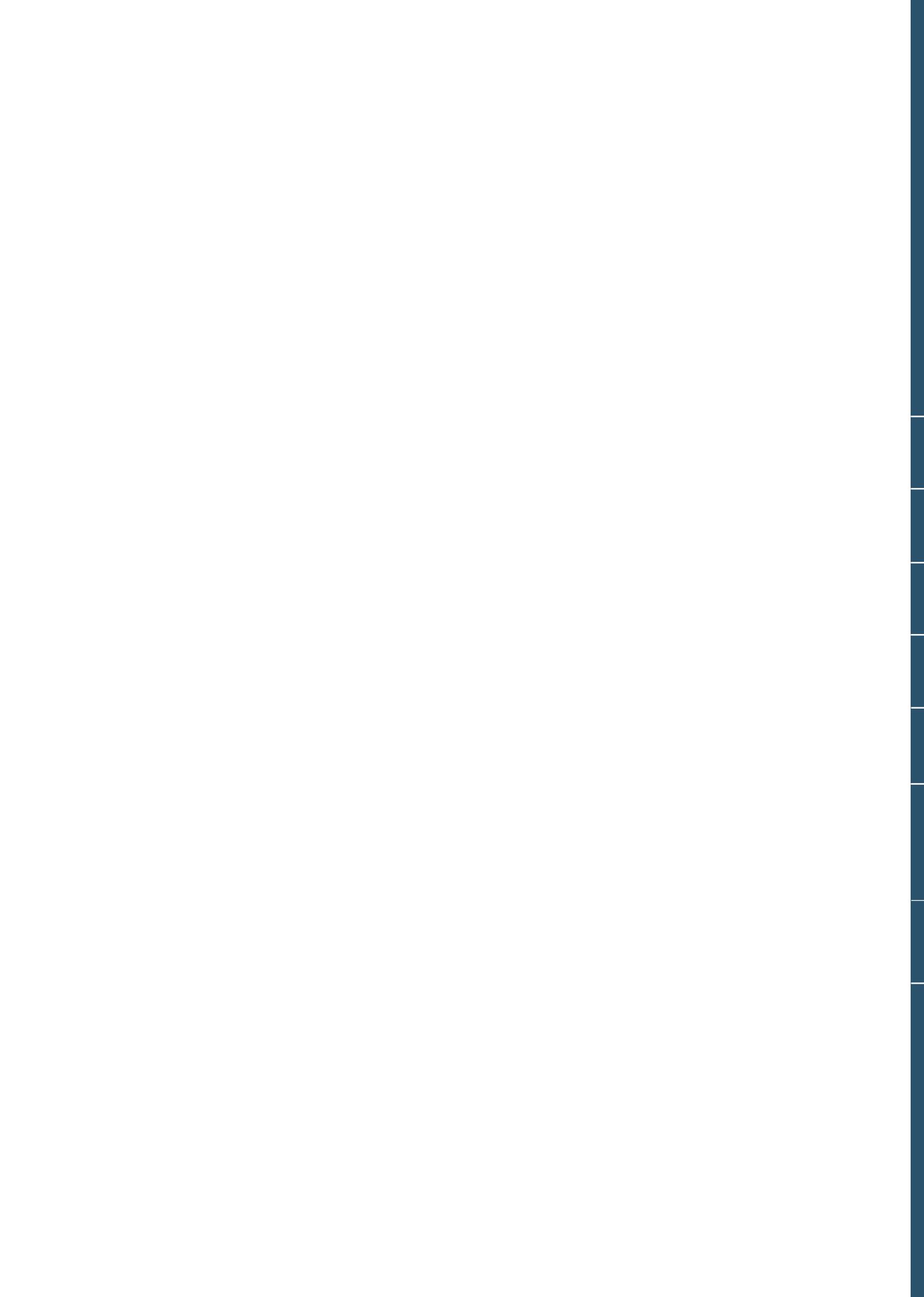




# Verkehrsunfallgeschehen auf Straßen des überörtlichen Verkehrs in Bayern Ausgabe 2023





# Inhalt

1

Präventiver Winterdienst –  
Baustein der Verkehrssicherheit » Seite 02

2

Bestandsaudit in Bayern:  
Wer wann wie welche Strecken auditiert » Seite 14

3

Autonomes Fahren –  
Traum und Wirklichkeit » Seite 26

4

Unfallentwicklung  
im Überblick » Seite 40

5

Bezugsgrößen  
des Unfallgeschehens » Seite 43

6

Unfallkenngrößen » Seite 45

Anhang

A

Unfälle und Verunglückte  
außerorts und innerorts, Bayern 2020/2021  
» Seite 48

Verkehr und Verkehrssicherheit in Bayern  
Wichtige Daten und Kenngrößen  
» Seite 49

Literaturverzeichnis/Datenquellen  
» Seite 52

# Präventiver Winterdienst – Baustein der Verkehrsicherheit



## 1.1 Einleitung

Um auch bei winterlichen Witterungsverhältnissen die Leistungsfähigkeit und vor allem die Verkehrsicherheit des bayerischen Straßennetzes zu erhalten, wird durch die Straßenmeistereien ein umfangreicher Winterdienst durchgeführt. Unter Berücksichtigung der ökonomischen und ökologischen Verpflichtung zum sparsamen Einsatz von Taumitteln, bildet die Verpflichtung der Baulastträger, die Straßen „nach besten Kräften ... zu räumen und zu streuen“ [6, 7] die rechtliche Grundlage des Winterdienstes.

Wobei daraus keine allgemeine Räum- und Streupflicht abgeleitet werden kann, d. h. eine Verpflichtung, alle Straßen überall und jederzeit von Schnee zu räumen und bei Glätte zu streuen, besteht nicht. Von den Straßenmeistereien werden aber umfangreiche Winterdienst- und Einsatzpläne erarbeitet, die einzig dem Ziel dienen, auf die unterschiedlichen Wetterszenarien bestmöglich vorbereitet zu sein.

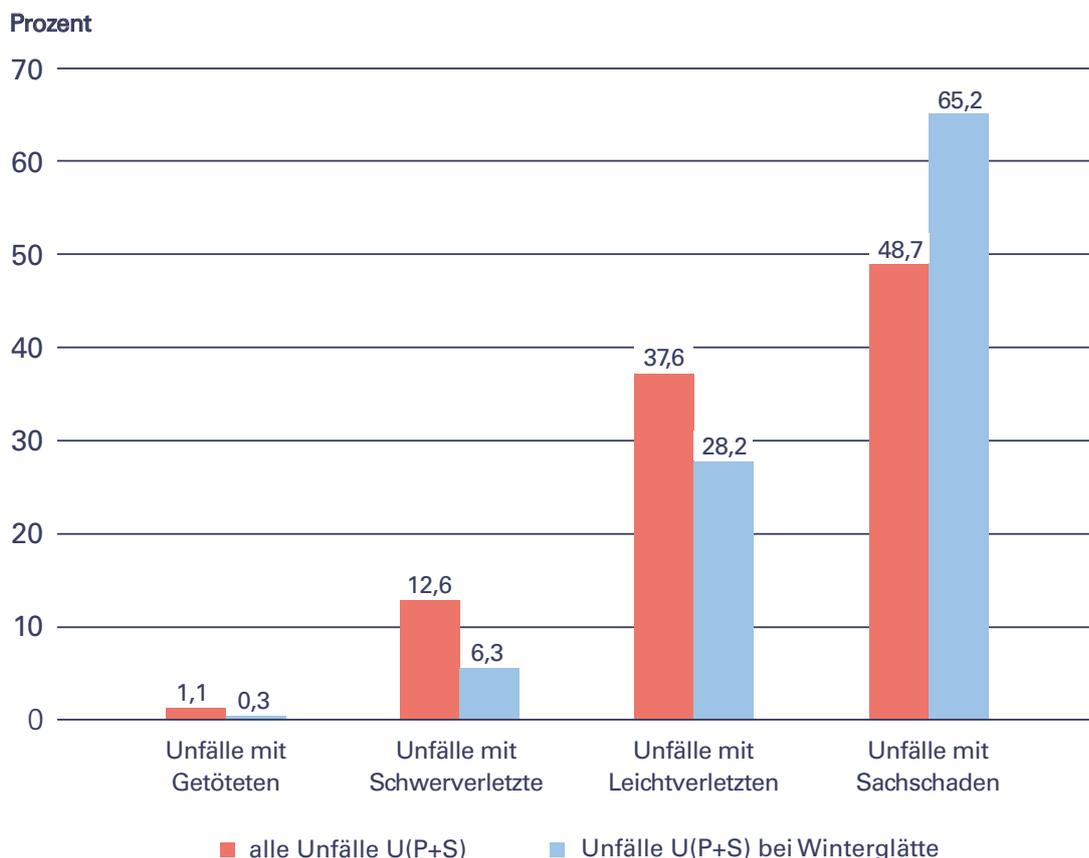
Der Winterdienst hat in seiner Organisation und Ausstattung in den vergangenen Jahren einen enormen Innovationsschub erlebt. In zahlreichen Forschungsvorhaben der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wurde das Tauverhalten und die Liegedauer von Streustoffen untersucht. Im Ergebnis hat sich der Streustoff Natriumchlorid bewährt. Dieser wird aber nicht mehr trocken, sondern angefeuchtet oder als reine Salzlösung (Sole) flüchtig auf die Fahrbahn ausgebracht. Hierdurch konnten im Vergleich zur Ausbringung von trockenem Natriumchlorid (NaCl) sowohl die notwendigen Ausbringmengen ohne Qualitätsverlust reduziert als auch die Liegedauer der Taustoffe auf der Fahrbahn verlängert werden. In Kombination beider Faktoren heißt das für den Kraftfahrer: Winterdienstesätze zur Bekämpfung von Eis- und Reifglätte werden heute schon begonnen, lange bevor für den Kraftfahrer das Ereignis auf der Fahrbahn sichtbar wird. Dennoch verbleiben „Restrisiken“, die jedem Kraftfahrer bewusst sein müssen. Denn Wetterprognosen sind und bleiben auch in Zukunft sehr komplex. Kleinste Temperaturveränderungen, ausgelöst durch ein Aufreißen der Wolkendecke, können bereits ausschlaggebend sein, ob sich auf der Fahrbahn Reifglätte bildet.

Die Kenntnis über das Temperaturverhalten der Fahrbahn zu unterschiedlichen Wetterszenarien wird daher im Fokus künftiger Forschungsarbeiten stehen, um das Unfallrisiko durch winterglatte Straßen weiter zu reduzieren.

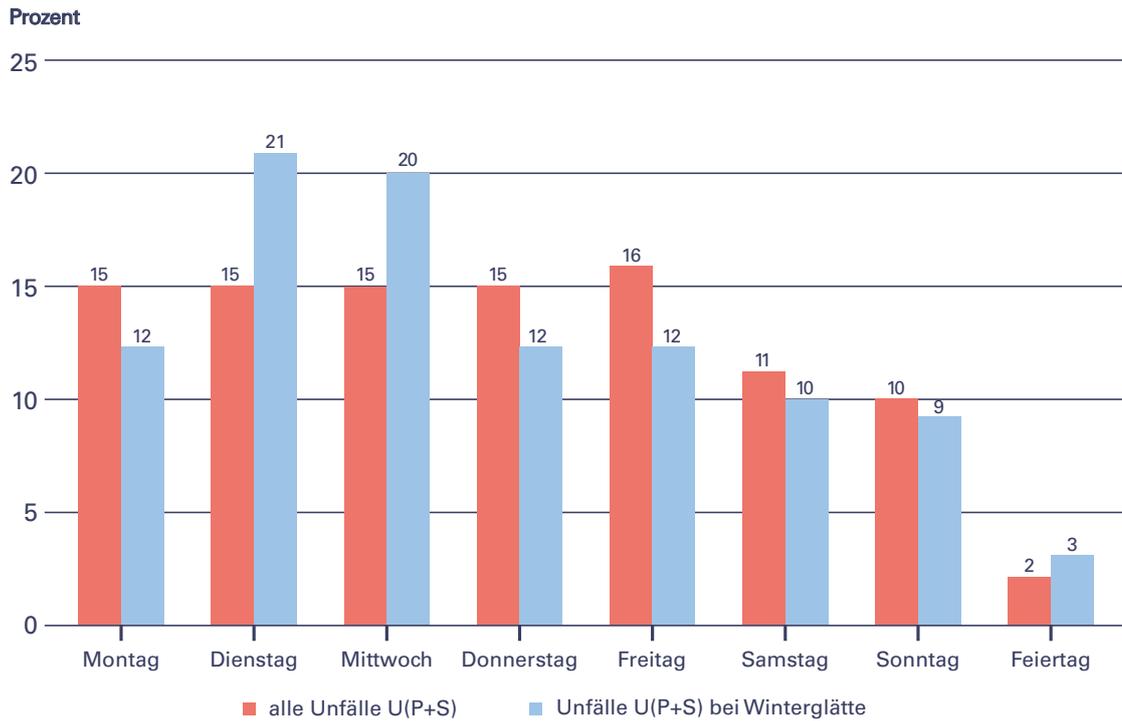
## 1.2 Analyse der amtlichen Verkehrsunfallstatistik

Der Anteil der Unfälle mit Personen- oder Sachschaden U(P+S), bei denen als Straßenzustand „Winterglätte“ dokumentiert wurde, an allen polizeilich aufgenommenen Unfällen U(P+S) liegt im Betrachtungszeitraum 2019-2021 bei sechs Prozent. Hierbei scheint die Straßenklasse nur eine untergeordnete Rolle zu spielen, da sich die Unfallstruktur für Bundes- und Staatsstraßen ähnelt. Positiv kann festgestellt werden, dass bei winterlichen Unfällen überwiegend geringe Unfallfolgen zu beklagen sind » Abb. 1. Unfälle mit Getöteten oder Schwerverletzten ereignen sich seltener verglichen mit nicht winterlichen Straßenbedingungen (Definition der Unfallkategorien siehe Anhang).

» Abb. 1  
Anteil der Unfallkategorien für alle Unfälle mit Personen- oder Sachschaden U(P+S) sowie für die Unfälle U(P+S) bei „Winterglätte“ im Zeitraum 2019-2021 in Bayern



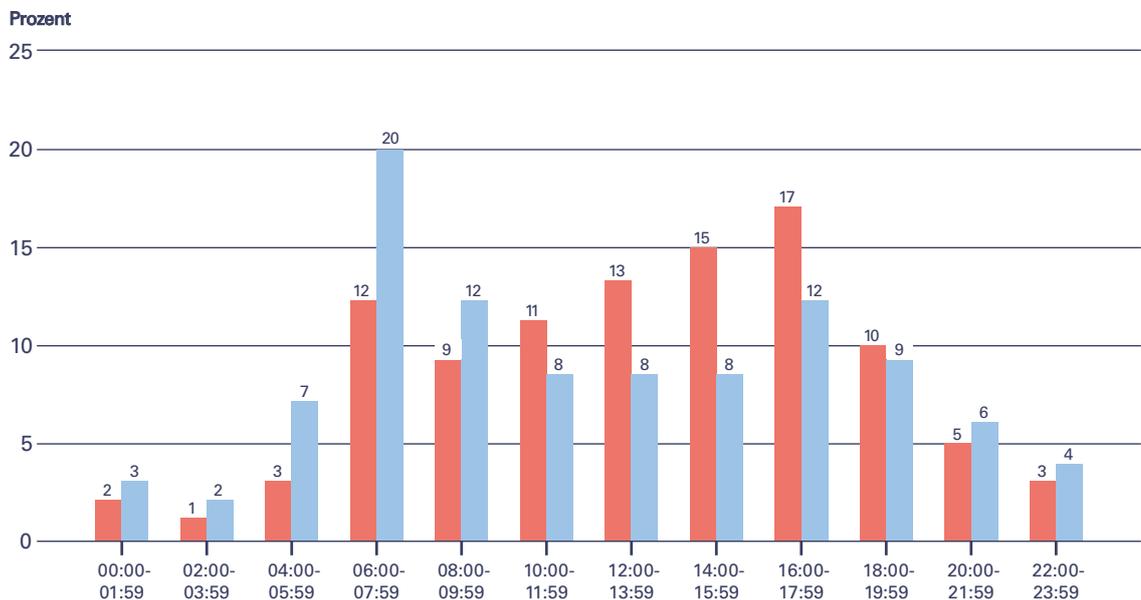
» Abb. 2  
Anteil der Wochentage für alle Unfälle mit Personen- oder Sachschaden U(P+S) sowie für die Unfälle U(P+S) bei „Winterglätte“ im Zeitraum 2019-2021 in Bayern



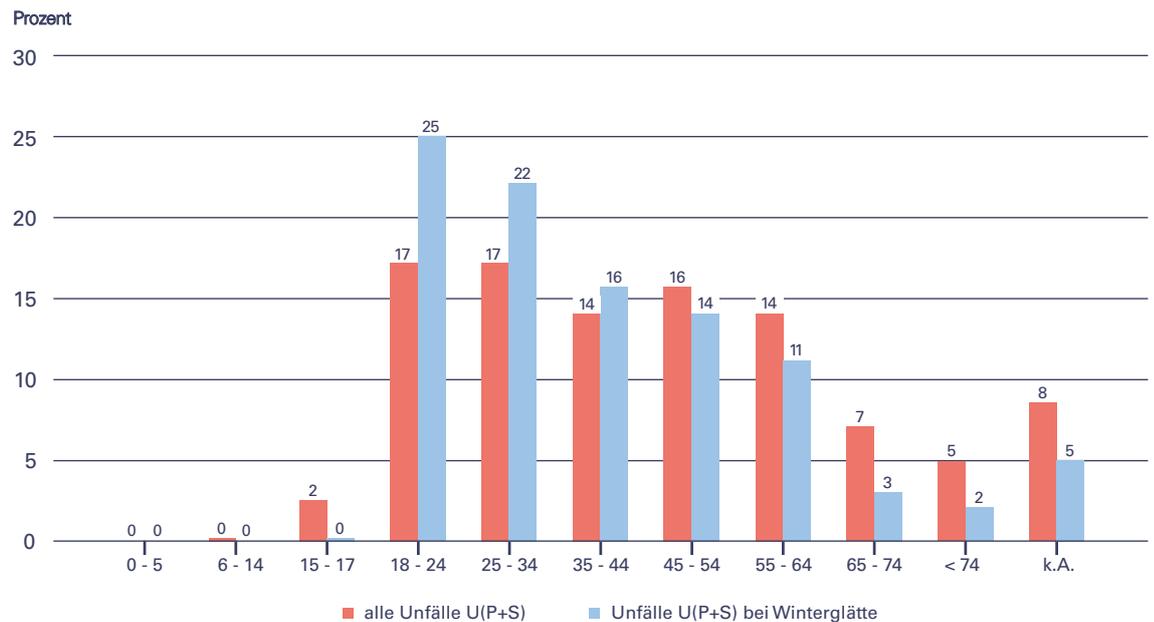
Das deutet darauf hin, dass die Verkehrsteilnehmenden ihr Fahrverhalten den Witterungsverhältnissen in der Regel gut anpassen und die Geschwindigkeit entsprechend reduzieren. Während keine besonders unfallträchtigen Wochentage zu erkennen sind » Abb. 2, zeigt die Verteilung über die Uhrzeit deutlich auf, dass mit Einsetzen des morgendlichen Berufsverkehrs vermehrt Unfälle bei Winterglätte zu verzeichnen sind » Abb. 3.

Auch ist der Unfallauswertung zu entnehmen, dass im Winter häufiger jüngere Fahrer an den Unfällen beteiligt sind » Abb. 4. Mögliche Ursache könnte die fehlende Fahrerfahrung bzw. Einschätzung der Fahrbahnverhältnisse in Kombination mit nicht angepasster Geschwindigkeit sein.

» Abb. 3  
Verteilung aller Unfälle mit Personen- oder Sachschaden U(P+S) sowie der Unfälle U(P+S) bei „Winterglätte“ nach Uhrzeit im Tagesverlauf für den Zeitraum 2019-2021 in Bayern



» Abb. 4  
Verteilung aller Unfälle mit Personen- oder Sachschaden U(P+S) sowie der Unfälle U(P+S) bei „Winterglätte“ nach Alter der Unfallbeteiligten 01-03 in Jahren für den Zeitraum 2019-2021 in Bayern



### 1.3 Einfluss des Klimawandels auf den Winterdienst

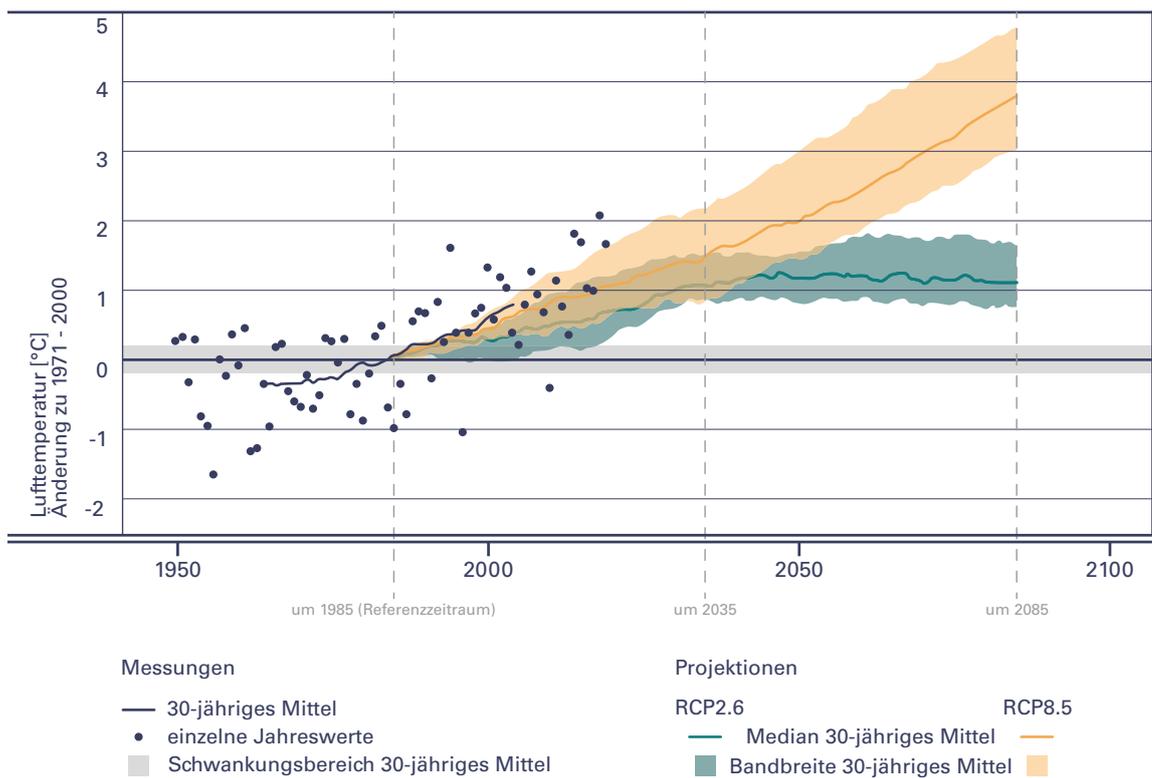
Das Klima ist im Wandel. Eine statistische Analyse der Jahresmitteltemperaturen liefert gemäß Klima-Report Bayern [3] einen hoch signifikanten Erwärmungstrend von  $+1,9\text{ °C}$  über den Zeitraum 1951–2019 (Konfidenzniveau  $\geq 99\%$ ). Dieser hoch signifikante Erwärmungstrend verlief im Herbst (jeweils von September bis November) mit  $+1,2\text{ °C}$  deutlich moderater als im Winter (mit  $+2,1\text{ °C}$  jeweils von Dezember bis Februar).

Diese Klimaveränderungen » Abb. 5 haben auch Auswirkungen auf den Winterdienst. Typische Wintertage, an denen die Temperatur über längere Zeit durchgängig unter  $0\text{ °C}$  liegt, mit abgetrockneten Straßen, die durch das Winterdienstpersonal geräumt und gestreut wurden, werden abnehmen.

Diese Entwicklungen bergen für die Kraftfahrer neue Gefahren. Es werden

- » Frosttauwechsel häufiger als bisher auftreten,
- » Niederschlagsart (Regen und Schnee) häufiger als bisher wechseln und
- » vermehrt feuchte Fahrbahnen mit der Gefahr der punktuellen Glättebildung bei sinkenden Temperaturen anzutreffen sein als bisher.

Auf diese Veränderungen hat der Winterdienst zu reagieren. Kritische Stellen im Streckennetz müssen identifiziert und priorisiert betreut werden. Nach Niederschlägen bedürfen die Strecken einer erneuten Betreuung, um ausgeschwemmtes Streusalz als Präventivschutz gegen Eis- und Reifglätte erneut auf die Fahrbahn aufzutragen.



» Abb. 5  
 Abweichung der beobachteten jährlichen Mitteltemperatur (dunkelblaue Punkte) und des 30-jährigen Mittels (dunkelblaue Linie) der Messwerte zwischen 1951 und 2019 gegenüber dem Referenzzeitraum 1971-2000. Die simulierte Änderung der 30-jährigen Mittel zeigt einen Temperaturverlauf „ohne Klimaschutz“ (orange) und ein Klimaschutzenszenario gemäß 2-Grad-Obergrenze“ (grün) für Bayern [3].

#### 1.4 Moderner Winterdienst auf bayerischen Straßen

##### Aufbau eines flächendeckenden Messnetzes in Bayern

Die Identifizierung potentiell kritischer Stellen im Streckennetz – also Stellen, die aufgrund ihrer Lage oder Bauweise (z.B. Brücken) früher dazu neigen auf der Fahrbahn Glätte zu bilden – stellt für den Winterdienst eine große Herausforderung dar. Grund hierfür sind verschiedene meteorologische und geografische Einflussfaktoren wie Umgebungstemperatur, Luftfeuchtigkeit, Zustand des Straßenbelags, Windgeschwindigkeit oder Höhe über NN, welche lokal unterschiedlich sind und sich durch gegenseitige Wechselwirkungen innerhalb kurzer Zeit ändern können. Weiterhin gibt es verschiedene

Glättearten wie Reifglätte, gefrierende Nässe, Schneeglätte und Glatteis. Aus diesen Gründen liefern klassische statistische Berechnungen für diese Herausforderung keine aussagekräftigen Ergebnisse. Prognosen für größere Gebiete wie z.B. Landkreise stehen dem Winterdienst bereits heute zur Verfügung, sind jedoch für einen präventiven Winterdienst und eine optimierte Streumengenberechnung nicht ausreichend. Daher wurden in den letzten zehn Jahren in Bayern entlang von Bundes-, Staats- und Kreisstraßen über 300 Straßenwetterstationen (SWS) errichtet. Damit verfügt Bayern zusammen mit den SWS entlang der Bundesautobahnen über ein flächendeckendes Netz von Messsensoren, das die Meistereien mit regionalen Wetterdaten versorgt.

» Abb. 6  
Beispiel einer „mobilen“ Bodensonde DRS 611 der Firma Vaisala



### Einsatz mobiler Messsensoren an Straßenwetterstationen

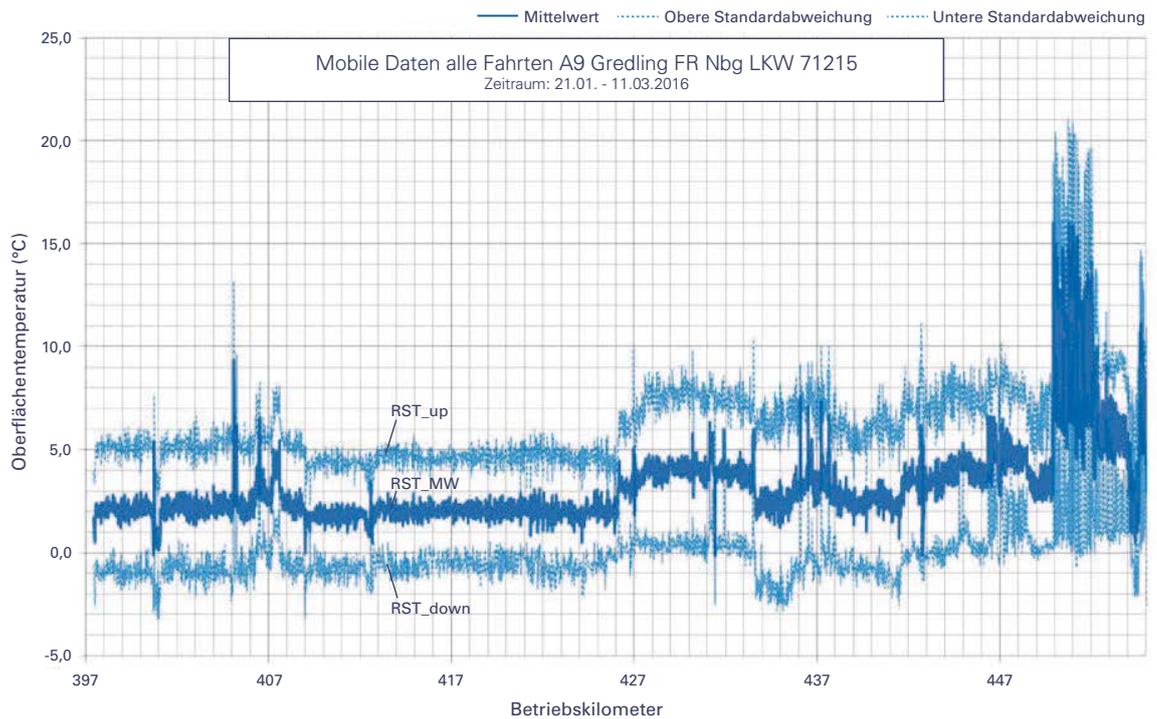
Die Installation einer Straßenwetterstation ist vom wirtschaftlichen Anschluss der Anlagen an das örtliche Stromnetz abhängig. Dies führte bisher dazu, dass erforderliche Anlagen teils nicht an den Stellen errichtet werden konnten, die seitens der Meisterei als besonders kritisch identifiziert wurden, da der erforderliche Stromanschluss nicht verfügbar ist. Abhilfe könnten moderne SWS-Anlagen mit integriertem Akku schaffen, die seit 2022 auf dem Markt verfügbar sind. Hierbei werden die Messsensoren einer Straßenwetterstation aufgelöst und energetisch eigenständig installiert. Der Akku der Bodensonde soll dabei eine Haltbarkeit von ca. 3 Jahren aufweisen. Danach muss die Bodensonde ausgebaut und der Akku getauscht werden. Das gleiche Prinzip wird bei dem Umfeld-Sensor angewendet, der an jedem Mast installiert werden kann. In einer Pilotanwendung werden in Bayern ab 2023 mehrere dieser „mobilen“ Sensoren eingebaut. Sie sollen dazu beitragen, die Straßenwettervorhersagen zu optimieren und den Winterdienst in seiner Effizienz weiter zu verbessern.

### Neue Wege bei der Aus- und Bewertung von Wettermessdaten

Dennoch können mit Hilfe der Messsensoren nur Informationen an kritischen Punkten ermittelt werden. Ein Gesamtüberblick über den vollständigen Streckenzug ist nur durch Thermalkartierungen möglich. Dabei werden die Straßen hinsichtlich der Fahrbahnoberflächentemperatur kartiert und anschließend mit den Sensordaten der vorhandenen Straßenwetterstationen in Bezug gesetzt. Hierzu werden Infrarot-Messsensoren am Fahrzeug angebracht, die jede Sekunde zehn Temperaturmessungen der Fahrbahnoberfläche durchführen. Anschließend werden die Messstrecken in 500-Meter-Abschnitte aufgeteilt und die Ergebnisse mit den Prognosedaten des Deutschen Wetterdienstes für die einzelnen Straßenwetterstationen verschnitten. Erste Pilotanwendungen dieser neuen Prognosemethode zeigten regional teils sehr gute Ergebnisse, bei anderen Regionen traten aber noch zu große Abweichungen zwischen Prognose und tatsächlichem Witterungsereignis auf. Gestützt durch das seitens der BASt beauftragte Forschungsprojekt „Streckenbezogene Glättevorhersage“ [45] lag die Vermutung nahe, dass eine Streckenvorhersage der Temperatur, abgeleitet aus dem Temperaturprofil einer einmalig durchgeführten Befahrung der Strecke (Thermalkartierung), höhere Fehler ergibt als wetterklassierte Temperaturprofile, welche statistisch aus einer Vielzahl von mobilen Stichproben abgeleitet werden » Abb. 7.

Im Rahmen eines aktuell laufenden Forschungsprojektes mit der Hochschule Hof sollen nun die Ansätze aus dem Forschungsprojekt der BASt auf Basis Künstlicher Intelligenz (KI) in eine praktische Anwendung überführt werden.

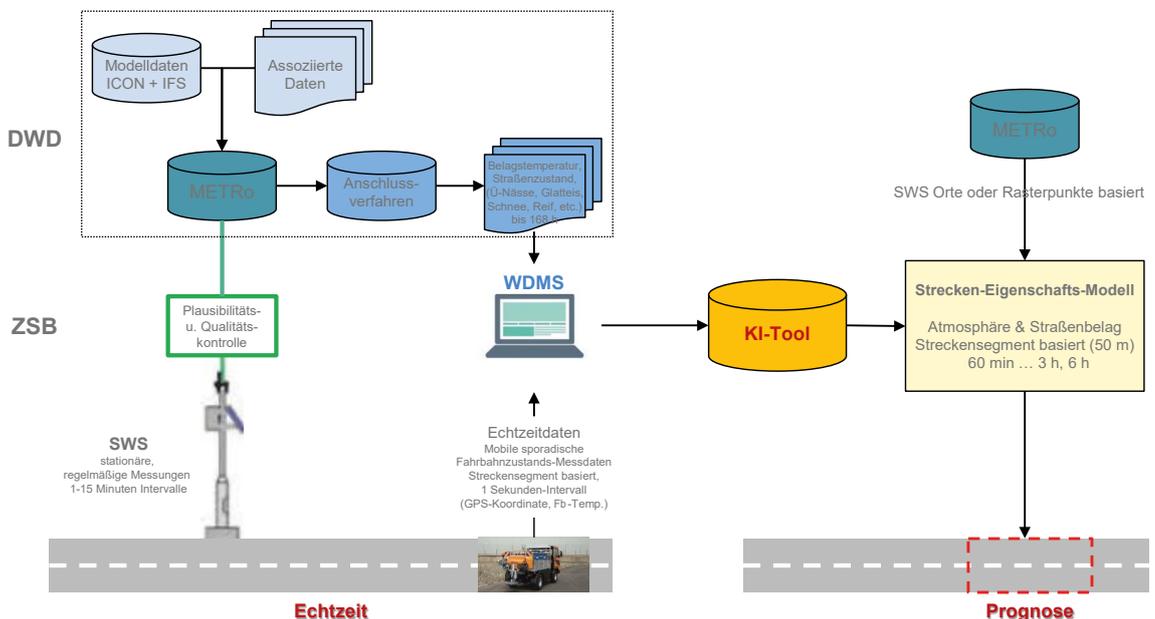
» Abb. 7  
Belagstemperaturen aus allen Fahrten des Streu-Lkw der AM Greding mit allen Wettersituationen auf der Autobahn A 9 Fahrtrichtung Nürnberg mit Standardabweichung [45]



Projektziel ist hier vor allem eine deskriptive Datenanalyse, um passende Einflussfaktoren auf die streckenbezogene Glättevorhersage zu erkennen. Hierzu werden Temperaturdaten der Fahrbahn aus den Winterdienstfahrzeugen an die KI übersandt. Um die Komplexität der Wechselwirkungen berücksichtigen zu können, soll ein hybrides Modell bestehend aus Radial Basis Function (RBF) Kernel, Random Forest und neuro-

nalen Netzen zum Einsatz kommen. Geplant ist, die Ergebnisse schließlich im Winterdienstmanagement-System Bayern (WDMS-By) bereitzustellen. » Abb. 8 verdeutlicht den Gegenstand des Forschungsprojektes. Sofern sich das Modell bewährt, könnten zukünftig auch die Sensordaten aus Millionen Fahrzeugen auf Deutschlands Straßen genutzt sowie datenschutzkonform und in Echtzeit der KI bereitgestellt werden.

» Abb. 8  
Modell KI zur Vernetzung der Fahrzeuge unter Nutzung von Massendaten



## Einführung der Soletechnologie in Bayern

Bei der Bekämpfung von Straßenglätte sowie im Rahmen von Räumeeinsätzen kommen in der Regel auftauende Streustoffe zum Einsatz. Das auf die Fahrbahn ausgebrachte Salz löst sich in der vorhandenen Feuchtigkeit und senkt damit den Gefrierpunkt der entstehenden Sole. Dabei setzt Bayern auf angefeuchtetes Streusalz „FS 30“, das sich zu 70 Prozent aus Trockensalz und zu 30 Prozent aus Salzlösung zusammensetzt. Angefeuchtetes Salz haftet besser an der Fahrbahn und kann exakter dosiert werden als Trockensalz; es wird nicht so schnell verweht und der Salzverbrauch ist dadurch geringer. In den letzten Jahren; unterstützt durch Forschungsvorhaben der BASt [27], konnte sich die FS-100-Technologie; also die reine Solesteuerung für vorbeugende Einsätze bei allen Glättearten durchsetzen und bildet damit einen elementaren Bestandteil der Winterdienststrategie. Durch die langen Liegezeiten der Sole auf der Fahrbahn ist es den Straßenmeistereien möglich, bereits weit vor einem erwarteten Glätteereignis das notwendige Taumittel auf die Fahrbahn auszubringen und damit die Glättebildung beim Auftritt der Feuchtigkeit auf die abgekühlte Straße zu verhindern.

## 1.5 Winterdiensteinsatz an Tagen mit Unfällen bei „Winterglätte“

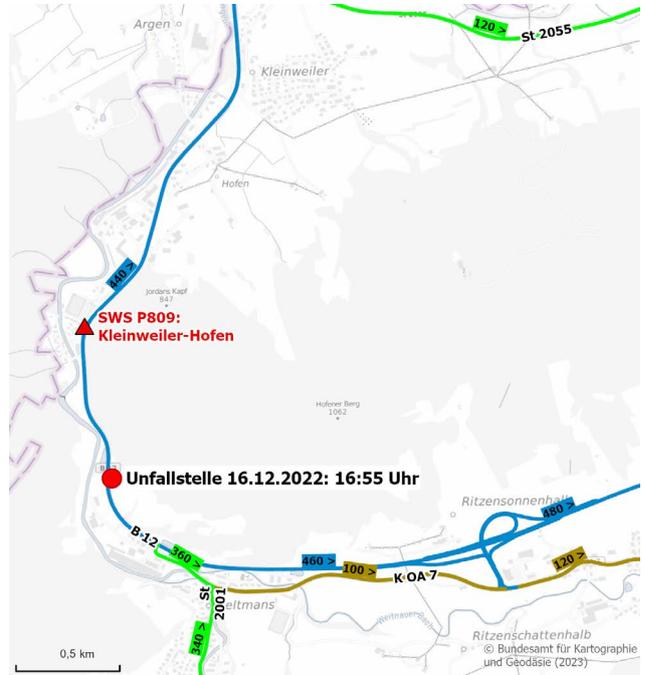
Am Beispiel der Bundesstraße B12 westlich von Kempten (Abschnitt 440) sowie der Bundesstraße B19 nördlich Immenstadt (Abschnitt 240 und 270) soll an Fallbeispielen verdeutlicht werden, welche Situation die Winterdienstleistungsleitung an Tagen mit Verkehrsunfällen auf diesen Streckenabschnitten vorfand und wie darauf reagiert wurde. Anzumerken ist, dass auf beiden ausgewählten Strecken entsprechend dem Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen kein 24 h-Winterdienst stattfindet. Es handelt sich um Strecken, auf denen die Befahrbarkeit zwischen 06:00 und 22:00 Uhr gewährleistet werden soll. Die Streckenauswahl erfolgt aufgrund der Tatsache, dass in diesen Bereichen Straßenwetterstationen installiert sind, die einen detaillierten Überblick über die Wettersituation an den jeweiligen Unfalltagen geben können. Durch eine Analyse der automatischen Datenerfassung wurde anschließend ermittelt, wann und wie die Straßenmeistereien auf das jeweilige Wetter reagiert hatten.

## » Fallbeispiel Bundesstraße B 12, Abschnitt 440

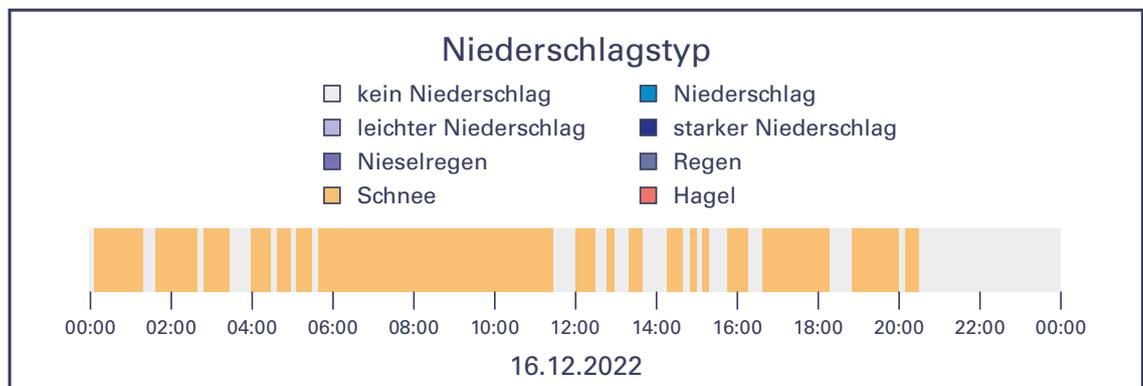
Laut Unfallbericht der bayerischen Polizei kam am 16.12.2022 um 16:55 Uhr ein Fahrzeug von der Fahrbahn der Bundesstraße B 12 (bei Station 2,700 im Abschnitt 440) nach rechts ab » Abb. 9 und 10. Es entstand Sachschaden.

» Abb. 9 (rechts)  
Lage des Unfalls am 16.12.2022 auf der Bundesstraße 12 im Abschnitt 440 und Lage der SWS „Kleinweiler-Hofen“

» Abb. 10 (unten)  
Streckenfoto aus dem Jahr 2019 im Bereich des Unfalls am 16.12.2022 auf der Bundesstraße B 12 im Abschnitt 440



» Abb. 11  
Detektierter Niederschlag an der SWS „Kleinweiler-Hofen“ vom 16.12.2022 nach Uhrzeit



» Abb. 12  
Wettersituation am 16.12.2022 an der SWS „Kleinweiler-Hofen“ um 14:10 Uhr, 16:20 Uhr und 16:50 Uhr



Die Temperaturen lagen an diesem Tag um den Gefrierpunkt und es fiel Schnee » Abb. 11. Die Strecken wurden seit den Morgenstunden von den Einsatzfahrzeugen der Meisterei regelmäßig betreut. Zum Unfallzeitpunkt hatte es geschneit. Auf den Kamerabildern ist zu erkennen, dass die Fahrbahn geräumt wurde und zum Unfallzeitpunkt die Fahrsuren frei waren » Abb. 12. Die Fahrbahn war damit seitens des Winterdienstes gut betreut. Ein Fahren unter winterlichen Bedingungen war möglich.

Unfalldatum	Unfall- uhrzeit	Vorhersage des Deutschen Wetterdienstes	WD- Einsatz	Dauer und Häufigkeit des WD-Einsatzes
13.01.2019	03:00	Niederschlag Schnee	ja	Mehrfach in den Abendstunden; letztmalig R+S 01:20 Uhr
02.02.2019	01:30	Niederschlag Schnee	ja	Unfall außerhalb der Betreuungszeiten; WD ab 03:30 Uhr
06.01.2021	07:46	Niederschlag Schnee	ja	WD ab 04:55 Uhr
15.01.2021	11:20	Niederschlag Schnee	ja	WD ab 03:45 Uhr, mehrere Umläufe
13.02.2021	10:20	Temp. um -10°C, kein Niederschlag	ja	WD ab 04:08 Uhr
28.11.2021	16:00	Niederschlag Schnee	ja	WD früh: ab 04:37 Uhr WD spät: ab 16:20 Uhr
07.12.2021	05:30	Niederschlag Schnee	ja	WD ab 04:37 Uhr

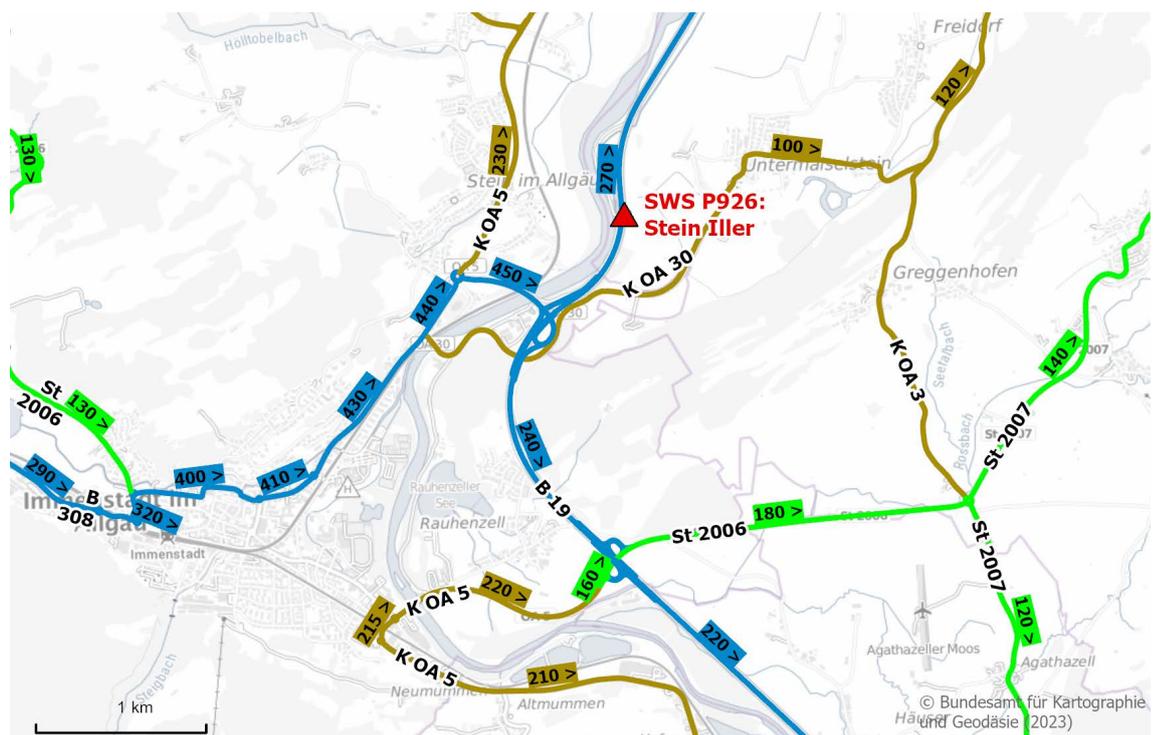
» Tab. 1

Winterdienst-Einsätze der Straßenmeistereien auf der Bundesstraße B 12 im Abschnitt 440 an Tagen mit Unfällen bei „Winterglätte“ in den Jahren 2019-2021

Betrachtet man die Verkehrsunfälle bei „Winterglätte“ im ausgewählten Streckenbereich der Bundesstraße B 12 in den Jahren 2019-2021 und den Winterdienstesinsatz (WD-Einsatz) zu diesen Zeiten so ist aus der vorliegenden » Tab. 1 ersichtlich, dass an den betreffenden Tagen die Straßenmeistereien stets im Einsatz waren. Je nach eingetroffenem Niederschlagsereignis teils in ganztägigem Einsatz mit mehreren Räumeeinsätzen.

## » Fallbeispiel Bundesstraße 19, Abschnitt 240-270

» Abb. 13  
Lage der SWS  
„Stein-Iller“ auf der  
Bundesstraße B 19  
im Bereich der Ab-  
schnitte 240 bis 270



Im Untersuchungszeitraum 2019-2021 ereigneten sich im Bereich der Abschnitte 240 bis 270 der Bundesstraße B 19 insgesamt 11 Verkehrsunfälle bei „Winterglätte“. Die SWS „Stein-Iller“

» Abb 13 und 14. liefert die zugehörigen Wetterdaten. Aus » Tab. 2 geht hervor, dass der Winterdienst auch an jedem der Tage mit Verkehrsunfällen bei „Winterglätte“ auf der Bundesstraße B 19 im Bereich der betrachteten Abschnitte 240 bis 270 im Einsatz war.

» Abb. 14  
Streckenfoto von der Bundesstraße B 19 aus dem Jahr 2019 im Bereich der SWS „Stein-Iller“



Unfalldatum	Unfall- uhrzeit	Vorhersage des Deutschen Wetterdienstes	WD- Einsatz	Dauer und Häufigkeit des WD-Einsatzes
07.11.2019	06:00 // 06:00 // 07:25	Niederschlag Regen/Schnee	ja	WD ab 06:54 Uhr
29.01.2020	07:10 // 07:27	Niederschlag Schnee/Regen	ja	WD ab 03:43 Uhr
27.02.2020	06:20	Übergang von - zu +; Feuchte Fahrbahn	ja	WD ab 04:12 Uhr
07.12.2020	06:30	Niederschlag Schnee/Regen	ja	WD ab 03:25 Uhr
13.01.2021	22:25	Niederschlag Schnee/Regen	ja	WD ab 20:29 Uhr
14.01.2021	19:08	Niederschlag Schnee	ja	WD ab 14:55 Uhr
15.03.2021	18:00	Niederschlag Schnee/Regen	ja	WD ab 14:55 Uhr
15.03.2021	04:45	Niederschlag Schnee	ja	WD ab 03:01 Uhr

» Tab. 2  
Winterdienst-Einsätze der Straßenmeistereien auf der Bundesstraße B 19 in den Abschnitten 240 bis 270 an Tagen mit Unfällen bei „Winterglätte“ in den Jahren 2019-2021

## 1.6 Zusammenfassung

Die Fallbeispiele zeigen, dass in allen Fällen die Straßenmeistereien zeitnah auf die Witterungsereignisse reagiert haben und das Streckennetz betreut wurde. Aber wie gut ist nun der Winterdienst, wenn trotz aller Innovationen und trotz intensiver Winterdiensteinsätze an den Straßenmeistereien weiterhin Unfälle auf winterlichen Straßen geschehen und lässt sich ein Winterdiensteinsatz überhaupt qualitativ bewerten?

Eine schwierige Frage, deren Beantwortung auch schon Grundlage mehrerer Forschungsvorhaben war. Bei der Bewertung des Winterdiensteinsatzes muss unterschieden werden zwischen einem Präventiveinsatz, der zum Ziel hat, eventuell auftretende Glätte im Streckennetz zu verhindern und einem kurativen Einsatz, also einem Einsatz nach einem Wetterereignis, in der Regel also beim Schneefall.

Bei Niederschlagsereignissen ist ein Winterdienst als erfolgreich zu bewerten, wenn dieser rechtzeitig erkannt, die Straßenmeisterei sich organisatorisch auf das Ereignis eingestellt hat und mit Beginn des Ereignisses mit dessen Bekämpfung begonnen wurde. Dabei muss den Kraftfahrenden bewusst sein, dass während des Niederschlagsereignisses das Ziel des Winter-

dienstes nicht die Herstellung der „schwarzen Fahrbahn“, sondern die Gewährleistung einer befahrbaren winterlichen Straße ist. Dies bedingt die stetige Achtsamkeit der Kraftfahrenden durch Anpassung der Fahrgeschwindigkeit und Erhöhung des Sicherheitsabstandes auf die örtliche Situation und die Nutzung eines mit Winterreifen ausgestatteten Fahrzeuges.

Die Beurteilung präventiver Einsätze fällt dagegen schwieriger aus, da aufgetretene Unfälle nicht mit „verhinderten“ Unfällen in Relation gesetzt werden können und diese präventiven Einsätze (in den Abendstunden bei „noch“ Plusgraden) von den Fahrzeugführenden teils in Zweifel gezogen werden. Hier kann nur weiter mittels Aufklärung für die seitens des Winterdienstes durchgeführten Einsätze „geworben“ werden, da alle bisher durchgeführten Forschungsprojekte belegen, dass durch präventive Einsätze, insbesondere bei Verwendung von Sole eine lange Liegedauer des auftauenden Stoffes gewährleistet ist und damit die Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer bestmöglich vor plötzlich auftretender Glätte geschützt werden.

## Bestandsaudit in Bayern: Wer wann wie welche Strecken auditiert



### 2.1 Vorlage Planungsaudit von Straßen

Die Wirksamkeitsanalysen von Abhilfemaßnahmen an erkannten Unfallhäufungen zeigen deutlich auf, wie wichtig die Beachtung des technischen Regelwerkes für die Verkehrssicherheit von Straßen ist. Dennoch lassen sich aufgrund vielfältiger Randbedingungen nicht immer die Grundsätze einer sicheren Straßengestaltung vollumfänglich umsetzen. In der Folge sind Planungsdefizite möglich, die das Risiko von Verkehrsunfällen erhöhen. Dem sollen Sicherheitsaudits vorbeugen.

Dabei untersuchen speziell ausgebildete Straßenbauingenieure und -ingenieurinnen, die Auditoren und Auditorinnen, Straßenplanungen gezielt auf mögliche Sicherheitsdefizite.

Werden so Defizite identifiziert, entscheidet anschließend die Leitungsebene der staatlichen Bauämter, ob sich die potentiellen Schwachstellen planerisch beseitigen lassen oder ob gegebenenfalls andere Verbesserungsmaßnahmen ergriffen werden.

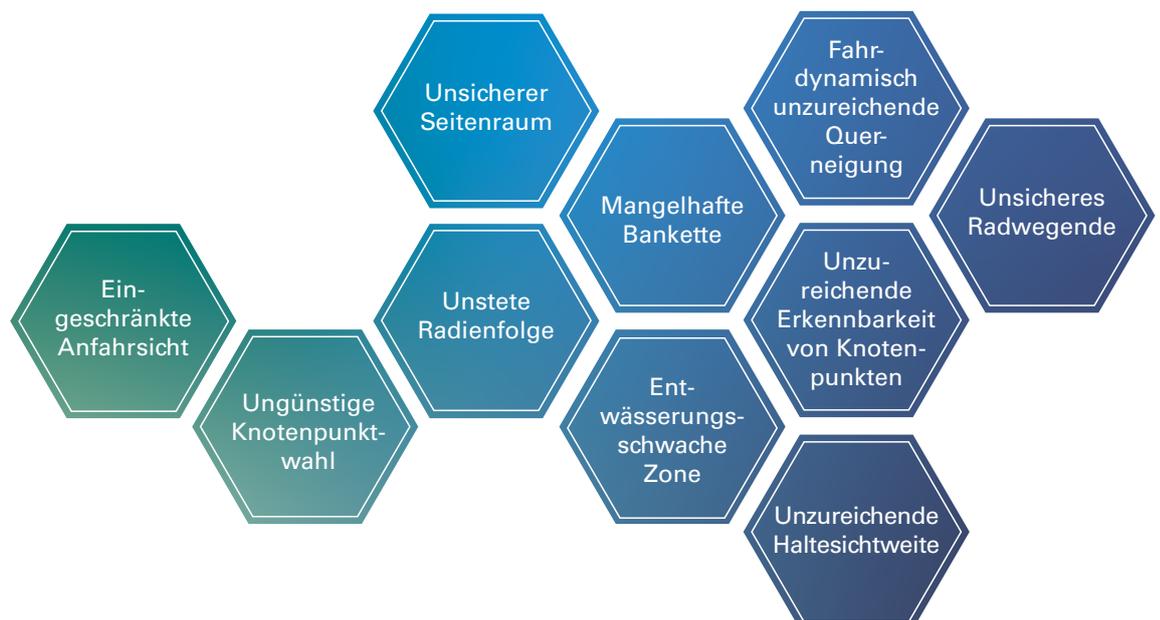
» Abb. 15  
Angehende Auditorinnen bei der praktischen Übung zur Barrierefreiheit im Rahmen der Ausbildung zu Auditierenden in Bayern

Dieses Verfahren wurde im Jahr 2003 für die Straßenplanungen des Freistaats Bayern auf der Grundlage der „Empfehlungen für das Sicherheitsaudit von Straßen in Deutschland (ESAS)“ [20] verbindlich eingeführt. Die Auditierung selbst erfolgt dabei überwiegend verwaltungsintern, d.h. durch entsprechend qualifizierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus der staatlichen Verwaltung. Die verwaltungsinterne Ausbildung zum Auditor bzw. zur Auditorin in Bayern erfolgt unter Beachtung des „Merkblatts für die Ausbildung und Zertifizierung für das Sicherheitsaudit von Straßen (MAZS)“ [23] und erstreckt sich über einen Zeitraum von insgesamt rund einem halben Jahr. Das Schulungsprogramm wird ständig fortentwickelt und an sich ändernde Gegebenheiten und Rahmenbedingungen angepasst. So wurde beispielsweise im Jahr 2011 ein eigenes Modul „Barrierefreiheit“ » Abb. 15 und im Jahr 2015 ein Modul „Bestandsaudit“ aufgenommen. Beim Sicherheitsaudit in Bayern liegt das Hauptaugenmerk auf der Vermeidung sogenannter „Kerndefizite“. Diese Kerndefizite begünstigen erwiesenermaßen schwere Unfälle. Sie sollen im Rahmen des Auditverfahrens grundsätzlich durch eine richtliniengerechte Planungsänderung beseitigt werden. Wo aufgrund der örtlichen Rahmenbedingungen aufwändige Umplanungen nicht zu rechtfertigen



sind, sollen zumindest verkehrstechnische und -rechtliche Maßnahmen für ein möglichst hohes Sicherheitsniveau sorgen. Folgende zehn Defizite » Abb. 16 werden in Bayern als „Kerndefizit“ eingestuft:

» Abb. 16  
Kerndefizite in Bayern



## 2.2 Vorgaben und Vorschriften zum Bestandsaudit

Das Sicherheitsaudit wird auch auf **Ebene der Europäischen Union (EU)** als wichtiges Element des Sicherheitsmanagements von Straßen angesehen. Dementsprechend war es bereits Gegenstand der von der EU-Kommission am 19.11.2008 bekannt gegebenen „Richtlinie 2008/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über ein Sicherheitsmanagement für die Straßenverkehrsinfrastruktur“ [47]. Der Geltungsbereich dieser Richtlinie erstreckte sich auf das transeuropäische Straßennetz (TEN-T), welches sich weitgehend mit dem deutschen Autobahnnetz deckt. Mit der Fortschreibung bzw. Änderung der o.g. Richtlinie 2008/96/EG im Jahr 2019 wurde der Geltungsbereich auf die dem TEN-T-Netz nachgeordnete Straßenkategorie erweitert. In Deutschland bezieht sie sich damit nun auf alle Bundesfernstraßen (Bundesautobahnen und -straßen). Die Bundesländer führten dementsprechend Ende 2021 das Sicherheitsmanagement für die Straßenverkehrsinfrastruktur nach Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates hierfür ein.

Auch inhaltlich ergaben sich mit der Fortschreibung der EU-Richtlinie 2008/96/EG [41] einige wesentliche Veränderungen. Ein zentraler Punkt war, dass damit die netzweiten Bewertungsverfahren um proaktive Elemente ergänzt und gezielte Sicherheitsüberprüfungen des bestehenden Straßennetzes an hoch priorisierten Abschnitten der Sicherheitsbewertung eingeführt wurden. Das in Deutschland vorgesehene Verfahren zur Netzbewertung von Straßen nach [42] wurde fristgerecht Ende 2021 an die EU-Kommission gemeldet. Anhand dieses Verfahrens erfolgt eine Sicherheitseinstufung für alle Abschnitte des betrachteten Straßennetzes in verschiedene Prioritäten. Im Gegensatz zu der bisher angewandten Sicherheitsbewertung wird die Einstufung nicht mehr ausschließlich anhand von Unfallkenngrößen vorgenommen, sondern zudem auf Basis einer – entweder vor Ort oder mit elektronischen Mitteln durchgeführten – Analyse von Infrastrukturmerkmalen der Straße.

Die Bundesanstalt für Straßenwesen führt derzeit die Netzbewertung nach o.g. Verfahren durch und wird deren Ergebnisse Ende 2024 den Bundesländern zur weiteren Untersuchung mit Identifizierung möglicher Verbesserungsmaßnahmen zur Verfügung stellen. Sofern sich nach einer Vorprüfung der Bundesfernstraßen der Verbindungsfunktionsstufen 0 (kontinental) oder 1 (großräumig) der „Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN)“ [22] keine qualifizierten Abhilfemaßnahmen ableiten lassen, sollen diese Abschnitte einer detaillierten Analyse zur Ermittlung von Verbesserungsmöglichkeiten unterzogen werden. Diese soll dann anhand von Sicherheitsaudits im Bestand erfolgen.

Etwa zeitgleich zur Fortschreibung der Richtlinie 2008/96/EG schuf die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV) aus den ESAS die „Richtlinien für das Sicherheitsaudit von Straßen (RSAS)“ [21]. Dieses Regelwerk hat als „Richtlinie“ eine angemessen deutlich höhere Verbindlichkeit als die vorherigen „Empfehlungen“ und wurde mittlerweile sowohl auf **Bundesebene**, als auch in Bayern eingeführt. Es enthält auch Hinweise für das Verfahren eines Sicherheitsaudits im Bestand vorhandener Straßen (Bestandsaudit). Damit steht nun ein Werkzeug zur Verfügung, bestehende Verkehrsanlagen durch Auditoren begutachten zu lassen. Das Bestandsaudit ist ein anlassbezogenes Verfahren. Dabei wird in den RSAS zwischen dem präventiven und reaktiven Instrument unterschieden, welches sich in Abhängigkeit des konkreten Anlasses ergibt.

Mögliche Anlässe für ein Sicherheitsaudit im Bestand als reaktives Instrument sind:

- » Hohe Sicherheitspotenziale aus vorliegenden Untersuchungen,
- » sicherheitsrelevante Auffälligkeiten aus vorliegenden Sonderuntersuchungen,
- » vorliegende Sonderbetrachtungen von Fahrzeug- oder Verkehrsteilnehmergruppen,
- » Unterstützungsanfragen durch Unfallkommissionen und
- » Hinweise auf sicherheitsrelevante Auffälligkeiten aus dem Straßenbetrieb.

Mögliche Anlässe für ein Bestandsaudit in Form eines präventiven Instrumentes sind:

- » Änderung der Verkehrsbedeutung,
- » strukturelle Veränderungen im verkehrlichen und/oder städtebaulichen Umfeld und
- » vorgesehene Bau- und Erhaltungsmaßnahmen.

Im aktuellen Verkehrssicherheitsprogramm des Freistaats Bayern » **Abb. 17** wird die Überprüfung bestehender Verkehrsanlagen als Maßnahme zur Verbesserung der Verkehrssicherheit mehrfach thematisiert [2]. In diesem Zusammenhang sind vor allem Verkehrsschauen, Verbesserungen durch den Straßenbetriebsdienst sowie im Rahmen des Straßenerhaltungsmanagements zu nennen. Es finden sich aber auch in mehreren der insgesamt acht Handlungsfelder des Verkehrssicherheitsprogramms konkrete Hinweise zur Netzanalyse gemäß der geänderten EU-Richtlinie 2008/96/EG. Im Handlungsfeld 2 beispielsweise ist die „Begutachtung stark befahrener Ortsdurchfahrten mit auffälligem Unfallgeschehen bzw. im Vorfeld von Aus- und Umbau“ aufgeführt. Das Handlungsfeld 3 benennt die Durchführung „detaillierter Bestandsinspektionen ausgewählter Radrouten“. Und im Handlungsfeld 4 wird erklärt, dass „wir eine landesweite Analyse der Motorradnutzung und des Motorradunfallgeschehens durchführen. Die als besonders kritisch erkannten Strecken werden durch speziell geschultes Fachpersonal im Zuge von Bestandsaudits inspiziert, um Gefahrenstellen aufzudecken und zu beseitigen“ [2].



» **Abb. 17**  
Broschüre „Verkehrssicherheitsprogramm 2030, Bayern mobil – sicher ans Ziel“ [2]

## 2.3 Pilotphase Bestandsaudit in Bayern

In Bayern werden Erfahrungen zum neuen Bestandsaudit zunächst anhand von Pilotprojekten gesammelt. Dabei obliegt die Bearbeitung und Durchführung des Bestandsaudits federführend den ausgebildeten Auditorinnen und Auditoren. Für spezielle Verfahrensinhalte kann aber auch entsprechend qualifiziertes Fachpersonal hinzugezogen werden. Die Begutachtung der zu auditierenden Bestandsstrecken sollte sich aus Streckenbegehung und Streckenbefahrung zusammensetzen. Durch die Streckenbefahrung werden wichtige Erkenntnisse aus Fahrersicht wie Trassierungsparameter, gewählte Geschwindigkeiten oder auch auf die Begreifbarkeit von Verkehrsabläufen ermittelt, während die Streckenbegehung mehr auf die Detailbetrachtung verschiedenster Aspekte abzielt. Trotz des hohen Aufwandes sollten alle erkennbaren Defizite erfasst werden, da jede Strecke individuell ist und unterschiedliche Schwerpunkte innerhalb der Defizite aufzeigt. Es empfiehlt sich außerdem, Defizitfeststellung und Ableitung von erforderlichen Maßnahmen zu trennen. Das Audit konzentriert sich auf die Analyse der Bestandsstrecken mit der Benennung von Defiziten und liefert so nur einen groben Rahmen für die weitere Bearbeitung » Abb. 19.

Naturschutz oder unabweisbaren wirtschaftlichen Gesichtspunkten) stehen, sind flankierend auch verkehrstechnische Maßnahmen zu prüfen und punktuell verkehrsrechtliche Maßnahmen abzustimmen » Abb. 18. Das Bestandsaudit und die vorhandene Streckencharakteristik bilden eine Grundlage für die Entscheidung über die geeignete Maßnahmenart. Ein fachlicher Austausch der Auditierenden mit den an Planung und Bau Beteiligten ist hierbei durchaus erwünscht. Über die endgültige Ausgestaltung entscheidet letztlich der Bauherr. Diese Entscheidung ist zu dokumentieren und bei Abweichungen vom Regelwerk zu begründen. Sie muss dabei vor allem auf die erreichbaren Verbesserungen gegenüber dem Bestand gerichtet sein.

Gemäß RSAS ist ein Anwendungsgebiet für das Bestandsaudit die Sicherheitsüberprüfung **unfallauffälliger Streckenabschnitte**. Vor diesem Hintergrund bat das bayerische Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr (StMB) Anfang 2020 die staatlichen Bauämter mindestens 1.000 Meter lange Strecken (von Bundes- oder Staatsstraßen) mit hohem Sicherheitspotential 2012-2017 auszuwählen, um diese pilothaft im Bestand bis Jahresende 2020 zu auditieren. Lediglich zwei

» Abb. 18  
Bei einem Bestandsaudit festgestelltes Kerndefizit „unzureichende Haltesichtweite“



Auf diese Weise besteht anschließend für die Entscheidungsebene zudem die Möglichkeit, eigene Umsetzungsstrategien, Beurteilungskriterien und thematische Schwerpunkte zur Beseitigung der Defizite zu entwickeln. Unter Berücksichtigung der finanziellen Gesamtsituation erscheint zur Beseitigung von Defiziten eine Priorisierung von Maßnahmen zweckmäßig. Wenn die Ergebnisse des Bestandsaudits, insbesondere zur Linienführung in Lage und Höhe, in unüberwindbarer Konkurrenz zu anderen Belangen (z.B. restriktiver Flächeninanspruchnahme,

der 15 ausgewählten Strecken enthielten keine Unfallhäufung 2012-2014 bzw. 2015-2017. Ein Abgleich der bei den Audits genannten Defizite mit den Analysen und Abhilfemaßnahmen der jeweiligen Unfallkommissionen ergab oft eine gute Übereinstimmung. Auffällig ist, dass diese Übereinstimmung besonders dort groß war, wo die (Bestands)Auditorin bzw. der Auditor auch Mitglied der zuständigen Unfallkommission war. In diesen Fällen ließen sich also durch die zusätzliche Bestandsauditierung kaum neue Erkenntnisse gewinnen.

Erfahrungsgemäß legen Unfallkommissionen bei Sicherheitsdefiziten im Straßenbestand nur sehr zögerlich Abhilfemaßnahmen fest, wenn mit diesen Defiziten kein auffälliges Unfallgeschehen verbunden war. Die im Grunde reaktive Arbeit der Unfallkommissionen sollte daher künftig klarer abgegrenzt werden vom proaktiven Ansatz des Bestandsaudits. Folglich sollten Bestandsaudits an ausgewiesenen Unfallhäufungen nur auf ausdrücklichen Wunsch der zuständigen Unfallkommission durchgeführt werden. Außerdem sollten diese von Auditorinnen und Auditoren vorgenommen werden, die in ihrem Arbeitsumfeld möglichst wenig Berührungspunkte mit der örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen haben.



» Abb. 19  
Bei einem Bestandsaudit festgestelltes Kerndefizit „unsicherer Seitenraum“

» Abb. 20  
Sonderkarte  
motorradbezogene  
Sicherheitsbewertung  
2016-2020  
des außerörtlichen  
Bundes- und Staats-  
straßennetzes in  
Bayern nach MVMot  
[24]; hier Ausschnitt  
Traunreut



Das Bestandsaudit kann anlassbezogen auch nur eine bestimmte Nutzergruppe oder bestimmte Teile der Verkehrsanlage fokussieren. In Bayern bestehen vor allem hinsichtlich der Verbesserung der Situation für Motorradfahrende nach wie vor große Potentiale. So beträgt der Anteil der Motorradnutzer und -nutzerinnen an allen Verkehrstoten in Bayern mittlerweile rund 22 Prozent. Ein vielversprechender Ansatz zur Verbesserung der Motorradsicherheit besteht nach „Merkblatt zur Verbesserung der Straßeninfrastruktur für Motorradfahrende (MVMot)“ [24] darin, Streckenabschnitte mit hohem Sicherheitspotential im Bestand zu auditieren. Als Grundlage hierfür hat die Zentralstelle für Verkehrssicherheit der Landesbaudirektion Bayern (ZVS) eine motorradbezogene Sicherheitsbewertung der außerörtlichen Bundes- und Staatsstraßen in Bayern nach den Vorgaben des MVMot („Unfallauffällige Streckenabschnitte“) für den Betrachtungszeitraum

2016-2020 durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Bewertung wurden kartografisch aufbereitet » Abb. 20. In diesen Karten sind Streckenabschnitte mit besonders hohem Sicherheitspotential magenta bzw. rot hervorgehoben. Die Methodik der in Bayern vorgenommenen motorradbezogenen Netzbewertung ist in [52] detailliert beschrieben. Die Staatlichen Bauämter auditieren im Jahr 2023 jeweils eine derartige **auffällige Motorradstrecke** in ihrem Zuständigkeitsbereich. Gerade auf diesen Strecken müssen die örtlichen Rahmenbedingungen besonders auch die spezifischen Sicherheitsbedürfnisse von Motorradfahrenden berücksichtigt werden. Insofern sollen bevorzugt Sicherheitsauditorinnen und -auditoren eingesetzt werden, die selbst aktiv Motorrad fahren. Die Erfahrungen aus den Audits der unfallauffälligen Motorradstrecken werden im Jahr 2024 gesammelt und durch die ZVS ausgewertet.

» Abb. 21  
Streckenfoto einer ausgebauten Staatsstraße in Bayern, deren passiver Schutz infolge eines Sicherheitsaudits regelkonform nachgebessert wurde.



Zur Überprüfung der Verkehrssicherheit bestandsorientiert ausgebauter Landstraßen mit unterdurchschnittlicher Verkehrsbelastung analysierte die ZVS bereits 2016 insgesamt 25 Staatsstraßenprojekte in Bayern » Abb. 21. Als Ergebnis konnte festgehalten werden, dass es für die Verkehrssicherheit wesentlich ist, solche Maßnahmen zu auditieren – insbesondere auch den Übergangsbereich zum Altbestand [48]. Die Anwendung des Bestandsaudits bietet sich insofern auch im Vorfeld anstehender Ersatzneubauten oder Erhaltungsmaßnahmen an. In Bayern können schon heute Strecken, an denen **Erhaltungsmaßnahmen** geplant sind, im Bestand auditiert werden, um Verbesserungspoten-

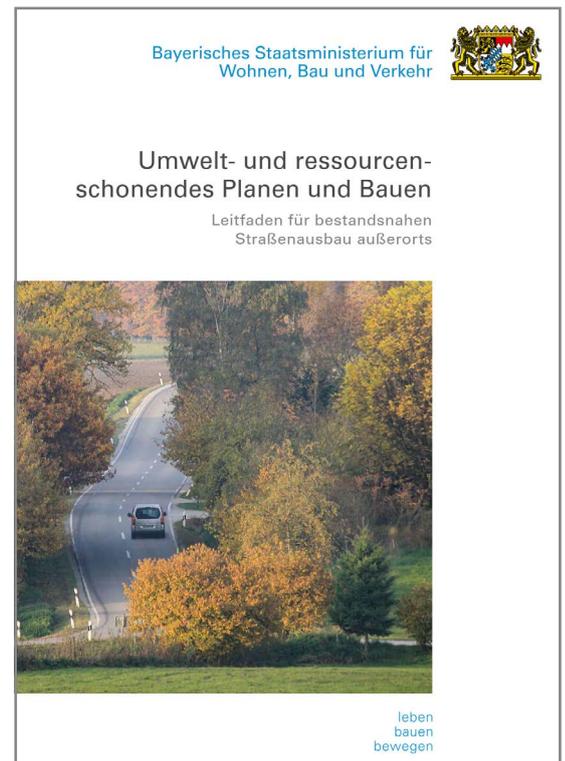
tiale in der Straßeninfrastruktur mit maßvollem Aufwand zu identifizieren und im Zuge der Erhaltungsmaßnahme entsprechend auszuschöpfen. Als Hilfestellung dazu hat das Bayerische Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr (StMB) den Leitfaden „Umwelt- und ressourcenschonendes Planen und Bauen“ » Abb. 22 erarbeitet – vor allem in Bezug auf unzureichend ausgebauten Staatsstraßen mit geringer Verkehrsbelastung, die wegen örtlicher Randbedingungen und knapper Finanzmittel meist nur über einen bestandsnahen Ausbau verbessert werden können. Der Leitfaden [4] erläutert insbesondere die im Regelwerk vorhandenen Spielräume und die ausnahmsweisen Möglichkeiten zur

Abweichung davon für die Entwicklung angemessener Lösungen im konkreten Einzelfall. Das Ausnutzen dieser Spielräume oder erforderlichenfalls das Abweichen von den Vorgaben liegt in der Verantwortung aller am Planungsprozess Beteiligten. Das Bestandsaudit und die vorhandene Streckencharakteristik bilden eine Grundlage für die Entscheidung über die geeignete Maßnahmenart. Dabei dient die Auditierung des Bestands dazu, geeignete Konzepte im Sinne der Verkehrssicherheit zu entwickeln.

Ist eine bauliche Verbesserung z.B. auch aus Gründen der Substanzerhaltung vorgesehen, können die im Bestandsaudit gewonnenen Erkenntnisse bereits in die Vorplanungsphase des Bauprojekts einfließen und die grundsätzliche Entscheidungsfindung hinsichtlich der Länge des Ausbaubereichs und der Maßnahmenart unterstützen. Hierzu gehört die Einschätzung, ob die bisherige Linienführung bei einem höheren Geschwindigkeitsniveau, das sich durch einen neuen Fahrbahnbelag – eventuell in Kombination mit einer Fahrbahnverbreiterung – einstellen kann, ein ungünstiges Unfallgeschehen erwarten lässt.

Das Bestandsaudit in Bayern konzentriert sich – wie auch das Planungsaudit – gezielt auf sogenannte „Kerndefizite“, also auf Sicherheitsdefizite, die erfahrungsgemäß mit einem besonders hohen Risiko für schwere Unfälle verbunden sind » [Abb.16](#). Vorrangiges Ziel ist es auch beim Bestandsaudit, diese Kerndefizite möglichst planerisch zu bewältigen.

Aktuelle Forschungen zu Bestandsaudits im Rahmen der baulichen Erhaltung von Landstraßen auf Bundesebene [\[26\]](#) zeigen, dass sich das Beseitigungspotential von Sicherheitsdefiziten mit zunehmendem Maßnahmenaufwand erhöht. Insbesondere bei grundhaften Erneuerungen zeigt sich – verglichen mit Instandsetzungsmaßnahmen – ein deutlich erhöhtes Potential zur Beseitigung von Sicherheitsdefiziten, vor allem in den Bereichen Entwässerung und Querschnittsaufteilung. Bei Instandsetzungen von Straßen beschränken sich die Verbesserungsmöglichkeiten oft auf die Bereiche Fahrzeugrückhaltesysteme einschließlich Hindernisse im Straßenseitenraum, Markierung, Beschilderung, Leiteinrichtungen sowie Sichtverhältnisse. Grundsätzlich ist es von Vorteil, Bestandsaudits im Rahmen der baulichen Straßenerhaltung möglichst früh im zeitlichen Ablauf der Erhaltungsplanung durchzuführen.



» [Abb. 22](#)  
Broschüre „Umwelt- und ressourcenschonendes Planen und Bauen - Leitfaden für bestandsnahen Straßenausbau außerorts“ [\[4\]](#)

## 2.4 Technische Hilfsmittel

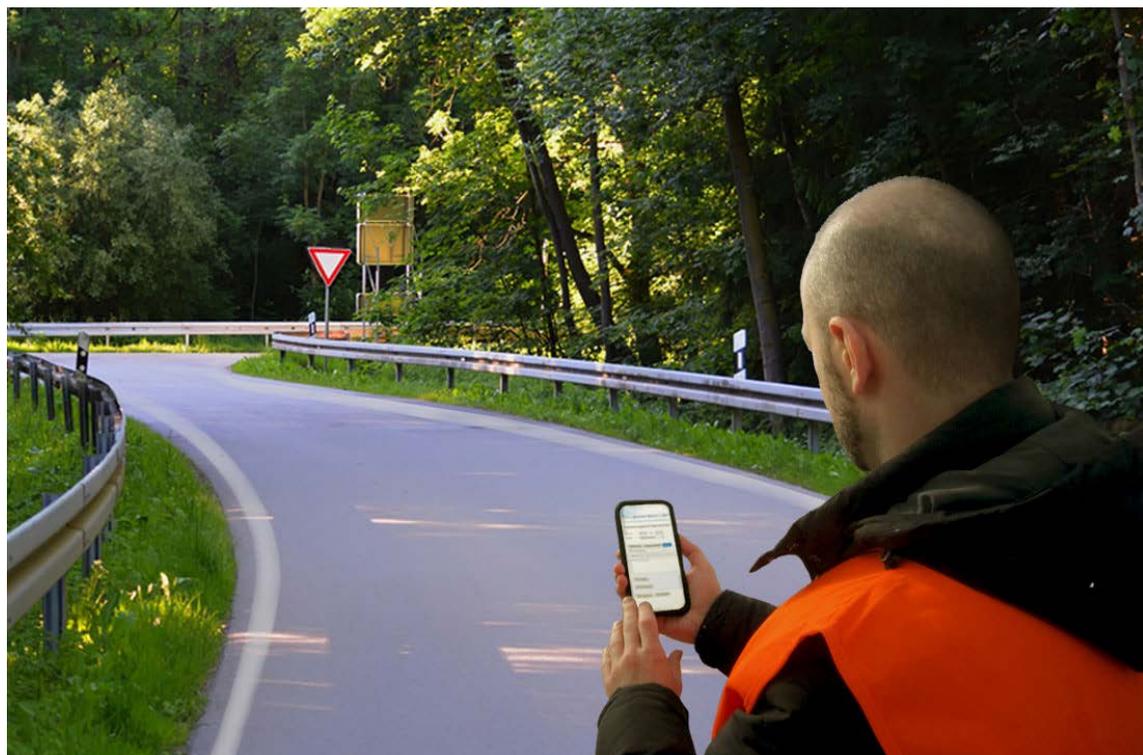
Seit 2019 wird das komplette Auditverfahren der bayerischen Staatsbauverwaltung durchgängig digital über das Bayerische Straßeninformationssystem (BAYSIS) abgewickelt. Dazu hat die ZVS im Jahr 2018 erstmalig in Deutschland eine spezielle **Web-Anwendung** entwickelt. Die Programmanwendung verarbeitet und plausibilisiert alle Eingabedaten der am Auditprozess beteiligten Akteure. Sie bereitet die Eingabedaten zielgerichtet über eine benutzerspezifische Rechteverwaltung auf. Das formalisierte Erfassungs- und Bearbeitungssystem schafft klare Strukturen und sichert eine einheitliche Bearbeitung. Über die Web-Anwendung können zudem statistische Auswertungen nach individuellen Vorgaben ausgegeben und archiviert werden. Ein weiterer großer Vorteil der Web-Anwendung besteht darin, dass mit dem Einsatz technischer Eingabegeräte (Tablet, PC, etc.) die direkte Aufnahme und Verarbeitung von Daten bereits bei der Ortseinsicht möglich ist. Die Fotos können so auf einfache Art und Weise mit eindeutigen Bezug zu einzelnen Defiziten und eindeutiger örtlicher Zuordnung abgespeichert werden. Darüber hinaus bietet der Web-Zugriff vor Ort die Möglichkeit, zentrale Unterlagen direkt einzusehen » [Abb. 23](#). Durch die Web-Anwendung wird der Arbeitsaufwand insgesamt deutlich reduziert.

Die bayerischen Auditorinnen und Auditoren haben im Rahmen Ihrer Tätigkeit Zugriff auf alle im BAYSIS verfügbaren Informationen » [Abb. 24](#). BAYSIS ist die zentrale Auskunftsplattform für die Bundesautobahnen, Bundes- und Staatsstraßen sowie die Kreisstraßen in der Verwaltung des Freistaates Bayern. Es bietet u.a. vielfältige Möglichkeiten, Fragen und Aspekte zu Bestandsdaten und zur Verkehrssicherheit zu beleuchten.

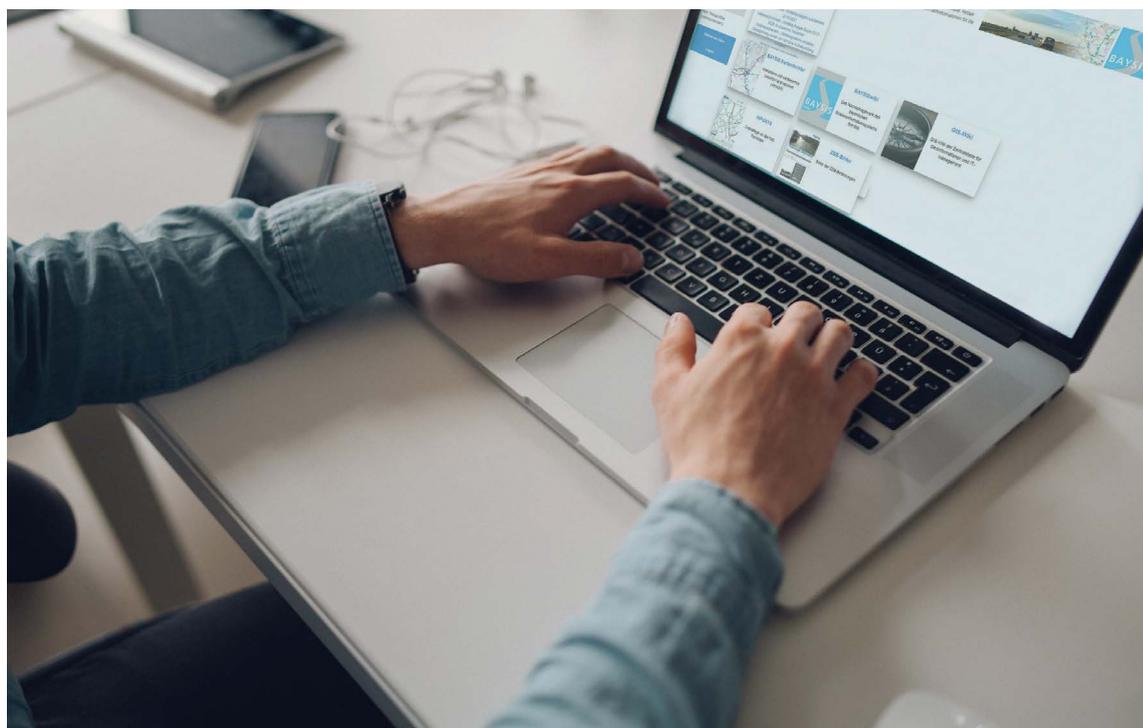
Folgende für das Bestandsaudit relevante Informationen sind im **BAYSIS** enthalten:

- » Die Profildarstellungen der Straßenzustandsbewertung und -erfassung (ZEB) erlauben die Bewertung des oberflächlichen Fahrbahnzustandes.
- » Der Aufbauviewer (Visualisierung der Aufbau- und Querschnittsdaten einschließlich Auflistung der Schichten) kann erste Rückschlüsse auf die Oberbaubeschaffenheit geben.
- » In Streckenbändern sind diverse Fachdaten wie Aufbau-, Querschnitts- und ZEB-Daten visualisiert.
- » Die Ergebnisse der Tragfähigkeitsmessungen runden die Informationen zum Straßenkörper ab.  
Unter Verkehrsdaten können die örtlichen
- » Verkehrsstärken der regelmäßig stattfindenden Straßenverkehrszählungen (SVZ) und Auswertungen von Dauerzählstellen eingesehen werden.
- » Mit Hilfe der Sicherheitsbewertung von Straßennetzen kann abgeschätzt werden, wo sich durch sicherheitsverbessernde Maßnahmen die höchsten Unfallkosten vermeiden lassen.
- » In den Unfalltypenkarten werden die Verkehrsunfälle und teilweise auch die ermittelten Unfallhäufungen ausgewählter Zeiträume und Regionen in thematischen Karten dargestellt.
- » Im Unfallhäufungsprogramm lassen sich die Analysen und der Abarbeitungsstand der von der jeweiligen Unfallkommission ergriffenen Abhilfemaßnahmen an Unfallhäufungen recherchieren.
- » Über die im BAYSIS integrierte Unfalldatenbank der ZVS können individuelle streckenbezogene Unfallauswertungen vorgenommen werden.
- » Das BAYSIS-Kartenfenster bietet die Visualisierung individueller Abfragen und ermöglicht die gleichzeitige Darstellung von verschiedenen Fachinhalten.

» Abb. 23  
Auditor bei der  
mobilen Erfassung  
von Defiziten im  
Rahmen einer  
Ortseinsicht



» Abb. 24  
Auditor bei der  
Recherche im  
BAYSIS



Um die Linienführung einer Straße sicherheitstechnisch im Rahmen eines Audits zu begutachten, bedarf es in aller Regel hinreichend genauer Planunterlagen. Diese liegen jedoch im bestehenden Straßennetz oftmals nicht vor. Abhilfe kann hier das **Digitale Geländemodell** der bayerischen Vermessungsverwaltung schaffen » **Abb. 25**. Dieses Modell geht auf Laserscanningdaten zurück, die im Zuge von Befliegungen gewonnen werden. Dabei wird die Geländeoberfläche vom Flugzeug aus mit einem Laserstrahl abgetastet. Aus den an der Geländeoberfläche reflektierten Laserstrahlen und der Position des Flugzeugs lässt sich ein digitales Gitter

berechnen. Das genaueste bayernweit verfügbare Modell weist eine Gitterweite von 1 m mit einer Höhengenaugigkeit kleiner  $\pm 20$  cm und Lagegenauigkeit von unter  $\pm 50$  cm auf. Anhand dieser Daten ist es möglich, die Trasse bestehender Straßen – mit vergleichsweise geringem Aufwand – nachzuvollziehen. Vergleiche mit terrestrischen Vermessungen zeigen die gute Qualität des digitalen Geländemodells. So scheint diese Datengrundlage dazu geeignet zu sein, selbst Querneigungsverhältnisse einschließlich Straßenverwindungen zu beurteilen [39].

» **Abb. 25**  
Querneigungsband einer Staatsstraße aus digitalem Geländemodell (oben) und terrestrischer Vermessung (unten) im Vergleich [39]



Stationierung [m]

700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820 830 840 850 860 870 880 890 900 910 920 930 940 950



## 2.5 Vorläufiges Fazit

Mit dem Sicherheitsaudit hat der Stellenwert der Verkehrssicherheit in der Straßenplanung grundsätzlich an Bedeutung gewonnen. Zu diesem Ergebnis kam auch eine innerhalb der bayerischen Staatsbauverwaltung 2014 durchgeführte repräsentative Online-Umfrage. Bei dieser Umfrage gaben sowohl Entscheidende, als auch Planende und Auditierende an, dass das Audit eine nützliche Maßnahme der Qualitätssicherung darstellt » **Abb. 26**. Gerade die intensive fachliche Diskussion aller Akteure im Auditprozess führe zu besseren Lösungen.

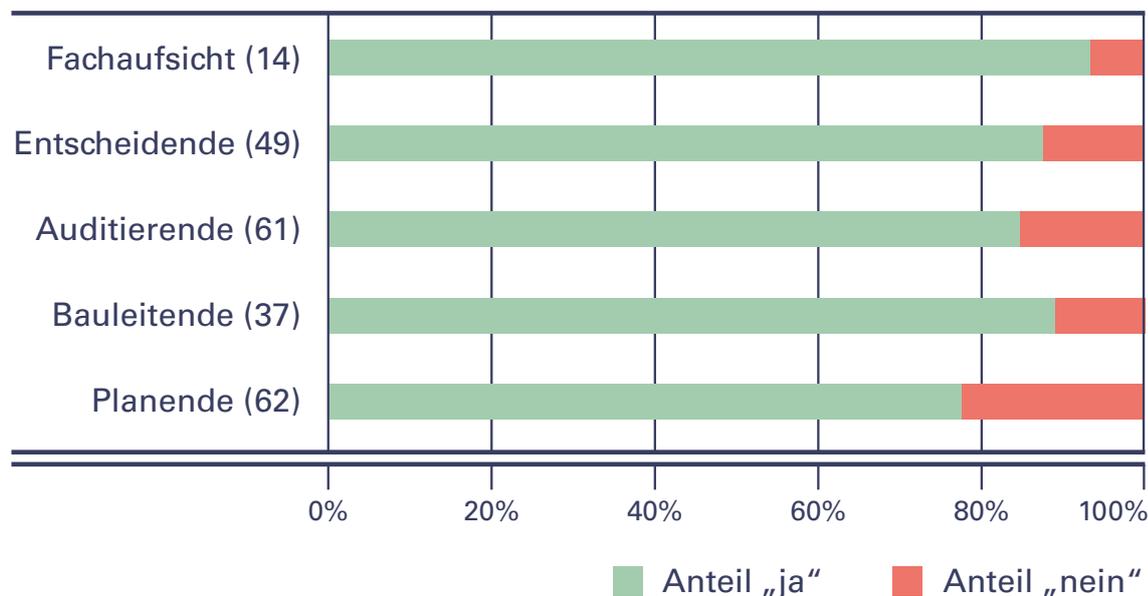
Das Sicherheitsaudit von Straßen zeige auch klar die Sicherheitsrisiken der verschiedenen Nutzergruppen auf. Außerdem können durch das Sicherheitsaudit spätere volkswirtschaftliche Verluste durch Verkehrsunfälle minimiert und ggf. auch kostenintensive Nachbesserungen von Sicherheitsmängeln vermieden werden. Es empfiehlt sich, auch das Bestandsaudit nach einigen Jahren der Praxis in ähnlicher Form zu evaluieren. Bayernweit wurden in den Jahren 2019-2022 insgesamt 1.023 Planungsaudits und 43 Bestandsaudits registriert.

Auf diese Planungsaudits entfielen 1.602 Kerndefizite » Abb. 16. Die 43 Bestandsaudits 2019-2022 enthielten 315 Kerndefizite (ohne die Pilotprojekte mit auffälligen Motorradstrecken 2023). Daraus folgt, dass bei den Bestandsaudits deutlich mehr Kerndefizite (im Mittel 7,3 Kerndefizite pro Bestandsaudit) erkannt wurden als bei Planungsaudits (im Mittel 1,6 Kerndefizite pro Planungsaudit). Dies zeigt einerseits das große Verbesserungspotential, das sich durch Bestandsaudits identifizieren lässt, und andererseits, dass die

sicherheitskritischen Aspekte des technischen Regelwerks bei straßenbaulichen Maßnahmen im Großen und Ganzen beachtet werden. Die meisten Kerndefizite der 43 Bestandsaudits 2019-2022 bezogen sich auf die Linienführung (33,7%) die Knotenpunktgestaltung (27,9%), die Querschnittsausbildung (19,7%) und passive Schutzeinrichtungen (11,7%).

» Abb. 26  
Ergebnis einer in der bayerischen Staatsbauverwaltung 2014 durchgeführten repräsentativen Online-Umfrage (Fallzahlen in Klammern)

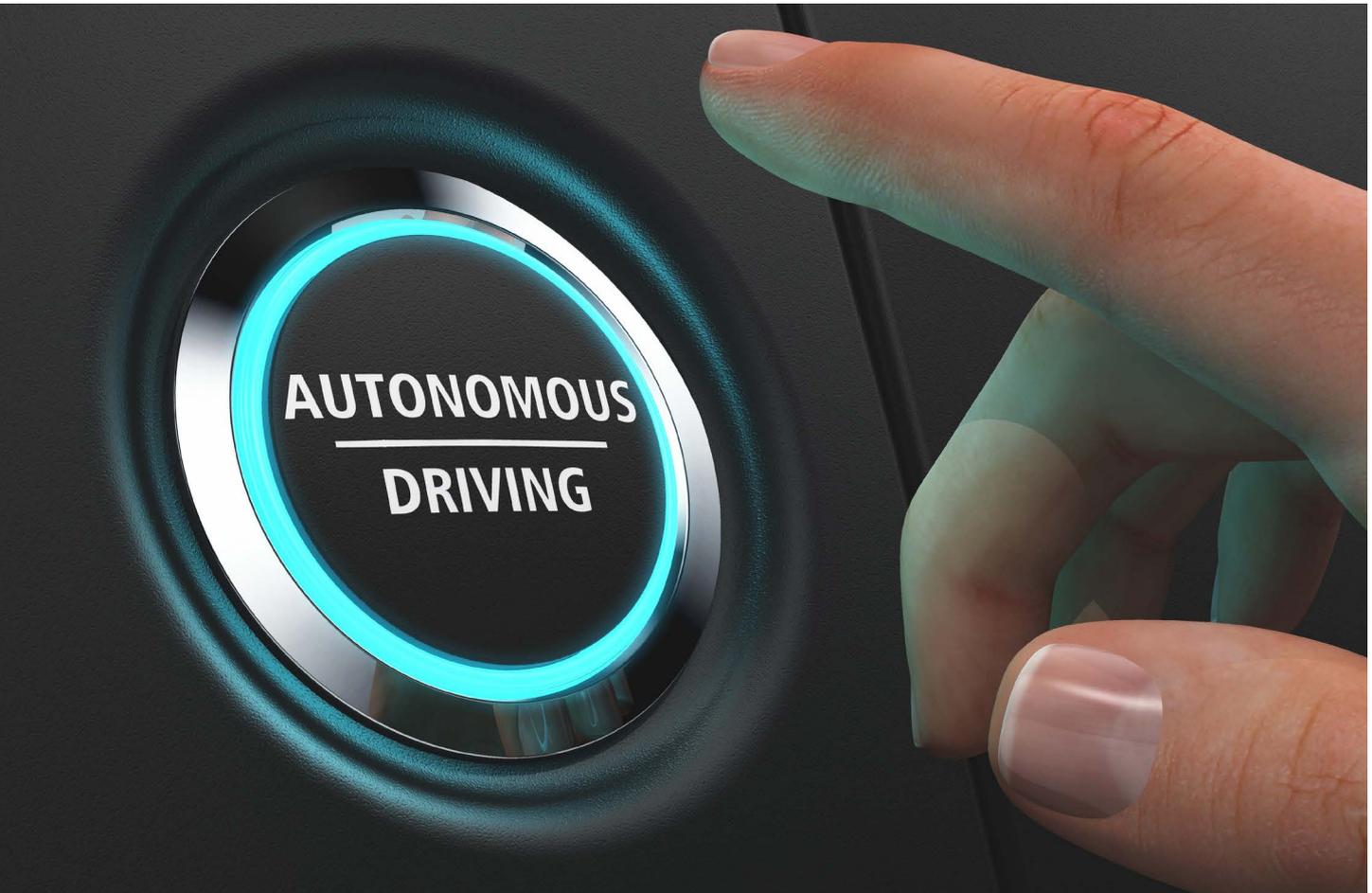
### Ist das Audit eine Maßnahme der Qualitätssicherung?



Die vergleichsweise große Anzahl an bei Bestandsaudits erkannten Kerndefizite (welche erwiesenermaßen schwere Unfälle begünstigen) bedeutet für die Entscheidungsebene eine immense Verantwortung im Umgang mit diesen Defiziten. Bei der Auditierung bestehender Straßen darf gerade im Zusammenhang mit Kerndefiziten nicht allein der Verweis auf Randbedingungen genügen, die bei Anwendung der Regelwerke im Sinne der Verkehrssicherheit

mit planerischer Bewältigung der Kerndefizite zu wirtschaftlich misslichen Lösungen führen. Die Entscheidungen zu Kerndefiziten sind nämlich unmittelbar ursächlich für das Ausmaß an schweren Unfällen und sogar Unfallhäufungen nach Abschluss des Auditprozesses. Sie wirken sich damit auch auf den Erfolg und die Akzeptanz des gesamten Auditverfahrens aus.

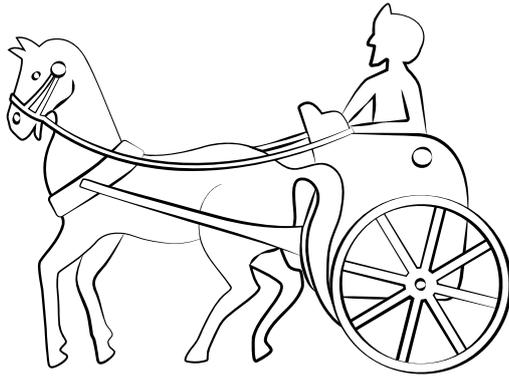
## Autonomes Fahren: Traum und Wirklichkeit



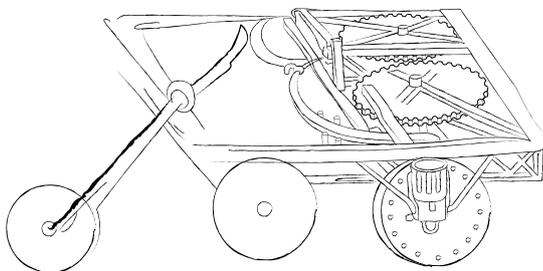
### 3.1 Entwicklungsgeschichte des autonomen Fahrens

Eine herausragende Begabung des Menschen besteht darin, seine Umwelt genau zu beobachten und dadurch Erkenntnisse zu gewinnen, um seine Fähigkeiten weiter zu verbessern. Neidvoll beobachteten bereits unsere Vorfahren Tiere, die wesentlich schneller laufen oder schwimmen konnten als die fittesten Menschen. Sehnsüchtig sahen sie den Vögeln nach, die scheinbar schwerelos durch die Luft flatterten. Menschen in der Steinzeit nutzten bereits viele Werkzeuge und Waffen, die das Überleben in der Wildnis sicherten.

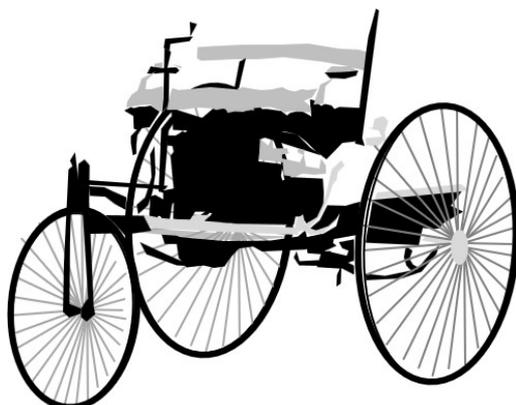
Vor einigen tausend Jahren wurden auch gezähmte Pferde als Reit- oder Zugtiere eingesetzt, um die Reisegeschwindigkeit auf dem Land zu erhöhen » [Abb. 27](#). Auf Gewässern konnten ab dem Altertum mithilfe von Segelschiffen ohne Muskelkraft große Distanzen zurückgelegt werden. Über viele Jahrhunderte bis in die Moderne waren nun Segelschiffe und Pferdekutschen die schnellsten Fortbewegungsmittel für die Menschen.



» Abb. 27  
Altägyptischer  
Streitwagen



» Abb. 28  
„Automobil“ von  
Leonardo da Vinci



» Abb. 29  
Motorwagen  
von Benz

Anfang des 16. Jahrhunderts skizzierte der berühmte Universalgelehrte Leonardo da Vinci eine Wagenkonstruktion, die sich durch einen Federantrieb von allein – also ohne Pferdegespann – bewegen sollte und schuf damit den ersten belegbaren Plan für ein Automobil » Abb. 28. Aber erst die Erfindung der Dampfmaschine brachte den Durchbruch im Streben nach einer höheren Fortbewegungsgeschwindigkeit auf dem Land ohne Zuhilfenahme von Zugtieren. Mit einer Dampflokomotive konnte sich der Mensch schneller fortbewegen als mit Pferdekutschen. Diese verbesserte Mobilität beschränkte sich zunächst auf wenige Bahnstrecken mit genau definierten Haltepunkten. Auf Straßen erwiesen sich dampfgetriebene Fahrzeuge als ungeeignet.

Ende des 19. Jahrhunderts erfanden Gottlieb Daimler und Wilhelm Maybach einen relativ kompakten Benzinmotor und bauten diesen in einen vierrädrigen Kutschenwagen ein. Zeitgleich entwickelte Carl Friedrich Benz einen Motorwagen mit drei Rädern [25, 38] » Abb. 29.

Mit diesen Kraftfahrzeugen konnte man auf gewöhnlichen Kieswegen fahren. Dies war der Startschuss für eine rasante Entwicklung des Automobils.

Die neu konzipierte mechanisierte Fortbewegung in einer bisher unerreichten Fahrgeschwindigkeit, erforderte allerdings von den Fahrzeuglenkern allerhöchste Konzentration. Es verwundert daher nicht, dass schon bald über Hilfsmittel nachgedacht wurde, um das Steuern der Fahrzeuge zu erleichtern.

Elmer Sperry konstruierte Anfang des 20. Jahrhunderts ein Steuerungssystem für Schiffe, das mit Hilfe eines Kreiselkompasses automatisch den Kurs halten konnte. Seiner Erfindung gab Sperry den Namen „Autopilot“. Sein Sohn demonstrierte im Jahr 1914, dass ein weiterentwickeltes System ein Flugzeug im Horizontalflug stabil halten konnte [18]. Für Kraftfahrzeuge auf kurvigen Straßen war diese Erfindung jedoch nicht geeignet.

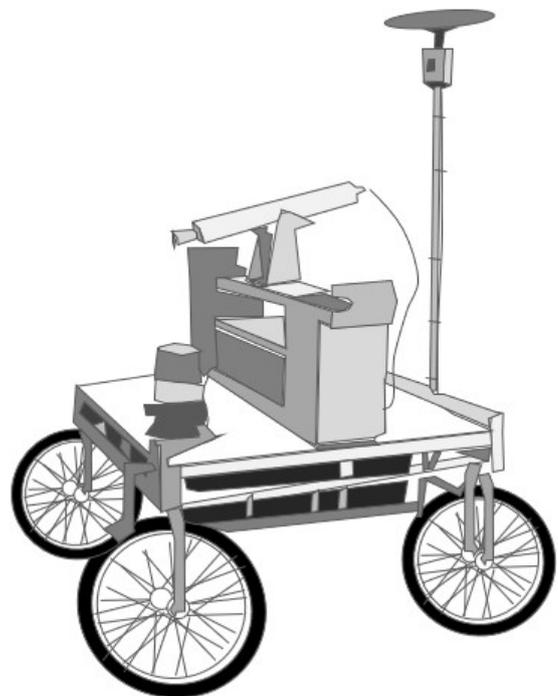
Der blinde Ingenieur Ralph Teetor wollte eine ruhigere Fahrweise von Kraftfahrzeugen erreichen und machte sich Gedanken über eine automatisierte Regelung der Fahrgeschwindigkeit. 1945 wurde sein erstes Geschwindigkeitsregelgerät für Kraftfahrzeuge patentiert. Der Automobilkonzern Chrysler brachte das System 1958 als Zusatzfunktion für Luxusmodelle unter der Bezeichnung „Auto Pilot“ heraus. Bei der Firma Cadillac konnte dieses System als „Cruise Control“ geordert werden [49]. In Europa wurden derartige Geschwindigkeitsregelanlagen erstmals 1962 bei Mercedes-Benz als „Tempomat“ in Automobilen eingesetzt [58].

Auch über eine automatisierte Fahrzeuglenkung hatten sich Anfang des 20. Jahrhundert viele Automobil-Ingenieure den Kopf zerbrochen. Als 1925 ein Kraftfahrzeug ohne Fahrer durch New York City fuhr, schien sich der Traum vom autonomen Fahren bereits erfüllt zu haben. Allerdings wurde dieses Wunderfahrzeug von einem Menschen aus einem dahinter herfahrenden Auto funkgesteuert [13].

Grundsätzlich verfolgten Wissenschaftler zwei unterschiedliche Ansätze zur Verwirklichung von selbstlenkenden Fahrzeugen. Ein Teil der Forschenden wollte dies mit der sogenannten „Elektronischen Fahrbahn“, einer Fahrbahn mit integrierten Metalldrähten, verwirklichen. Die durch den Draht erzeugten elektromagnetischen Felder sollten die Fahrzeugsteuerung übernehmen. 1960 gelang es in den USA erstmals, dass Testfahrzeuge der durch einen solchen Draht vorgegebenen Fahrtrichtung automatisch folgen konnten [34]. Wegen des enormen technischen Aufwands zur Ausstattung der Fahrbahn mit Leitdrähten wurden diese Experimente nur auf wenigen Teststrecken erprobt.

An einem alternativen Konzept für ein selbststeuerndes Fahrzeug arbeiteten zur gleichen Zeit Studierende an der Stanford University. Ein kleines Forschungsfahrzeug wurde mit einer Videokamera ausgestattet und konnte sich entlang einer Fahrbahnmarkierung bewegen. Dieses sogenannte „Stanford Cart“ wurde im Laufe der Zeit mit immer besseren Algorithmen und Bilderkennungssystemen gesteuert [14] » Abb. 30.

In seiner letzten Entwicklungsstufe Ende der 1970er Jahre konnte sich das Fahrzeug ohne menschliche Einflussnahme fünf Stunden lang kreuz und quer durch einen mit Stühlen ausgestatteten Saal ohne Kollision bewegen [14]. Den Sprung zu einem autonomen Kraftfahrzeug mit Passagieren schaffte im Jahre 1977 das Tsukubas Mechanical Engineering Laboratory in Japan. Zwei auf dem Fahrzeug montierte Videokameras filmten die Fahrbahn und ein Computer errechnete aus der Videoaufnahme das erforderliche Fahrmanöver [12].

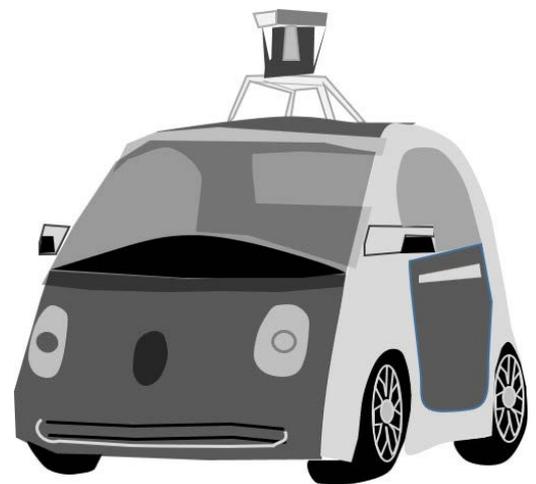


» Abb. 30 Stanford Cart

Als Pionier im Bereich des autonomen Fahrens gilt auch Ernst Dieter Dickmanns, der von 1975 bis 2001 an der Universität der Bundeswehr München forschte und unterrichtete. In den frühen 1980er-Jahren experimentierte Dickmanns mit Versuchsfahrzeugen zunächst auf Autobahnen, die noch nicht für den Verkehr freigegeben waren. Ab 1986 konnte ein Versuchsfahrzeug bereits auf einem verkehrsreichen Autobahnabschnitt teilweise autonom fahren. Ein menschlicher Fahrzeuglenker, der als Sicherheitsfahrer im Auto saß, musste allerdings noch häufig eingreifen und Kurskorrekturen durchführen. 1994 absolvierten Versuchsfahrzeuge auf der Basis von Daimler-Benz eine autonome Fahrt auf einer mehr als 1000 Kilometer langen Autobahnroute und erreichten dabei Geschwindigkeiten von über 130 km/h. Diese Fahrzeuge konnten bereits automatisch Spurwechselmanöver ausführen [12].

Ab 2010 erkennen viele Firmen und Automobilkonzerne Fahrzeuge ohne Person am Steuer als ein lukratives Geschäftsmodell und verstärken ihre Forschungsaktivitäten. 2012 wird ein autonomes Fahrzeug der Firma Google präsentiert [33] » Abb. 31. 2015 bringt Tesla ein Serienfahrzeug mit hochautomatisierten Steuerungsfunktionen in Längs- und Querrichtung auf den Markt [30]. Ein autonomer Bus der Firma EasyMile wird 2017 in Bad Birnbach im Linienverkehr eingesetzt [40]. Die Firma Waymo, die von Google die Entwicklung autonomer Fahrzeuge übernommen hat, bietet erstmals 2020 in Arizona einen Service mit fahrerlosen Taxis an [37]. Ein Jahr später folgen im US-Bundesstaat Kalifornien die Robotaxis von Cruise, einer Tochterfirma von General Motors [28]. Daneben laufen noch zahlreiche Pilotprojekte mit autonomen Fahrzeugen auf öffentlichen Straßen. Ende 2020 demonstriert die Firma Mobileye, eine Intel-Tochter, dass eine einstündige Fahrt im Norden von München ohne das Eingreifen des Sicherheitsfahrers funktioniert [35].

Heute ist ein hoher Anteil der neuen Kraftfahrzeuge mit Assistenzsystemen und automatisierten Fahrfunktionen ausgestattet. Der Traum vom autonomen Fahren ist aber bis heute noch nicht ganz in Erfüllung gegangen. Denn die in Serienfahrzeuge verbauten Fahrsysteme erfordern immer noch eine aufmerksame Person hinter dem Lenkrad, die binnen Sekunden die Steuerung beispielsweise bei Fehlfunktionen oder unerwarteten Situationen übernehmen kann.



» Abb. 31 Autonomes Google-Auto

## 3.2 Funktionsprinzip autonomer Fahrzeuge

### Automationsstufen

Die Society of Automotive Engineers (SAE) hat eine Taxonomie entwickelt, die in Abhängigkeit vom Automationsgrad der Fahrfunktionen insgesamt folgende sechs Automationsstufen unterscheidet [44]:

Level 0:	No Driving Automation (keine Automation)
Level 1:	Driver Assistance (Fahrerassistenz)
Level 2:	Partial Driving Automation (teilweise Automation der Fahrfunktion)
Level 3:	Conditional Driving Automation (bedingte Auto- mation der Fahrfunktion)
Level 4:	High Driving Automation (hohe Automation der Fahr- funktion)
Level 5:	Full Driving Automation (vollständige Automation der Fahrfunktion)

Entscheidend für diese SAE-Einstufung ist die Rolle des menschlichen Fahrers bei der Ausübung seiner Fahraufgaben. Außerdem gelten die Automations-Stufen ausschließlich für Fahrfunktionen, die in einem bestimmten Betriebsfall bewusst aktiviert wurden und über einen längeren Zeitraum hinweg wirken. Notsysteme, die in gefährlichen Situationen nur wenige Sekunden in die Fahrfunktion eingreifen, bleiben in dieser Taxonomie unberücksichtigt. Denn hier wird keine grundsätzlich veränderte Rolle des Menschen in seiner Fahraufgabe gesehen. Nicht in diese Einstufung einbezogen sind außerdem Systeme, die den Fahrzeuglenker vor Gefahren warnen, aber keine Fahrfunktion direkt ansteuern.

Ab Level 4 muss sich das Fahrzeug bei Störungen und beim Erreichen von Systemgrenzen selbstständig in einen „risikominimalen Zustand“ versetzen können, zum Beispiel indem es seine Geschwindigkeit verringert oder in einem möglichst sicheren Straßenbereich anhält. Das autonome Fahren ist also nur bei Erreichen der beiden höchsten Stufen (Level 4 und 5) verwirklicht, wenn auf Menschen als Kontrollinstanz oder Rückfallebene verzichtet werden kann.

Bevor darauf eingegangen wird, welche Konsequenzen der Verzicht auf den Menschen als Rückfallebene in Bezug auf Verkehrssicherheit und Haftung bei einem Systemversagen hat, sollte man sich das Steuerungskonzept eines autonomen Fahrzeugs in den Grundzügen vor Augen führen.

### Steuerungskonzept autonomer Fahrzeuge

Die Informationsverarbeitung autonomer Fahrzeuge kann grundsätzlich in drei Ebenen unterteilt werden [9, 46]:

- » Wahrnehmungsebene
- » Planungsebene
- » Ausführungsebene

Am Beginn der automatisierten Fahrfunktion steht die Wahrnehmungsebene. Sensoren tasten die Umgebung des autonomen Fahrzeugs ab und verorten diese Daten in einem Koordinatensystem. Nach einer Plausibilitätskontrolle werden die unterschiedlichen Sensordaten zusammengeführt und in Echtzeit zu einem virtuellen Umfeldmodell kombiniert, das alle relevanten, bewegten und festen Objekte enthält. Das Umfeldmodell dient in der Planungsebene als Basis für die Berechnung des Fahrpfades des autonomen Fahrzeugs. Anschließend wird der errechnete Fahrpfad in entsprechende Signale für die Fahrzeugsteuerung in Längs- und Querrichtung übersetzt [29].

Diese drei Ebenen der Informationsverarbeitung autonomer Fahrzeuge werden im Folgenden genauer beschrieben.

Hochautomatisiertes und autonomes Fahren setzt ein zuverlässiges System von Sensoren voraus (**Wahrnehmungsebene**), das alle relevanten Informationen der Umgebung detektiert. Die Sensorik autonomer Fahrzeuge besteht meist aus mehreren verschiedenen Komponenten, die redundant sind und sich im Idealfall gegenseitig ergänzen sollten [29].

Videokameras erfassen die Umwelt auf ähnliche Weise wie das menschliche Auge. Sie haben eine relativ hohe Auflösung und können Farbunterschiede an Oberflächen von Objekten gut erkennen. Dies ist entscheidend für die richtige Klassifizierung von Objekt- und Merkmalstypen. Die räumliche Verteilung und Geschwindigkeit

von Objekten kann aber selbst bei stereoskopischen Bildern nur sehr ungenau ermittelt werden. Bei ungünstiger Witterung kann sich die Wahrnehmungsfähigkeit von Videokameras deutlich verringern.

Radar-Sensoren (radio detection and ranging) ermöglichen das präzise Erkennen und Vermessen dynamischer Objekte selbst bei widrigsten Wetterbedingungen wie Starkregen oder Nebel. Voraussetzung für eine ausreichende Erfassung ist, dass ein Objekt geeignete Reflexionseigenschaften aufweist – es sollte also im Idealfall aus Metall bestehen. Eine Kategorisierung der Objekte nach ihrer Gestalt ist wegen des relativ groben Rasters der Radarwellen nur eingeschränkt möglich.

Lidar-Sensoren (light detection and ranging) senden Laserblitze aus und detektieren die zurückstrahlenden Lichtreflexe. Sie erzielen auch bei Dunkelheit noch eine gute Erfassungswirkung und haben aufgrund der Vielzahl an Laserimpulsen eine wesentlich höhere Auflösung als Radar-Sensoren. Bei Starkregen und Nebel sinkt die Erfassungsgenauigkeit, weil das Laserlicht durch Wassertropfen teilweise reflektiert wird. Die Kontur von filigranen Objekten wie z.B. von Fahrrädern kann Lidar besser identifizieren als Radar. Ähnlich wie bei Radar-Sensoren können Lidar-Sensoren die Entfernung und Geschwindigkeit von Objekten direkt ermitteln. Nachteilig ist, dass Lidar-Sensoren Farbunterschiede an Objektflächen nicht wahrnehmen können und im Vergleich zu Radar-Sensoren oder Video-Kameras deutlich teurer sind.

Ultraschall-Sensoren haben sich im Nahbereich bewährt, weil sie Abstände zu Objekten zentimetergenau erfassen können. Sie kommen vor allem beim Rückwärtsfahren und automatisierten Einparken zum Einsatz.

Nicht fehlen darf in einem autonomen Fahrzeug ein Akustik-Sensor oder Mikrofon. Im öffentlichen Verkehr werden akustische Warnsignale genutzt, um auf Gefahren hinzuweisen oder den Verkehr zu regeln, z.B. an Bahnübergängen, aber auch das Martinshorn auf Einsatzfahrzeugen muss erkannt werden.

Daneben sind in autonomen Fahrzeugen weitere Sensor-Typen verbaut, beispielsweise zur Positionsermittlung und Beschleunigungsmessung des eigenen Fahrzeugs.

Ein wichtiger Aspekt in der Wahrnehmungsebene ist die Klassifizierung der detektierten Objekte. Die Sensordaten werden an einen Prozessor weitergeleitet und über Algorithmen verschiedenen Verkehrsteilnehmergruppen oder sonstigen Objektklassen zugewiesen. Moderne Videokamerasysteme können Objekte oft schon direkt an der Sensoreinheit über Bilderkennungsprogramme klassifizieren. Übermitteln verschiedene Sensoren widersprüchliche Daten, werden un plausible Werte herausgefiltert. Bei dynamischen Objekten wird zusätzlich noch die Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung bestimmt. Die Geschwindigkeit, mit der sich ein Objekt auf das autonome Fahrzeug zu- bzw. von ihm wegbewegt, kann mit Radar- bzw. Lidar-Sensoren relativ gut direkt bestimmt werden. Komplizierter ist die Bestimmung der Geschwindigkeit in Querrichtung. Die Dynamik der Querbewegung kann beispielsweise über Vergleich und Verfolgung von Bildsequenzen, das sogenannte „Tracking“, abgeschätzt werden. Tracking verwendet spezielle Filterfunktionen, um die rohen Sensordaten zu verstetigen und fehlende Objektdaten infolge von Objektverdeckungen zu ergänzen [29].

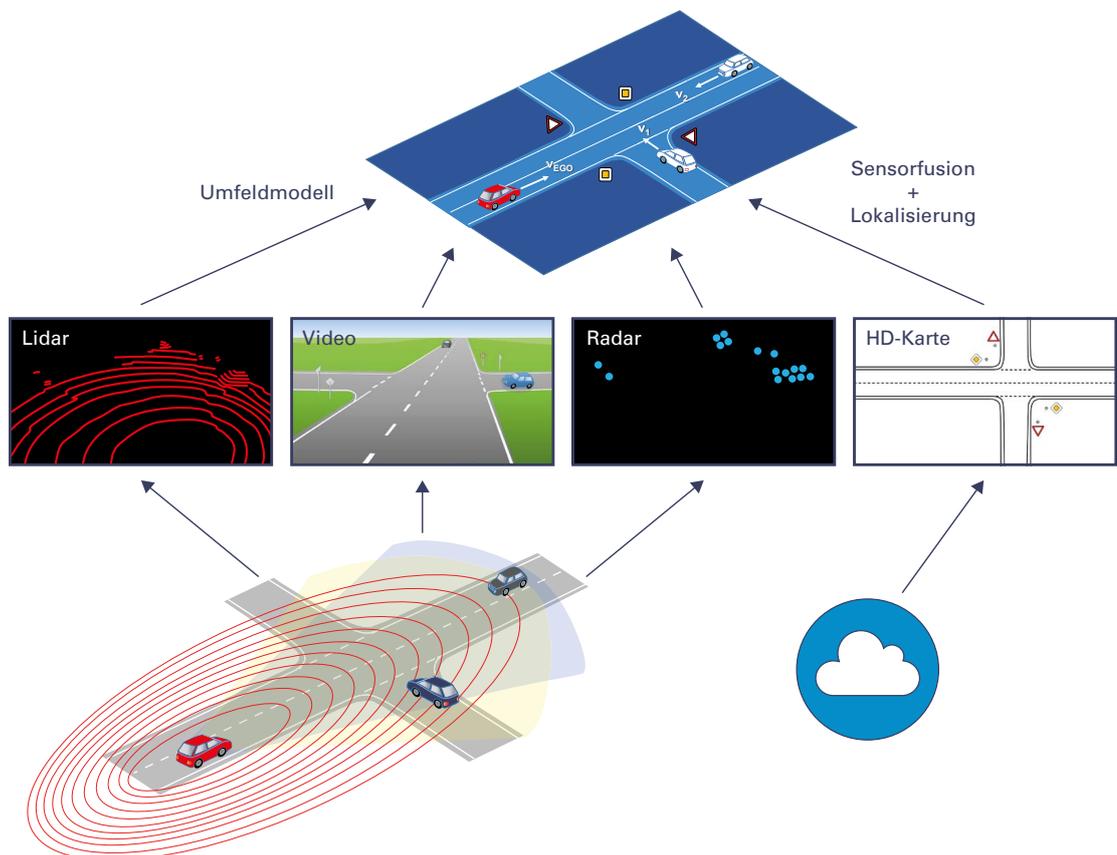
Im nächsten Schritt erfolgt die Lokalisierung des autonomen Fahrzeugs und der Objekte in der Umgebung. Autonome Fahrzeuge müssen ihre absolute Position allein schon deswegen kennen, um den beabsichtigten Zielort zuverlässig zu erreichen. Dazu genügt eine gewöhnliche Satellitennavigation mit einer Genauigkeit von wenigen Metern. Für eine exakte Zuordnung der Verkehrsteilnehmer oder Verkehrszeichen zu bestimmten Fahrstreifen ist allerdings eine Genauigkeit im Zentimeterbereich erforderlich [29, 55]. Dieser Grad der Genauigkeit kann durch den Abgleich bestimmter Merkmale der Umgebung (z.B. Verkehrszeichen als „Landmarken“) mit hochpräzisen digitalen Karten sowie einer exakten Referenzierung beispielsweise mit dem differenzialen globalen Positionierungssystem (DGPS) erreicht werden [11].

Diese Methode der Lokalisierung hat mehrere grundlegende Nachteile. Wegen des dazu benötigten hohen Detaillierungsgrads der digitalen Karten ist viel Speicherkapazität pro Kilometer Straße und eine entsprechend hohe Rechnerleistung erforderlich. Dazu kann diese aufwendige Karte aus Kostengründen nur in sehr unregelmäßigen und großen Zeitintervallen aktualisiert werden. Deswegen können kurzzeitige Änderungen der Verkehrsführungen aufgrund von Arbeitsstellen in digitalen Karten nicht dargestellt werden [31, 55]. Zudem können die für die Lokalisierung wichtigen Landmarken beseitigt oder durch Verkehrsteilnehmer verdeckt sein. Innerhalb von Häuserschluchten in städtischen Gebieten oder im Bereich von Tunneln ist ein Empfang des DGPS nicht oder nur eingeschränkt gewährleistet [55].

Eine alternative Möglichkeit zur Lokalisierung von Objekten im Zentimeterbereich, die ohne ein hochgenaues Navigierungssatellitensystem auskommt, stellt das permanente Vergleichen der 3D-Punktwolke des fahrzeuggebundenen Lidar-Sensors mit einer hochgenauen georeferenzierten Straßenkarte dar. Wenn die beste Übereinstimmung der Lidar-Punktwolke mit Landmarken in der vordefinierten Straßenkarte gefunden ist, kann die genaue Position mithilfe der georeferenzierten Karte bestimmt werden [29].

Nach [31] hat die Firma Mobileye mit dem sogenannten Road Experience Management (REM™) eine Methode entwickelt, um eine sehr aktuelle digitale Karte zu gewährleisten. Mobileye speichert die bereits klassifizierten und lokalisierten Objekt-Daten seiner Video-Sensoren, die millionenfach in Serienfahrzeugen eingebaut sind, anonymisiert in einer Cloud ab. Bei diesem als „crowd sourcing“ und „harvesting“ bezeichneten Vorgang werden pro Fahrzeug nur wenige wichtige Elemente wie Straßenränder, Markierungen und Verkehrszeichen abgespeichert. Die Befahungsdaten werden kontinuierlich in einer als „Roadmap“ bezeichneten digitalen Karte aggregiert. Die Karte aktualisiert sich bei der Durchfahrt von Fahrzeugen mit Mobileye-Sensoren automatisch und ist somit zumindest auf Straßen mit hoher Verkehrsbelastung sehr aktuell. Diese Karte liefert einem autonomen Fahrzeug neben Informationen zu Fahrbahnrändern und wichtigen statischen Objekten der Straßenausstattung auch Hinweise zur mittleren Lage der Fahrspur und zur durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeit, der zuvor auf dieser Strecke durchgeführten Kraftfahrzeuge.

» Abb. 32  
Wahrnehmungsebene

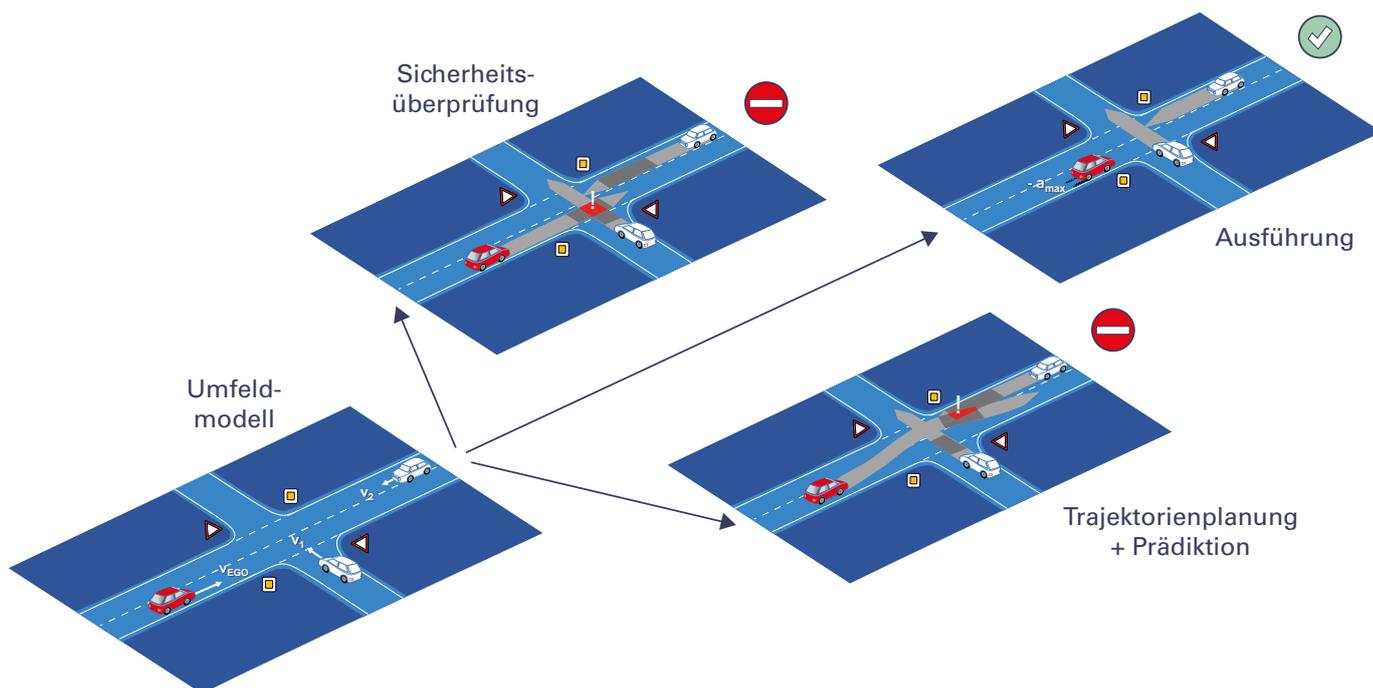


Nach der Kategorisierung und Lokalisierung fasst ein Prozessor alle statischen und dynamischen Sensordaten sowie die Daten der Hintergrundkarte zusammen – auch Sensorfusion genannt – und erstellt daraus ein virtuelles Umfeldmodell » Abb. 32. Dieses Modell dient als Grundlage für die Planungsebene.

In der **Planungsebene** wird das Fahrmanöver des autonomen Fahrzeugs unter Berücksichtigung der umgebenden statischen und dynamischen Objekte und unter Einbeziehung der Navigationsziele geplant. Ergebnis ist ein zeitreferenzierter Fahrpfad, die sogenannte Trajektorie. Die gewünschte Fahrtroute bis zum gewählten Zielort kann mit Hilfe von Satellitennavigation und digitaler Straßenkarte in eine Trajektorie umgerechnet werden. Der Planungshorizont dieser Navigationsaufgabe umfasst meist einen relativ langen Zeitraum und wird auch „Missionsplanung“ genannt. Daneben müssen für kurzfristige taktische Manöver wie Anhalten, Ausweichen, Fahrstreifenwechsel oder Einfädelvorgänge ebenfalls geeignete Fahrpfade ausgeführt werden [9].

Die Fahrstrategie besteht darin, für das autonome Fahrzeug in jeder Verkehrssituation eine kollisionsfreie und sicher zu befahrende Trajektorie zu finden. Diese muss wegen der sich ständig wechselnden Objekte der Umgebung in sehr kurzen Zeitintervallen immer wieder neu berechnet werden [46]. Moderne Steuerungssysteme autonomer Fahrzeuge schaffen dies in einer Frequenz von zehn Berechnungsschritten pro Sekunde [46, 50]. Sowohl die Navigationsaufgabe als auch das künftige Verhalten des Umfelds muss in die Trajektorienplanung einbezogen werden [55]. Eine Vorhersage der zeitlichen Entwicklung der umgebenden dynamischen Objekte („Prädiktion“) ist allerdings nur für einen Zeithorizont von maximal einer Sekunde ausreichend genau [32]. Bei längeren Prognosezeiträumen hilft das Erkennen von bekannten Bewegungsmustern oder auch das richtige Deuten von bestimmten Verkehrsszenarien („Szenenverständnis“), die Genauigkeit der Vorhersage zu erhöhen. Beispielsweise müssen Personen in der Nähe eines Fußgängerüberwegs als potentiell gefährliche Situation erkannt werden [11].

» Abb. 33  
Planungsebene



Insbesondere für Ausweich- oder Spurwechselmanöver ergibt sich meist ein ganzes Bündel von fahrbaren Trajektorien. Zur Auswahl der sichersten Fahrlinie findet daher eine Sicherheitsüberprüfung statt. Dazu werden mit unterschiedlichen Metriken die vorhergesagten Trajektorien für das autonome Fahrzeug und für alle umgebende dynamischen Objekte hinsichtlich ihrer Kollisionswahrscheinlichkeit bewertet » [Abb. 33](#). Eine häufig verwendete Metrik ist die Time-to-Collision (TTC). Sie gibt die Zeit bis zu einer möglichen Kollision des autonomen Fahrzeugs mit einem anderen Objekt an, wenn keine Veränderung der Fahrgeschwindigkeiten oder der Bahnkurven stattfindet [\[54\]](#). Bei anderen Sicherheitsüberprüfungsmethoden werden feste Beschleunigungs- bzw. Verzögerungswerte für bestimmte Szenarien vorgegeben und daraus die erforderlichen Sicherheitsabstände berechnet. In probabilistischen Ansätzen werden für bewegte Objekte Räume errechnet, die mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erreicht werden können. Die Sicherheitsüberprüfung zielt in diesem Fall darauf ab, eine Überlappung der erreichbaren Räume und damit eine Kollision mit hoher Wahrscheinlichkeit zu vermeiden [\[32\]](#).

In den oben genannten Fällen werden in der Prädiktion alle umgebende Objekte als Gefahrenquelle aufgefasst, was zu einer sehr defensiven Fahrweise des autonomen Fahrzeugs führen kann. Eine dichtere Nutzung des befahrbaren Bereichs, beispielsweise zum Einfädeln bei starkem Verkehr, lässt sich nur durch eine bessere Kooperation des autonomen Fahrzeugs mit anderen Verkehrsteilnehmern erreichen [\[17\]](#). Ein alternativer Ansatz für eine optimierte Fahrweise könnte darin bestehen, die mittels mathematischer Formeln berechneten Sicherheitsabstände mit semantischen Regeln zu ergänzen [\[50\]](#).

Am Ende der Informationsverarbeitung von automatisierten Fahrfunktionen ist es die Aufgabe der Ausführungsebene, exakte Steuerbefehle zum Lenken, Bremsen und Beschleunigen des autonomen Fahrzeugs zu geben und dieses entlang der berechneten Trajektorie zu führen. Dabei muss nicht nur eine sichere Fahrzeugführung, sondern auch ein guter Fahrkomfort erreicht werden [\[55\]](#). Damit die Ansteuerung nicht als ruckartig empfunden wird, erfolgt sie meist hochfrequent etwa alle 10 Millisekunden [\[46\]](#). Zum Aufgabenbereich der Ausführungsebene gehören auch stabilisierende Maßnahmen (z.B. bei Seitenwind oder bei großer Querneigung) und weitere Aufgaben wie das Betätigen des Blinkers oder das Hupen bei Gefahr [\[9\]](#).

### 3.3 Sicherheitsüberprüfung autonomer Fahrzeuge

#### Allgemeine Grundlagen

Alle Aufgaben der Wahrnehmungsebene, Planungsebene und Ausführungsebene werden von einem autonomen Fahrzeug selbstständig ausgeführt. Ob autonome Fahrzeuge deswegen weniger Unfälle verursachen als von Menschenhand gesteuerte Fahrzeuge, ist damit noch nicht geklärt. Im Jahr 2017 hat die vom Bundesverkehrsminister eingesetzte Ethik-Kommission „Ethische Regeln für den automatisierten und vernetzten Fahrzeugverkehr“ aufgestellt. Regel Nummer 1 besagt, dass teil- und vollautomatisierte Systeme „zuerst der Verbesserung der Sicherheit aller Beteiligten im Straßenverkehr“ dienen sollen. Erst in zweiter Linie soll es „um die Steigerung von Mobilitätschancen und die Ermöglichung weiterer Vorteile“ gehen. Unter Nummer 2 wird betont, dass die Zulassung automatisierter Systeme nur dann vertretbar sei, „wenn sie im Vergleich zu menschlichen Fahrleistungen zumindest eine Verminderung von Schäden im Sinne einer positiven Risikobilanz verspricht.“ [8]. Für einen statistisch gesicherten Nachweis, dass ein autonomes Fahrzeug weniger tödliche Unfälle verursacht als ein Mensch am Steuer, müssten Testfahrzeuge mehrere Milliarden Kilometer unfallfrei zurücklegen. Zudem wäre bei jeder Änderung am Steuerungs-Algorithmus eine Wiederholung der Testreihe erforderlich [50]. Dies ist mit einer geringen Anzahl von Testfahrzeugen innerhalb einer vernünftigen Zeit nicht zu bewerkstelligen. Deswegen haben sich bereits viele Forschungsarbeiten damit beschäftigt, wie dennoch eine effiziente Sicherheitsüberprüfung für autonome Fahrzeuge verwirklicht werden könnte.

Bei der Sicherheitsüberprüfung des Regelsystems eines autonomen Fahrzeugs muss grundsätzlich zwischen funktionaler und nominaler Sicherheit unterschieden werden.

Die funktionale Sicherheit befasst sich mit der Zuverlässigkeit der mechanischen, elektrischen und elektronischen Bauteile, die beim Versagen Gefahrensituationen auslösen können.

Dagegen gewährleistet die nominale Sicherheit, dass das beabsichtigte Fahrmanöver so konzipiert und programmiert ist, dass keine Gefährdung auftritt, solange die funktionale Sicherheit gegeben ist – also keine technische Störung vorliegt [43, 50].

Während die Prüfkriterien zur funktionalen Sicherheit durch ISO-Normen geregelt sind, ist das Vorgehen zur Überprüfung der nominalen Sicherheit noch nicht abschließend durch ein Regelwerk festgelegt. Die nominale Sicherheit bezieht sich beim autonomen Fahrzeug im Wesentlichen auf die Erfassung von Objekten und Ereignissen sowie auf die dadurch ausgelöste Reaktion, abgekürzt OEDR (Object and Event Detection and Response). Die Sicherheitsüberprüfung muss demnach gewährleisten, dass das System alle relevanten Objekte und Ereignisse korrekt erfasst und ein geeignetes Fahrmanöver auslöst. Dies muss für die gesamte zulässige Betriebsdomäne des autonomen Fahrzeugs, die sogenannten ODD (Operational Design Domain), erfüllt sein. Die ODD kann zum Beispiel umweltbedingten, geografischen und tageszeitlichen Einschränkungen unterliegen oder bestimmte Verkehrs- und Fahrbahnmerkmale voraussetzen.

#### Methoden der Sicherheitsüberprüfung

Zur Sicherheitsüberprüfung von Assistenzsystemen wie beispielsweise ACC (Adaptive Cruise Control) oder AEBS (Advanced Emergency Braking System) werden funktionsbasierte Methoden eingesetzt. Für diese Systeme legt man einzelne Tests fest, um die grundlegenden Funktionalitäten zu bestätigen. Voraussetzung ist, dass die Funktionalität in jeder vernünftigerweise anzunehmenden Situation definiert ist. Das stellt jedoch bei Fahrfunktionen autonomer Fahrzeuge eine nicht leistbare Aufgabe dar, weil eine unendlich große Anzahl verschiedener Verkehrssituationen auftreten kann [43].

Ein vielversprechender Ansatz zur Abschätzung der Verkehrssicherheit von autonomen Fahrzeugen ist die sogenannte szenarienbasierte Sicherheitsüberprüfung. Zum Begriff Szenario finden sich in der Fachliteratur verschiedene Definitionen. Nach [43] ist ein Szenario eine zeitliche Abfolge von Szenenelementen einschließlich der Aktionen und Ereignisse der teilnehmenden Elemente, die eine Zeitdauer von etwa zehn Sekunden umfasst. Unter Aktionen und Ereignissen versteht man beispielsweise Fahrmanöver wie das Hineinschneiden in den Fahrstreifen oder das Folgen eines vorausfahrenden Fahrzeugs. Zu den Elementen werden unter anderem Straßentrasierung, Verkehrsteilnehmerarten, statische und dynamische Objekte sowie Umfeldbedingungen gezählt [19].

Grundvoraussetzung für eine szenarienbasierte Sicherheitsüberprüfung ist eine ausreichend große Zahl an Szenarien. Zur Generierung von Szenarien kann auf abstraktes Expertenwissen, auf Richtlinien für die Anlage und den Betrieb von Straßen (z.B. die RAA, RAL, RAS, RSA), auf Unfall- und Verkehrsdaten sowie auf Erkenntnisse aus Umfragen zurückgegriffen werden. Eine andere Quelle für Szenarien stellen die gespeicherten Fahrzeugdaten von Testfahrten dar [43]. Je nach Detaillierungsgrad und Maschinenlesbarkeit können die so gewonnenen Szenarien in funktionale, logische und konkrete Szenarien aufgeteilt werden. Funktionale Szenarien werden lediglich verbal (eventuell verdeutlicht durch eine Skizze) beschrieben und beinhalten keine genauen Parametergrößen »Abb. 34. In logischen Szenarien werden Parameterbereiche definiert (z.B. Fahrstreifenbreite von 2,5 – 3,0 m) und in

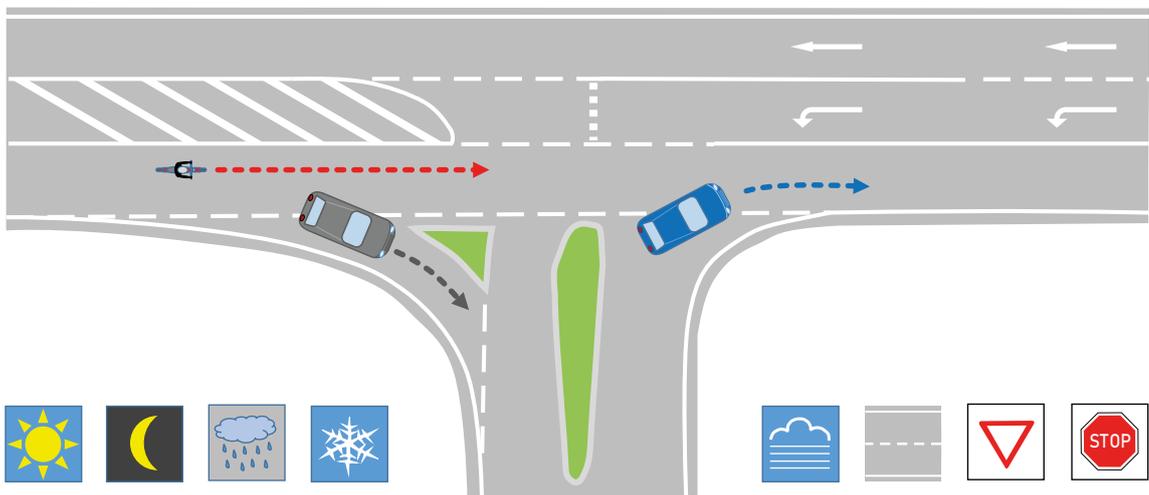
konkreten Szenarien sind exakte Parameterwerte vorgegeben [19, 43]. Somit kann durch die Wahl konkreter Werte aus den Parameterbereichen eines logischen Szenariums ein konkretes Szenario erzeugt werden [19].

Die generierten Szenarien müssen nun nach einem einheitlichen und nachvollziehbaren Schema klassifiziert und in einer Datenbank abgespeichert werden. Im PEGASUS-Projekt werden sechs unabhängige Ebenen für eine systematische Beschreibung von Szenarien vorgeschlagen [10]:

1. Straßengeometrie
2. Straßenausstattung und Verkehrsregeln
3. Temporäre Veränderungen und Ereignisse (z.B. Arbeitsstellen)
4. Dynamische Objekte (verkehrsrelevante Objekte wie Kfz- und Fußverkehr)
5. Umfeldbedingungen (z.B. Lichtverhältnisse, Fahrbahnglätte)
6. Digitale Informationen (c2x, digitale Karten)

Bei der Sicherheitsüberprüfung eines autonomen Fahrzeugs werden alle Szenarien, die für die ODD relevant sind, ausgewählt und in einem Szenarien-Katalog gesammelt. Es muss gewährleistet sein, dass im Szenarien-Katalog neben den Grundszenarien auch alle denkbaren kritischen und komplexen Szenarien enthalten sind. In kritischen Szenarien treten Aktionen auf, in denen das autonome Fahrzeug ein Notbrems- oder Notausweichmanöver ausführen muss. Komplexe Szenarien enthalten beispielsweise Situationen mit dichtem Verkehr, untypischer Straßengestaltung oder außergewöhnlichen Witterungsereignissen [15].

» Abb. 34  
Beispiel eines  
funktionalen  
Szenarios



Mit einer zufälligen Stichprobe werden aus dem Szenarien-Katalog mehrere Szenarien für eine Sicherheitsüberprüfung ausgewählt und dafür verschiedene Kombinationen von Testparametern festgelegt. Dies soll vermeiden helfen, dass in der Fahrzeugentwicklung eine Optimierung für wenige Testfälle vorgenommen wird („overfitting“) und somit die erzielten Messergebnisse nur unzureichend das Fahrverhalten im realen Verkehr widerspiegeln [15].

Als Testmethoden bieten sich Simulationen, Überprüfungen auf Teststrecken und Testfahrten auf öffentlichen Straßen an. Jede dieser Methoden hat ihre Schwächen und Stärken. Simulationen haben den Vorteil, dass ohne großen Zeit- und Kostenaufwand sehr viele Testläufe möglich sind. Zudem lassen sich Szenarien – auch mit besonders gefährlichen Aktionen – mit mehreren Fahrzeugen simulieren. Allerdings muss die Übereinstimmung des Simulationsprogramms mit den Abläufen im realen Verkehr sorgfältig durch Vergleichstests auf Teststrecken oder in Testfahrten nachgewiesen werden. Die Überprüfung auf Teststrecken ist mit entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen auch für kritische Szenarien durchführbar. Die Variationsbreite der Szenarien wird allerdings durch die baulichen und technischen Möglichkeiten des Testgeländes eingeschränkt. Testfahrten sind eine sehr wirklichkeitsgetreue Methode der Sicherheitsüberprüfung, mit der man auch Verhaltensmuster wie zum Beispiel das Einfädeln im dichten Verkehr oder das Befahren komplexer Knotenpunkte realitätsnah überprüfen kann. Nachteilig ist, dass für Testfahrten ein hoher Zeit- und Kostenaufwand entsteht und eine Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer nicht ausgeschlossen werden kann [16]. Die Sicherheitsüberprüfung sollte sich immer aus Tests jeder dieser drei zuvor genannten Methoden zusammensetzen.

### 3.4 Verfahrensablauf zur Genehmigung autonomer Fahrzeuge

Bis 2021 gab es auf europäischer Ebene keinen ausreichenden Rechtsrahmen für die Genehmigung autonomer Fahrzeuge. Es wurde auch bei Probefahrten autonomer Fahrzeuge immer eine Person, die das Steuer jederzeit übernehmen kann, vorausgesetzt. In Deutschland wurde daher mit dem Gesetz zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) und des Pflicht-

versicherungsgesetzes – Gesetz zum autonomen Fahren vom 12.07.2021 ein nationaler Rechtsrahmen für die Einführung des Regelbetriebs für autonome Fahrzeuge geschaffen [53]. Diese Gesetzesänderung ermöglicht erstmals, dass Fahrzeuge ohne fahrzeugführende Personen betrieben werden dürfen. Die autonomen Fahrzeuge müssen sich beim Erreichen ihrer Systemgrenzen notfalls selbstständig in den sogenannten „risikominimalen Zustand“ versetzen können, also beispielsweise ihre Geschwindigkeit reduzieren und gegebenenfalls an einer sicheren Stelle anhalten. Außerdem muss immer auch über eine Leitstelle – die „Technische Aufsicht“ – ein externer Zugriff möglich sein. Die Technische Aufsicht darf allerdings nicht aus der Ferne das autonome Fahrzeug direkt ansteuern, sondern nur vorprogrammierte Fahrmanöver aktivieren, die anschließend vom Steuerungssystem des Fahrzeugs selbstständig überprüft und ausgeführt werden. Als weiterer neuer Begriff wurde im Straßenverkehrsgesetz der „festgelegte Betriebsbereich“ eingeführt. Der festgelegte Betriebsbereich definiert, in welchem Straßennetzbereich ein autonomes Fahrzeug betrieben werden darf.

Im Straßenverkehrsgesetz wird ein dreistufiger Genehmigungsprozess vorgegeben:

- Stufe 1: Betriebserlaubnis durch das Kraftfahrt-Bundesamt nach § 1e (1) Ziffer 2 StVG
- Stufe 2: Genehmigung des festgelegten Betriebsbereichs durch die gemäß Landesrecht zuständige Behörde nach § 1e (1) Ziffer 3 StVG
- Stufe 3: Zulassung zur Teilnahme am öffentlichen Straßenverkehr durch Zulassungsstellen nach § 1e (1) Ziffer 4 StVG

Das genaue Verfahren zu diesen drei Genehmigungsschritten wurde 2022 mit der Verordnung zur Genehmigung und zum Betrieb von Kraftfahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion in festgelegten Betriebsbereichen (Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs- und-Betriebs-Verordnung – AFGBV) geregelt [57].

#### ÖPNV On-Demand

In dieser Verordnung ist außerdem detailliert festgelegt, welche Anforderungen an den Hersteller, den Halter und die Technische Aufsicht gestellt werden bzw. welche Pflichten auf diese zukommen.

Mit Organisationsschreiben vom 16.12.2021 wurde der Landesbaudirektion Bayern (LBD) die Aufgabe der Betriebsbereichsgenehmigung für das Straßennetz in Bayern ohne Autobahnen übertragen. Für die Bearbeitung dieser Aufgabe wurde in der Abteilung 7 – Zentrale Landesaufgaben Straße und Verkehr eine Projektgruppe „Autonomes Fahren – Betriebsbereichsgenehmigung“ eingerichtet. Sie ist fachaufsichtlich dem Bayerischen Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr – Referat 44 zugeordnet. Die Aufgabe der Projektgruppe besteht darin, einen Verfahrensablauf für den Genehmigungsprozess in Bayern zu entwickeln. Dazu müssen technische und rechtliche Randbedingungen für das Antragsverfahren sowie der Verwaltungsvollzug erarbeitet werden. Offene Rechtsfragen sind in Abstimmung mit dem BMDV, dem Kraftfahrt-Bundesamt und dem StMB zu klären.

Sobald der genaue Verfahrensablauf in Bayern feststeht, wird die Hauptaufgabe der Projektgruppe darin bestehen, Anträge zur Genehmigung eines Betriebsbereichs zu prüfen und zu genehmigen. Dies umfasst auch die Beteiligung der durch den Betrieb autonomer Fahrzeuge betroffenen Gebietskörperschaften und weiterer Träger öffentlicher Belange.

Insbesondere muss überprüft werden, ob die vom Kraftfahrt-Bundesamt bestätigte Betriebsdomäne des autonomen Fahrzeugs (ODD) ein sicheres Befahren im festgelegten Betriebsbereich ermöglicht und ob der Halter bzw. die Technische Aufsicht die Anforderungen hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit erfüllen.

Es zeichnet sich ab, dass in Deutschland drei verschiedene Konzepte für das autonome Fahren in nächster Zeit zur Genehmigung vorgelegt werden könnten.

Die flexible Personenbeförderung auf Anfrage – On-Demand-Mobilität genannt – sorgt für einen bedarfsorientierten ÖPNV und dient als Lückenschluss zwischen dem Haltepunkt des Linienverkehrs und dem Zielort. Das deutschlandweit größte Angebot in der On-Demand-Mobilität bieten der Rhein-Main-Verkehrsverbund (RMV) und die Deutsche Bahn (DB) gemeinsam mit lokalen Partnern in der Region Rhein-Main an. Nach Ansicht von RMV kann ein großflächiges Angebot von On-Demand-Verkehren nur mit autonom betriebenen Bussen wirtschaftlich realisiert werden [56]. Da die Fahrtrouten der On-Demand-Fahrzeuge wenige klar definierte Strecken umfassen, erscheint die Überprüfung des festgelegten Betriebsbereichs hier bewältigbar.

#### Hub-to-Hub Güterverkehr

In Deutschland fehlen heute schon mindestens 60.000 Berufskraftfahrer. Eine Lösung dieser Personalknappheit könnte künftig der Einsatz fahrerloser Lkw darstellen [59]. Experten gehen davon aus, dass in wenigen Jahren ein vollautomatisierter LKW-Pendelverkehr zwischen Logistikzentren möglich sein wird. Dieses auch Hub-to-Hub-Güterverkehr genannte Konzept wird derzeit im Projekt ATLAS-L4 mit autonomen LKW der Firma MAN Truck & Bus getestet. Eine Serienproduktion von selbstfahrenden Lkw strebt der Hersteller Daimler Truck bis Ende der 2020er Jahre an. Auch andere Lkw-Hersteller wie Scania oder Volvo experimentieren mit autonomen Trucks, teilweise auch mit elektrischem Antrieb. Experten rechnen aber damit, dass die Entwicklung autonomer Steuerungssysteme für Lkw länger dauern wird als für Pkw [1].

Umfangreiche Sammlungen relevanter Autobahnszenarien liegen für autonome Pkw bereits vor. Szenarien mit Lkw können aus den Daten der Probefahrten generiert werden. Beim Hub-to-Hub-Güterverkehr dürfte der Betriebsbereich zwischen bestimmten Anschlussstellen einer Autobahn klar umrissen sein. Damit erscheint eine Betriebsbereichsprüfung relativ einfach.

## Robotaxis

Auf der IAA Mobility 2021 kündigten Intel und Sixt an, gemeinsam einen Taxi-Dienst mit autonomen Fahrzeugen in München anzubieten. Zu diesem Zweck wird Mobileye ein Serienfahrzeug mit entsprechender Hard- und Software ausstatten. Mobileye nimmt weltweit eine Führungsrolle ein in der Entwicklung von Kamerasensorik, maschinellem Lernen, Datenanalyse, Lokalisierung und Kartierung für das hochautomatisierte Fahren. Sixt wird sich als Fahrzeughalter um Bereitstellung, Wartung und Betrieb der Flotte kümmern [36, 51].

Der Betriebsbereich soll voraussichtlich das Stadtgebiet von München und den Bereich nördlich von München bis zum Flughafen umfassen. Die zulässige Betriebsdomäne (ODD) des autonomen Taxis muss somit ein sicheres Befahren von Autobahnen, Landstraßen und innerörtlichen Straßen auf einem relativ großen Straßennetz sicher beherrschen. Die Überprüfung dieses komplexen und großräumigen Betriebsbereichs wird sicherlich eine große Herausforderung darstellen.

### 3.6. Ausblick

Die Mitglieder der Projektgruppe Autonomes Fahren – Betriebsbereichsgenehmigung können in ihrer Tätigkeit auf die gebündelte Fachkompetenz in den Zentralstellen zurückgreifen.

Die umfangreiche Unfalldatenbank der Zentralstelle für Verkehrssicherheit (ZVS) kann wertvolle Dienste leisten, um die Unfallsituation in einem für das autonome Fahren festgelegten Betriebsbereich genau zu analysieren und gegebenenfalls daraus weitere Prüf-Szenarien zu entwickeln. Als Ausbildungsstelle für das Sicherheitsaudit liegen in der ZVS Erfahrungen in der Auditierung von Bestandsstrecken vor.

Über das Arbeitsstellenintegrationssystem (Arbis) kann die Zentralstelle Verkehrsmanagement (ZVM) den Betreibern autonomer Fahrdienste darlegen, wie Daten von Arbeitsstellen übermittelt werden. Die ZVM kann auch ihr umfangreiches Wissen zur Entwicklung kooperativer Systeme mit c2x-Kommunikation als Baustein für das automatisierte und vernetzte Fahren einbringen. Geografische Informationssysteme spielen eine wichtige Rolle bei der detaillierten Abbildung

eines festgelegten Betriebsbereichs. Die Zentralstelle Straßeninformationssysteme (ZIS) kann mit ihrem Expertenwissen für einen koordinierten Ablauf des Genehmigungsverfahrens und der anschließenden Begleitung des Betriebsablaufs beitragen.

Die eingangs skizzierte Entwicklungsgeschichte der autonomen Mobilität ist noch lange nicht abgeschlossen. Wir werden in den nächsten Jahren sicherlich noch viele Entwicklungsschritte hin zu noch besseren autonomen Fahrzeugen beobachten können. Dabei darf aber die Regel Nummer 2 der Ethik-Kommission in ihrem Bericht von 2017 [8] niemals außer Acht gelassen werden:

„Der Schutz von Menschen hat Vorrang vor allen anderen Nützlichkeitsabwägungen. Ziel ist die Verringerung von Schäden bis hin zur vollständigen Vermeidung. Die Zulassung von automatisierten Systemen ist nur vertretbar, wenn sie im Vergleich zu menschlichen Fahrleistungen zumindest eine Verminderung von Schäden im Sinne einer positiven Risikobilanz verspricht.“

# Unfallentwicklung im Überblick

Gegenstand von Unfalluntersuchungen sind grundsätzlich alle polizeilich im Rahmen der Verkehrsunfallaufnahme registrierten Unfälle. Bei Unfalluntersuchungen ist die Unfallschwere ein besonders wichtiges Unterscheidungsmerkmal. Entsprechend der schwersten Unfallfolge lassen sich die Unfälle in vier Unfallkategorien einteilen. Die Unfallkategorie (Unfall mit Getöteten, Schwerverletzten, Leichtverletzten oder Unfall mit Sachschaden) folgt aus dem größten Schaden, den mindestens ein am Unfall Beteiligter erlitten hat. Im Anhang zu diesem Jahresheft ist beschrieben, wie die einzelnen Unfallkategorien gemäß dem Gesetz über die Statistik der Straßenverkehrsunfälle voneinander abgegrenzt werden.

Für 2022 ist festzustellen, dass die Verkehrsunfälle im klassifizierten Straßennetz in Bayern im Vergleich zum noch durch die Corona-Pandemie beeinflussten Vorjahr erneut zugenommen haben. Wie aus » Tab. 3 ersichtlich, ist gegenüber dem Vorjahr sowohl die Zahl der Unfälle mit Personenschaden (+6,2 %), die Zahl der kategorisierten Unfälle mit Sachschaden (+1,4 %), als auch die Anzahl an Verletzten (+6,3 %) gestiegen. Dabei nahm die Anzahl der Schwerverletzten um 2,0 Prozent ab, die der Leichtverletzten um 8,2 Prozent erheblich zu. Insbesondere die Anzahl der Getöteten nahm sehr deutlich um 13,1 Prozent zu. In absoluten Zahlen heißt dies, dass 2022 auf den klassifizierten Straßen in Bayern 389 Personen bei Verkehrsunfällen starben und 33.910 Personen verletzt wurden.

» Tab. 3  
Kategorisierte Unfälle,  
Unfallfolgen und  
Veränderungen auf  
klassifizierten Straßen  
2021/2022 in Bayern

	2021	2022	21/22 %
Unfälle mit Personenschaden oder kategorisierte Unfälle mit Sachschaden U(P+S)	53.281	55.162	+ 3,5
davon Personenschadensunfälle U(P)	23.257	24.704	+ 6,2
davon Unfälle mit Sachschaden U(S)	30.024	30.458	+1,4
Getötete T	344	389	+13,1
Verletzte SV + LV	31.893	33.910	+6,3
davon Schwerverletzte SV	5.795	5.677	- 2,0
davon Leichtverletzte LV	26.098	28.233	+8,2
Unfälle mit Personenschaden U(P)	23.257	24.704	+ 6,2
davon außerorts	14.555	15.048	+3,4
davon innerorts	8.702	9.656	+11,0

Die Zahl der kategorisierten Verkehrsunfälle auf Gemeindestraßen in Bayern – die nicht Inhalt dieses Jahresheftes sind – hat gegenüber dem Vorjahr ebenfalls erheblich zugenommen. Im Jahr 2022 ereigneten sich hier 90.577 Unfälle mit Personen- oder Sach-

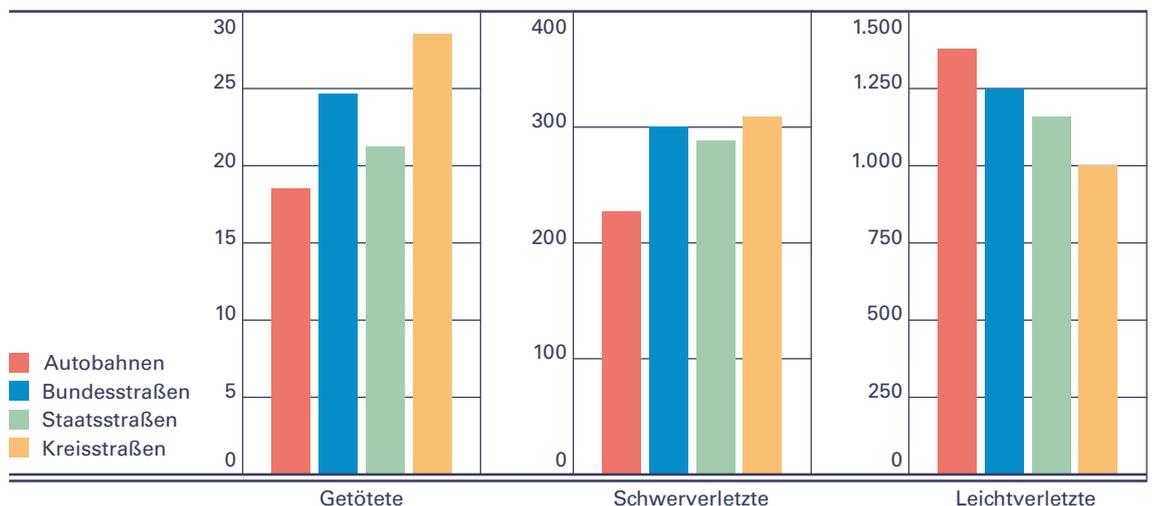
schaden, im Jahr 2021 waren es 82.727 Unfälle (+9,5 %). Die Zahl der Getöteten nahm im gleichen Zeitraum von 99 auf 130 Getötete (+ 31,3 %) massiv zu. Die Zahl der Verletzten stieg ebenso an, um 3.091 auf 27.881 Verletzte (+12,5 %).

Die mittlere Unfallschwere eines Unfallkollektivs lässt sich anhand des Verhältnisses von Unfallfolgen, z.B. der Anzahl an Verunglückten, zur Gesamtzahl an Unfällen dieses Kollektivs beschreiben. » Abb. 35 zeigt dies für die Anzahl der Getöteten, Schwer- bzw. Leichtverletzten pro 1.000 Unfällen mit Personenschaden des Jahres 2022 auf den klassifizierten Außerortsstraßen in Bayern. Demzufolge ist im Vergleich der Straßenklassen die Wahrscheinlichkeit, dass Verkehrsteilnehmende bei einem Personenschadensunfall getötet werden, auf Kreisstraßen am höchsten. Darüber hinaus können auch Unfallkosten, welche die volkswirtschaftlichen Folgen von Verkehrsunfällen beziffern, die Schwere von Unfällen abbilden. Alles in allem verur-

sachten die Unfälle auf klassifizierten Straßen in Bayern im Jahr 2022 volkswirtschaftliche Folgekosten in Höhe von rund 2,4 Mrd. Euro, davon mit 71 Prozent den weitaus größeren Anteil außerorts.

Einjährige Unfallauswertungen erlauben nur die Beurteilung der aktuellen Situation. Aufgrund des Einflusses der Zufälligkeit ermöglicht selbst ein Vergleich von absoluten Unfallzahlen und -folgen zweier aufeinanderfolgender Jahre keine langfristigen Aussagen. Deshalb sind für gesicherte Vergleichswerte über die langfristige Entwicklung des Unfallgeschehens stets größere Zeiträume zu betrachten.

» Abb. 35  
Unfallschwere:  
Verunglückte je  
1.000 Unfälle mit  
Personenschaden  
2022 nach Straßen-  
klasse außerorts in  
Bayern

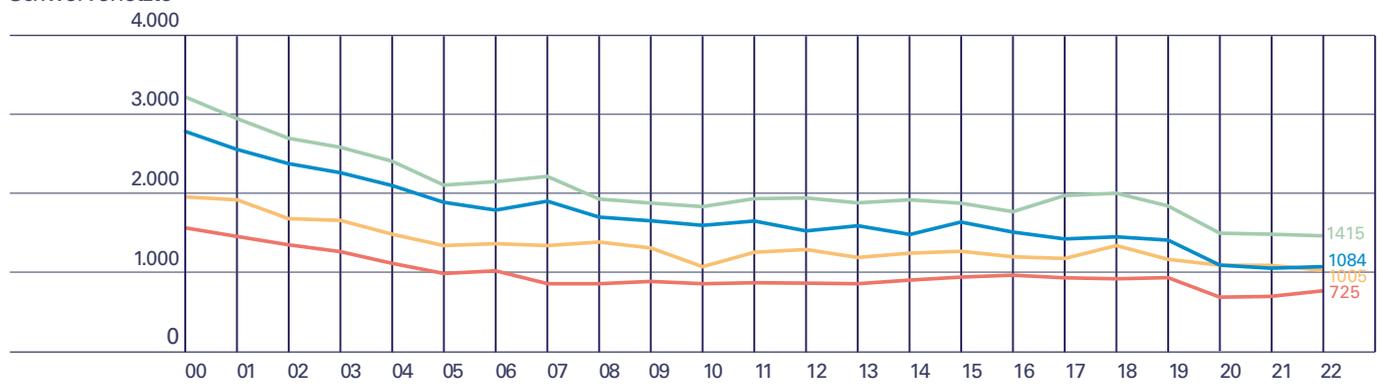


» Abb. 36  
 Unfallfolgen nach  
 Straßenklasse 2000 -  
 2022 außerorts in Bayern

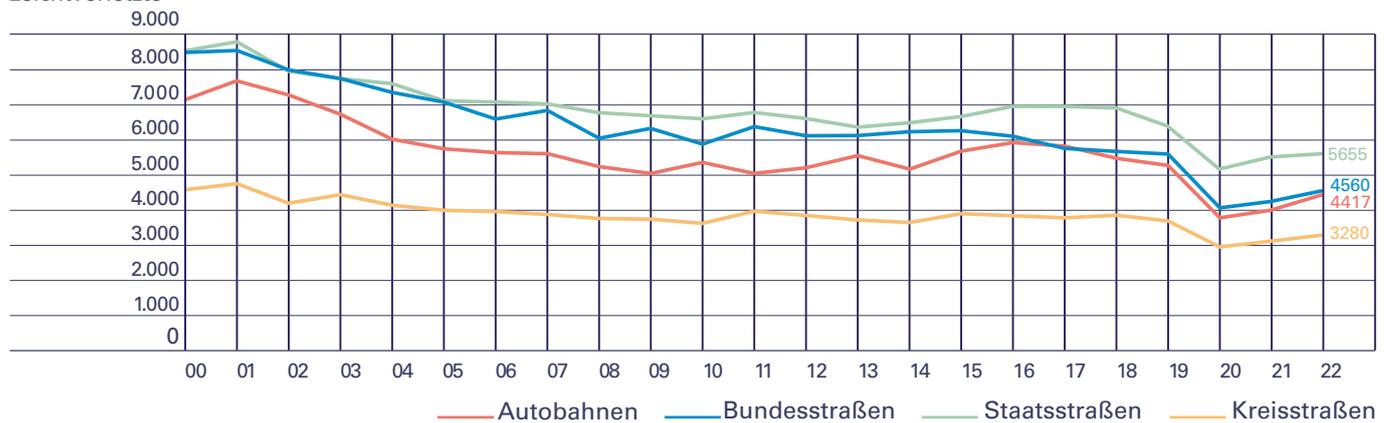
Getötete



Schwerverletzte



Leichtverletzte



Die Entwicklung der Unfallfolgen auf den klassifizierten Außerortsstraßen von 2000 bis 2022 in Bayern » [Abb. 36](#) zeigt einen deutlichen Rückgang bei den Getöteten in der ersten Dekade. In diesem Zeitraum konnte die Zahl der Getöteten mehr als halbiert werden - unabhängig von der Straßenklasse. Seit 2010 fällt der Rückgang bei den Getöteten verglichen mit den Vorjahren geringer aus. Bei der Zahl der im Straßenverkehr schwerverletzten Personen ist von 2000 bis 2010 ebenso eine beachtliche Abnahme festzustellen.

Im Vergleich zu den Getöteten ist sie mit 44 Prozent allerdings etwas geringer ausgeprägt. Auch bei den Schwerverletzten kann ab 2010 eine Trendänderung beobachtet werden. Die Zahl der Schwerverletzten veränderte sich über mehrere Jahre hinweg kaum. Ähnlich wie für Schwerverletzte sieht die Entwicklung der Leichtverletzten aus - mit dem Unterschied, dass der Rückgang der Leichtverletzten zwischen 2000 und 2010 mit rund 25 Prozent merklich moderater ausgefallen ist. Über alle Straßenkategorien sind die Auswirkungen der Corona-Pandemie in Form von deutlichen Unfallrückgängen - bezogen auf die Jahre 2020 mit 2022 verglichen mit den recht stabilen Unfallzahlen der Dekade zuvor - zu beobachten.

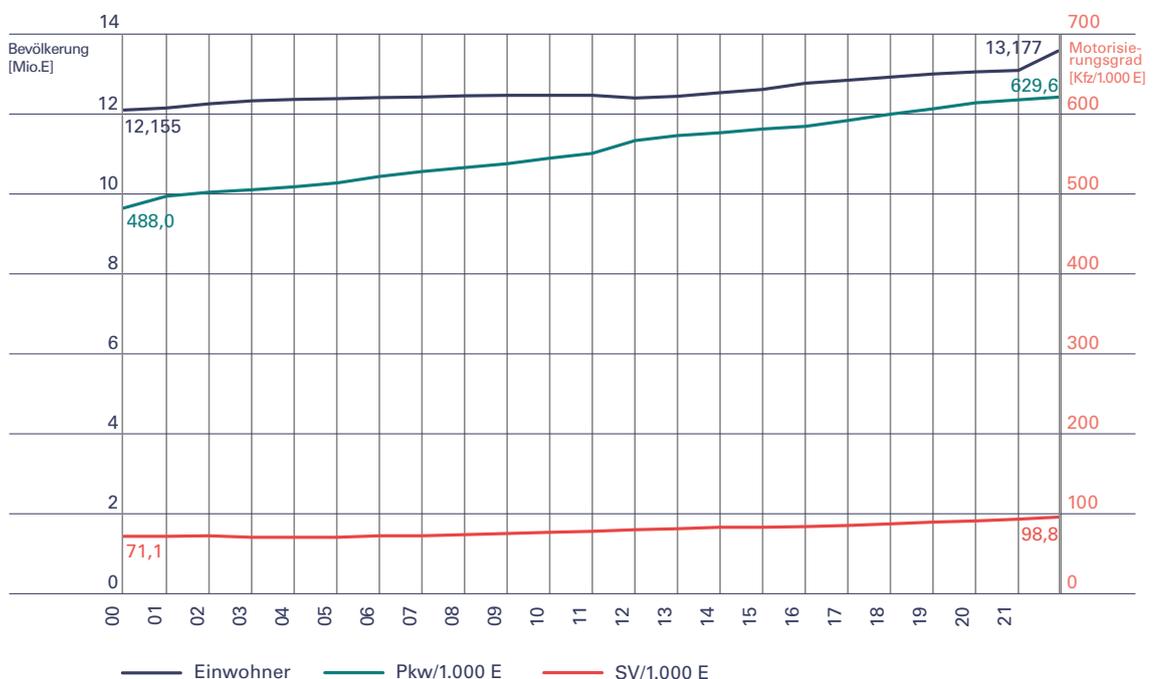
Die langfristigen Tendenzen werden von kurzzeitigen, unregelmäßigen Zu- und Abnahmen überlagert. Ursachen für kurzzeitige wie auch langfristige Trendabweichungen können witterungsbedingte Einflüsse, Veränderungen im Fahrzeugbestand, der jährlichen Fahrleistung, im Verkehrsrecht, im Sozialverhalten, im Rettungs- und Ausbildungswesen, die Einführung von neuen Sicherheits- und Überwachungstechniken aber genauso Innovationen im Straßenbau und -betrieb oder Umwidmungen sein.

## Bezugsgrößen des Unfallgeschehens

Verkehrsunfälle sind ohne Verkehrsgeschehen nicht möglich. Das Verkehrsaufkommen auf Bayerns Straßen wird wiederum maßgeblich beeinflusst von der Zahl der Einwohner und dem Bestand an Kraftfahrzeugen in Bayern. Das Verhältnis zwischen der Anzahl aller Kraftfahrzeuge und Einwohnerzahl wird als Motorisierungsgrad bezeichnet. Dieser beschreibt die Verfügbarkeit von Kraftfahrzeugen. Die nachstehende » Abb. 37 zeigt die Entwicklung der Einwohnerzahl und des Motorisierungsgrades in Bayern seit 2000. Die betrachteten Größen zeigen in dieser Zeitspanne einen jeweils moderaten Anstieg. Die

Einwohnerzahl ist insgesamt um 8,4 Prozent angewachsen: Beim Kfz-Bestand hingegen ist ein deutlich größerer Zuwachs von insgesamt 45 Prozent zu registrieren. Somit kamen im Jahr 2000 auf 1.000 Einwohner Bayerns insgesamt 559,1 Pkw oder Schwerverkehrsfahrzeuge (Lkw, Zugmaschinen, Busse), im Jahr 2022 waren es 728,4. Der Motorisierungsgrad für Fahrzeuge des Schwerverkehrs weist eine sehr ähnliche Entwicklung auf. Der Anteil von Schwerverkehrsfahrzeugen am gesamten Kfz-Bestand hat sich von 2000 nach 2022 kaum verändert (von 11,71 % auf 12,16 %).

» Abb. 37  
Entwicklung der Einwohnerzahl und des Motorisierungsgrades 2000-2022 in Bayern



Um das Unfallgeschehen gesamter Regionen miteinander vergleichen zu können, kann dieses auf die Einwohnerzahlen oder den zugehörigen Kfz-Bestand bezogen werden. Für den Vergleich von Straßen bzw. ganzer Straßennetze liefert

eine Relativierung der Unfalldaten mit den jeweiligen Längen der untersuchten Straßen(netze) oder der darauf abgewickelten Fahrleistung wesentlich bessere Ergebnisse.

Die Netzlängen der außerörtlichen Bundes-, Staats- und Kreisstraßen in Bayern weisen seit Jahren nur geringe Veränderungen auf. So hat sich das Netz der klassifizierten Landstraßen seit dem Jahr 2000 nur sehr geringfügig um 0,41 % (132,5 km) vergrößert. Demgegenüber steht im gleichen Zeitraum ein Zuwachs des Autobahnnetzes von 13,7%, was 306,8 Kilometern entspricht.

Die Verkehrsmenge, auch Verkehrsstärke genannt, gibt den Durchsatz an Kraftfahrzeugen pro Zeiteinheit, im Regelfall ein Kalenderjahr, wieder. Die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) wird zur Beurteilung von Sicherheit, Qualität und Leistungsfähigkeit des Verkehrsablaufs herangezogen. Bei der Beurteilung der Verkehrsstärken seit der Jahrtausendwende ist zu beachten, dass den DTV-Werten der Jahre 2000, 2005, 2010, 2015 und 2021 die Ergebnisse der amtlichen Straßenverkehrszählung zugrunde liegen, die Werte der übrigen Jahre wurden auf Basis der Zählergebnisse der automatischen Dauerzählstellen in Bayern hochgerechnet [5]. Zuletzt wurden hierfür auch Daten von Seitenradargeräten verwendet.

Die Jahresfahrleistung gibt an, wie viele Kilometer die Kraftfahrzeuge innerhalb eines Jahres auf einem bestimmten Netzabschnitt bzw. gesamten Straßennetz fortbewegt wurden. Sie errechnet sich als Produkt aus Straßenlänge und zugehörigem DTV-Wert (siehe Anhang). Die Gesamtfahrleistung bayerischer Autobahnen entspricht etwa der gesamten Fahrleistung aller klassifizierten Landstraßen in Bayern (Bundes-, Staats- und Kreisstraßen zusammengenommen). Für den Schwerverkehr hingegen zeigt sich eine solche Gleichverteilung nicht. Denn auf Autobahnen wird rund doppelt so viel Schwerverkehr abgewickelt wie auf den klassifizierten Landstraßen [5].

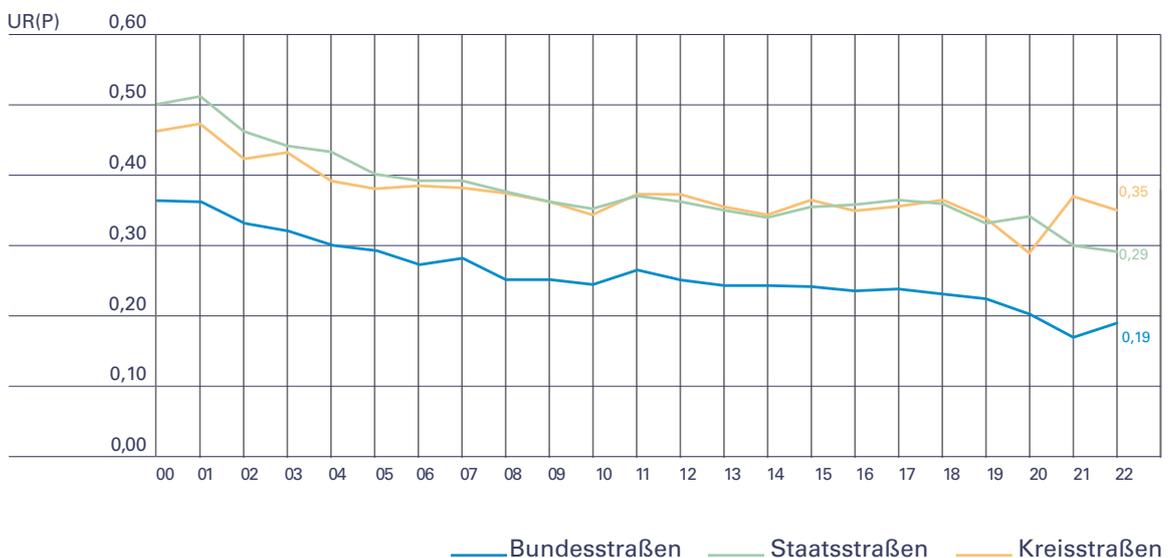
# Unfallkenngrößen

Absolute Unfalldaten sind meist wenig hilfreich, um die Verkehrssicherheit einzelner Straßen­gruppen objektiv miteinander vergleichen zu können. Zu diesem Zweck werden die Absolut­größen des Unfallgeschehens mittels Bezugs­größen relativiert und daraus Unfallkenngrößen gebildet.

Die Häufigkeit, der während eines bestimmten Zeitraumes (in der Regel ein Jahr) auf bestimmten Streckenabschnitten geschehenen Verkehrsunfälle, wird in der Unfalldichte ausgedrückt. Die Unfalldichte spiegelt die Verteilung der

Unfälle im Straßennetz wider. Dabei bleibt die Verkehrsbelastung auf dem zu untersuchenden bzw. zu vergleichenden Streckenabschnitt unberücksichtigt. Aus diesem Grund darf bei einer derartigen Betrachtung eine hoch belastete autobahnähnliche Bundesstraße nicht gleichgesetzt werden mit beispielsweise einer schwach belasteten Kreisstraße.

» Abb. 38  
Unfallrate für Unfälle mit Personenschaden UR(P) nach Straßen­klasse 2000 - 2022 außerorts in Bayern



Grundsätzlich wird das Unfallrisiko von der Verkehrsbelastung beeinflusst. Wenn kein Verkehr stattfindet, kann sich kein Verkehrsunfall ereignen – wenn viel Verkehr stattfindet, sind im Allgemeinen mehr Unfälle zu beobachten. Dieser Einfluss wird in der Unfallrate mittels der Bezugsgröße Fahrleistung ausgedrückt.

Die Unfallrate ist daher ein Maß für das fahrleistungsbezogene Risiko des Eintritts eines Unfalls. Die in » Abb. 38 dargestellten Unfallraten für Unfälle mit Personenschaden UR(P) geben an, wie viele Unfälle mit Personenschaden sich im Mittel in einem Kalenderjahr bei einer Fahrleistung von einer Million Kraftfahrzeugkilometer ereigneten.

Zwischen 2000 und 2010 hat sich die Unfallrate und damit die Wahrscheinlichkeit, bei einem Unfall getötet oder verletzt zu werden, auf den klassifizierten Straßen außerhalb geschlossener Ortschaft um rund ein Drittel verringert. In den letzten Jahren zeigt sich allerdings insgesamt eine Tendenz zu Unfallraten für Unfälle mit Personenschaden auf konstantem Niveau. Die für die Jahre 2020 und 2022 berechneten Unfallraten können Verzerrungen aufgrund der Folgen der Corona-Pandemie unterliegen.

Aus der Darstellung der Kenngröße Unfallrate lässt sich ableiten, dass das Risiko, bei gleicher Fahrleistung an einem Unfall mit Personenschaden beteiligt zu sein, vom Ausbaustandard der Straße abhängt. Die außerörtlichen Bundesstraßen schneiden in Bezug auf die Unfallrate deutlich besser ab als die Staats- sowie Kreisstraßen außerorts. Hier kommt zum Tragen, dass Bundesstraßen im Mittel u.a. breiter sind, ausgewogener trassiert sind und besseren passiven Schutz aufweisen.

# Anhang

# Unfälle und Verunglückte

## außerorts und innerorts, Bayern 2021/2022

Straßenklasse		Anzahl der Unfälle					Personenschäden			
		U(GT)	U(SV)	U(LV)	U(P)	U(S)	Getötete (GT)	Schwer- verletzte (SV)	Leicht- verletzte (LV)	Verletzte (SV+LV)
<b>Autobahnen</b>										
außerorts	2021	44	551	2.403	2.998	7.427	50	701	4.005	4.706
	2022	53	572	2.582	3.207	7.950	59	725	4.417	5.142
	%-Änderung	+20,5	+3,8	+7,4	+7,0	+7,0	+18,0	+3,4	+10,3	+9,3
<b>Bundesstraßen</b>										
außerorts	2021	87	785	2.590	3.462	3.793	93	1.054	4.255	5.309
	2022	85	791	2.740	3.616	3.906	89	1.084	4.560	5.644
	%-Änderung	-2,3	+0,8	+5,8	+4,4	+3,0	-4,3	+2,8	+7,2	+6,3
innerorts	2021	11	383	2.458	2.852	3.134	11	402	3.220	3.622
	2022	14	380	2.773	3.167	3.226	15	402	3.557	3.959
	%-Änderung	+27,3	-0,8	+12,8	+11,0	+2,9	+36,4	+0,0	+10,5	+9,3
<b>Staatsstraßen</b>										
außerorts	2021	95	1.215	3.593	4.903	4.691	99	1.474	5.532	7.006
	2022	104	1.169	3.676	4.949	4.554	106	1.415	5.655	7.070
	%-Änderung	+9,5	-3,8	+2,3	+0,9	+2,9	+7,1	-4,0	+2,2	+0,9
innerorts	2021	22	682	3.248	3.952	4.978	23	714	4.043	4.757
	2022	21	611	3.610	4.242	5.113	21	641	4.484	5.125
	%-Änderung	-4,5	-10,4	+11,1	+7,3	+2,7	-8,7	-10,2	+10,9	+7,7
<b>Kreisstraßen</b>										
außerorts	2021	63	917	2.212	3.192	3.177	64	1.082	3.135	4.217
	2022	88	874	2.314	3.276	2.861	91	1.005	3.280	4.285
	%-Änderung	+39,7	-4,7	+4,6	+2,6	-9,9	+42,2	-7,1	+4,6	+1,6
innerorts	2021	4	353	1.541	1.898	2.824	4	368	1.908	2.276
	2022	8	382	1.857	2.247	2.848	8	405	2.270	2.675
	%-Änderung	+100,0	+8,2	+20,5	+18,4	+0,8	+100,0	+10,1	+19,0	+17,5
<b>Gesamt</b>										
außerorts	2021	289	3.468	10.798	14.555	19.088	306	4.311	16.927	21.238
	2022	330	3.406	11.312	15.048	19.271	345	4.229	17.912	22.141
	%-Änderung	+14,2	-1,8	+4,8	+3,4	+1,0	+12,7	-1,9	+5,8	+4,3
innerorts	2021	37	1.418	7.247	8.702	10.936	38	1.484	9.171	10.655
	2022	43	1.373	8.240	9.656	11.187	44	1.448	10.311	11.759
	%-Änderung	+16,2	-3,2	+13,7	+11,0	+2,3	+15,8	-2,4	+12,4	+10,4

# Verkehr und Verkehrssicherheit in Bayern

## Wichtige Daten und Kenngrößen

### Kurzbezeichnungen und Definitionen

AO	außerorts	UK	Unfallkosten, Personen- und Sachschadenskosten in Euro
AS	Anschlussstelle	WDE	Winterdiensteinsatz
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen	ZSB	Zentralstelle Straßenbetriebsdienst
DTV	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in Kraftfahrzeugen pro 24 Std. Kfz/24h oder Kfz/d	ZIS	Zentralstelle Straßeninformationssysteme
DTV-GV	DTV-Güterverkehr Lieferwagen, Lkw > 3,5 t, Lastzüge, Sattelschlepper	ZVM	Zentralstelle Verkehrsmanagement
DTV-LV	DTV-Leichtverkehr Krad, Pkw, Lkw < 3,5 t	ZVS	Zentralstelle für Verkehrssicherheit im Straßenbau
DTV-PV	DTV-Personenverkehr Krad, Pkw, Bus		
DTV-S	DTV aller Sonn- und Feiertage		
DTV-SV	DTV-Schwerverkehr Lkw > 3,5 t, Lastzüge, Sattelschlepper, Bus		
DTV-U	DTV aller Urlaubswerktage (Mo-Sa)		
DTV-W	DTV aller Werkstage (Mo-Sa)		
GT	Anzahl der Getöteten		
IO	innerorts		
Kfz	Kraftfahrzeug		
KI	Künstliche Intelligenz		
L	untersuchte Streckenlänge in km		
Lkw	Lastkraftwagen		
LOS	Level of Service		
LV	Anzahl der Leichtverletzten		
MN	mittlere Verkehrsstärke (Nacht 22-6 h)		
MT	mittlere Verkehrsstärke (Tag 6-22 h)		
Pkw	Personenkraftwagen		
PN	Lkw-Anteil (22-6 h) in Prozent		
PT	Lkw-Anteil (6-22 h) in Prozent		
PWC	Parkplatz mit WC		
SRI 1	Fahrbahn oder Fahrstreifen in aufsteigender Stationierungsrichtung		
SRI 2	Fahrbahn oder Fahrstreifen in absteigender Stationierungsrichtung		
SV	Anzahl der Schwerverletzten		
SWS	Straßenwetterstation		
t	untersuchter Zeitraum in Jahren		
T+R	Tank und Rast		
U	Anzahl der Unfälle		

## Unfallkategorien

Die Unfallkategorie (schwerste Unfallfolge) folgt aus dem größten Schaden, den mindestens ein am Unfall Beteiligter erlitten hat. Werden z.B. bei einem Unfall ein Beteiligter schwer verletzt und zwei weitere Beteiligte leicht verletzt, wird der Unfall in Kategorie 2 „Unfall mit Schwerverletzten U(SV)“ eingeordnet.

- U(GT) Unfall mit Getöteten Kategorie 1**  
Mindestens ein Verkehrsteilnehmer wurde beim Unfall getötet oder verstarb innerhalb von 30 Tagen an den Unfallfolgen.
- U(SV) Unfall mit Schwerverletzten Kategorie 2**  
Mindestens ein Verkehrsteilnehmer wurde beim Unfall so schwer verletzt, dass er zur stationären Behandlung (mindestens 24 Std.) in ein Krankenhaus eingeliefert wurde.
- U(LV) Unfall mit Leichtverletzten Kategorie 3**  
Mindestens ein Verkehrsteilnehmer wurde beim Unfall verletzt.
- U(S) Unfall mit Sachschaden Kategorie 7**  
Sachschadensunfall mit Straftatbestand oder Ordnungswidrigkeit.
- U(SP) Unfall mit schwerem Personenschaden Kategorie 1+2**
- U(P) Unfall mit Personenschaden Kategorie 1+2+3**
- U(P+S) Unfall mit Personen- oder Sachschaden Kategorie 1+2+3+7**

Unfälle mit geringfügiger Ordnungswidrigkeit (Verwarnung) werden in Bayern nicht kategorisiert.

## Unfallkenngrößen

Um den Verkehr und die Verkehrssicherheit von Straßen- bzw. Straßenabschnitten beschreiben und untereinander vergleichen zu können, ist die Bildung von Kenngrößen unerlässlich. Dabei wird unabhängig vom Untersuchungszeitraum immer auf den Bezugszeitraum von einem Jahr umgerechnet.

Bei Verkehrs- und Unfalluntersuchungen und bei der Ermittlung von Kenngrößen ist immer die der Auswertung zugrundeliegende Ausgangs- und Datenbasis (z.B. Untersuchungsbereich Straßenklasse / AO / IO / DTV / L / Unfälle P, S, Nacht), anzugeben.

<b>F</b>	Fahrleistung (Kfz-km pro Jahr)	$DTV \cdot L \cdot 365 \cdot t$
<b>BSO</b>	Sonntagsfaktor	$\frac{DTV-S}{DTV-W}$
<b>FER</b>	Ferienfaktor	$\frac{DTV-U}{DTV-W}$
<b>UD</b>	Unfalldichte Unfälle pro km in einem Jahr (U/km und Jahr)	$\frac{U}{L \cdot t}$
<b>UKD</b>	Unfallkostendichte Unfallkosten in Euro pro km in einem Jahr (Euro/km und Jahr)	$\frac{K}{L \cdot t}$
<b>UR</b>	Unfallrate Unfälle pro 1 Mio. gefahrener Kfz-km (U/Mio.Kfz-km)	$\frac{U \cdot 10^6}{DTV \cdot L \cdot 365 \cdot t}$
<b>UKR</b>	Unfallkostenrate Unfallkosten in Euro pro 1000 gefahrener Kfz-km (Euro/1000 Kfz-km)	$\frac{K \cdot 10^3}{DTV \cdot L \cdot 365 \cdot t}$
<b>VR (T,SV)</b>	Getöteten-/Schwer- verletztenrate Tote und Schwerver- letzte pro 1 Mio. gefahrener Kfz-km (T+SV)/ Mio.Kfz-km)	$\frac{(T + SV) \cdot 10^6}{DTV \cdot L \cdot 365 \cdot t}$

# Definition des Unfalltyps

Der Unfalltyp bezeichnet den unfallauslösenden Verkehrsvorgang bzw. die Konfliktsituation, die zum Unfall führte. Ob und wie Verkehrsteilnehmer im weiteren Unfallverlauf kollidiert sind, also die „Unfallart“, ist für die Bestimmung des Unfalltyps nicht von Belang. Auch das Fehlverhalten einzelner Verkehrsteilnehmer, welche mittels „Unfallursache“ polizeilich festgehalten wird, spielt hierbei grundsätzlich keine Rolle. Nachfolgend werden die sieben Grundunfalltypen einschließlich ihrer farblichen Darstellung in Unfalltypensteckkarten erläutert.



## Fahrerunfall (F) Unfalltyp 1

Der Unfall wurde ausgelöst durch den Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug (wegen nicht angepasster Geschwindigkeit oder falscher Einschätzung des Straßenverlaufs, des Straßenzustandes o.ä.) ohne dass andere Verkehrsteilnehmer dazu beigetragen haben. Infolge unkontrollierter Fahrzeugbewegungen kann es dann aber zum Zusammenstoß mit anderen Verkehrsteilnehmern gekommen sein. Verliert beispielsweise ein Fahrer die Kontrolle über sein Fahrzeug wegen eines Schwächeanfalls oder Übermüdung oder weil er stark abgelenkt ist (z.B. wegen der Suche nach einer herabgefallenen brennenden Zigarette) handelt es sich um einen „Sonstigen Unfall“.



## Abbiege-Unfall (AB) Unfalltyp 2

Der Unfall wurde ausgelöst durch den Konflikt zwischen einem Abbieger und einem aus gleicher oder entgegengesetzter Richtung kommenden Verkehrsteilnehmer (auch Fußgänger) an Kreuzungen, Einmündungen, Grundstücks- oder Parkplatzzufahrten. Um einen Abbiege-Unfall handelt es sich auch, wenn der Unfall durch einen Konflikt zwischen einem Abbieger und einem aus entgegengesetzter (oder gleicher) Richtung kommenden Verkehrsteilnehmer ausgelöst wurde. Dabei ist nicht relevant, wo die Unfallbeteiligten kollidierten z.B. in Bezug auf Dreiecksinseln.



## Einbiegen/ Kreuzen-Unfall (EK) Unfalltyp 3

Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem einbiegenden oder kreuzenden Wartepflichtigen und einem vorfahrberechtigten Fahrzeug an Kreuzungen, Einmündungen oder Ausfahrten von Grundstücken und Parkplätzen.



## Überschreiten-Unfall (ÜS) Unfalltyp 4

Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem Fahrzeug und einem Fußgänger auf der Fahrbahn, sofern dieser nicht in der Längsrichtung ging und sofern das Fahrzeug nicht abgelenkt ist. Dies gilt auch, wenn der Fußgänger nicht angefahren wurde.



## Unfall durch ruhenden Verkehr (RV) Unfalltyp 5

Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem Fahrzeug des fließenden Verkehrs und einem Fahrzeug, das parkt / hält bzw. Fahrmanöver im Zusammenhang mit dem Parken /Halten durchführte.



## Unfall im Längsverkehr (LV) Unfalltyp 6

Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen Verkehrsteilnehmern, die sich in gleicher oder entgegengesetzter Richtung bewegten, sofern dieser Konflikt nicht einem anderen Unfalltyp entspricht. Kommt es beispielsweise zu einem Konflikt mit einem Entgegenkommenden, weil ein Fahrer eine Kurve geschnitten hat, so handelt es sich dabei um einen „Fahrerunfall“.



## Sonstiger Unfall (SO) Unfalltyp 7

Unfall, der sich nicht den Typen 1–6 zuordnen lässt. Beispiele: Wenden, Rückwärtsfahren, Parker untereinander, Hindernis oder Tier auf der Fahrbahn, plötzlicher Fahrzeugschaden (Bremsversagen, Reifenschaden o.ä.)

# Literaturverzeichnis/ Datenquellen

## Quellen

- [1] ATLAS-L4 [Hrsg.]: „Förderprojekt mit Partnern aus Fahrzeugindustrie, Softwareentwicklung, Wissenschaft und Verwaltung bringt autonome Trucks auf die Straße“, Pressemitteilung vom 29.03.2022, Internet: [https://www.atlas-l4.com/fileadmin/media/downloads/ATLAS/220329\\_Presseinformation\\_Atlas-L4-Projekt.pdf](https://www.atlas-l4.com/fileadmin/media/downloads/ATLAS/220329_Presseinformation_Atlas-L4-Projekt.pdf) (aufgerufen am 09.02.2023)
- [2] Bayerisches Staatsministerium des Innern, für Sport und Integration; Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr [Hrsg.]: „Verkehrssicherheitsprogramm 2030, Bayern mobil – sicher ans Ziel“, München, 2021 [www.sichermobil.bayern.de](http://www.sichermobil.bayern.de)
- [3] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz [Hrsg.]: „Klima-Report Bayern 2021, Klimawandel, Auswirkungen, Anpassungs- und Forschungsaktivitäten“, München, 2021
- [4] Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr [Hrsg.]: „Umwelt- und ressourcenschonendes Planen und Bauen - Leitfaden für bestandsnahen Straßenausbau außerorts“, München, 2021 <https://www.stmb.bayern.de/vum/strasse/planung/regelwerke/index.php>
- [5] Bayerischen Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr [Hrsg.]: „Verkehrsmengen, Netzlängen und Fahrleistung“ in Verkehrs- und Unfallgeschehen auf Straßen des überörtlichen Verkehrs in Bayern, Ausgabe 2020
- [6] Bayerisches Straßen- und Wegegesetz (BayStrWG)“ in der Bayerischen Rechtsammlung (BayRS 91-1-B) veröffentlichten bereinigten Fassung, zuletzt geändert durch § 1 des Gesetzes vom 10. Februar 2023 (GVBl. S. 22)
- [7] Bundesfernstraßengesetz“ in der Fassung der Bekanntmachung vom 28. Juni 2007 (BGBl. I S. 1206), zuletzt geändert durch Art. 6 G v. 22.3.2023 | Nr. 88
- [8] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur [Hrsg.]: „Automatisiertes und Vernetztes Fahren“, Ethik-Kommission, Bericht 2017, Internet: [https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/bericht-der-ethik-kommission.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/bericht-der-ethik-kommission.pdf?__blob=publicationFile) (aufgerufen am 03.02.2023)
- [9] Dankert, J.: „Architekturen und Algorithmen für kooperative Automobile“, Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 2021, Internet: <http://d-nb.info/124511820X/34> (aufgerufen am 03.02.2023)
- [10] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) [Hrsg.]: „PEGASUS Method – an Overview“, 2019, Internet: <https://www.pegasusprojekt.de/files/tmp/PEGASUS-Abschlussveranstaltung/PEGASUS-Gesamtmethode.pdf> (aufgerufen am 06.02.2023)
- [11] Dietmayer, K.: „Institut für Mess-, Regel- und Mikrotechnik: Automatisiertes Fahren und Fahrerassistenz“, online im Internet: <https://www.uni-ulm.de/in/mrm/forschung/anwendungsfelder/automatisiertes-fahren/> (aufgerufen am 03.02.2023)
- [12] Dittmann, F.: „Die lange Geschichte des Autonomen Fahrens“, online im Internet: <https://www.technik-in-bayern.de/mehr-technik/technikgeschichte/die-lange-geschichte-des-autonomen-fahrens> (aufgerufen am 31.01.2023)
- [13] Dobrinova, D.: „The concept of driverless cars in the past“, online im Internet: <https://corsia.us/concept-of-driverless-cars-in-the-past> (aufgerufen am 31.01.2023)
- [14] Earnest, L.: „Stanford Cart“, online im Internet: <https://web.stanford.edu/~learnest/sail/oldcart.html> (aufgerufen am 31.01.2023)
- [15] Economic Commission for Europe, Inland Transport Committee, World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations [Hrsg.]: „New Assessment/Test Method for Automated Driving (NATM) Guidelines for Validating Automated Driving System (ADS)“, 187th session, Geneva, 2022, Internet: <https://unece.org/sites/default/files/2022-05/WP.29-187-08e.pdf> (aufgerufen am 06.02.2023)
- [16] Economic Commission for Europe, Inland Transport Committee, World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations [Hrsg.]: „New Assessment/Test Method for Automated Driving (NATM), Master Document (Final Draft)“, 2021, Internet: <https://unece.org/sites/default/files/2021-04/ECE-TRANS-WP29-2021-61e.pdf> (aufgerufen am 06.02.2023)
- [17] Eilbrecht J., Heß D., Köster F., Stursberg O.: „Sichere Trajektorienplanung für autonome Fahrzeuge unter Verwendung steuerbarer und erreichbarer Mengen“, online im Internet: [https://www.researchgate.net/profile/Jan-Eilbrecht/publication/330884902\\_Sichere\\_Trajektorienplanung\\_fur\\_autonome\\_Fahrzeuge\\_unter\\_Verwendung\\_steuerebarer\\_und\\_erreichbarer\\_Mengen/](https://www.researchgate.net/profile/Jan-Eilbrecht/publication/330884902_Sichere_Trajektorienplanung_fur_autonome_Fahrzeuge_unter_Verwendung_steuerebarer_und_erreichbarer_Mengen/) (aufgerufen am 03.02.2023)
- [18] Encyclopaedia Britannica: Online im Internet: <https://www.britannica.com/biography/Elmer-Ambrose-Sperry> (aufgerufen am 01.02.2023)
- [19] EU-Kommission [Hrsg.]: Durchführungsverordnung (EU) 2022/1426 mit detaillierten Regelungen zur Durchführung der Verordnung (EU) 2019/2144 des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die einheitlichen Verfahren und technischen Spezifikationen für die Typgenehmigung des automatisierten Fahrsystems (ADS) vollautomatisierter Fahrzeuge, 2022, Internet: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R1426>
- [20] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. [Hrsg.]: „Empfehlungen für das Sicherheitsaudit von Straßen in Deutschland (ESAS)“, Köln, Ausgabe 2002
- [21] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. [Hrsg.]: „Richtlinien für das Sicherheitsaudit an Straßen (RSAS)“, Köln, Ausgabe 2019
- [22] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. [Hrsg.]: „Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN)“, Köln, Ausgabe 2008
- [23] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. [Hrsg.]: „Merkblatt für die Ausbildung und Zertifizierung für das Sicherheitsaudit von Straßen (MAZS)“, Köln, Ausgabe 2022
- [24] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. [Hrsg.]: „Merkblatt zur Verbesserung der Straßeninfrastruktur für Motorradfahrende (MVMot)“, Köln, Ausgabe 2021
- [25] Gaede, P. - M. [Hrsg.]: GEO Themenlexikon Band 7, Naturwissenschaften und Technik, S. 641. Mannheim, 2007, Gruner+Jahr AG & Co KG, Bibliographisches Institut
- [26] Gerlach, J.; Sonneborn, M.; Schwedler, M.; Balke, B.; Kamberi, D.; Pfeiffer, L.: „Bestandsaudit bei Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen im Rahmen der baulichen Erhaltung von Landstraßen“, FE 02.0396/2016/FRB, im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr, Entwurf Schlussbericht, Wuppertal, Berlin, 2023, unveröffentlicht
- [27] Hausmann, G.: „Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalzlösungen“, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 218, Bergisch Gladbach, 2012
- [28] Hawkins, A. J.: „Cruise gets the green light to give driverless rides to passengers in San Francisco“, online im Internet: <https://www.theverge.com/2021/9/30/22702962/cruise-waymo-california-dmv-autonomous-vehicle-permit> (aufgerufen am 31.01.2023)
- [29] Hohl; Milojevic; Elser: „Sensing and Perception in Automated Driving“, in Autonomes Fahren - Ein Treiber zukünftiger Mobilität, Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften SATW, Februar 2022, Internet: [https://www.satw.ch/fileadmin/user\\_upload/documents/02\\_Themen/09\\_Autonomie-Mobilitaet/Broschuere\\_Autonomie\\_Mobilitaet\\_SATW.pdf](https://www.satw.ch/fileadmin/user_upload/documents/02_Themen/09_Autonomie-Mobilitaet/Broschuere_Autonomie_Mobilitaet_SATW.pdf) (aufgerufen am 02.02.2023)

- [30] Hoppe, S.: „Tesla Autopilot – das Projekt des selbstfahrenden Autos“, in Merkur-Online. Internet: <https://www.merkur.de/wirtschaft/tesla-autopilot-selbstfahrendes-auto-test-unfall-deutschland-geschwindigkeit-90191385.html> (aufgerufen am 31.01.2023)
- [31] Intel Corporation [Hrsg.]: „The Why and How of Making HD Maps for Automated Vehicles“, online im Internet: <https://newsroom.intel.com/articles/why-how-making-hd-maps-automated-vehicles/> (aufgerufen am 03.02.2023)
- [32] Junietz, P.; Schneider, J.; Winner, H.: „Metrik zur Bewertung der Kritikalität von Verkehrssituationen und –szenarien“, PEGASUS – Projekt, Fachgebiet Fahrzeugtechnik der TU Darmstadt, online im Internet: [https://www.pegasusprojekt.de/files/tmp/pdf/Walting\\_Metrik%20zur%20Bewertung%20der%20Kritikalitaet%20Abstarct.pdf](https://www.pegasusprojekt.de/files/tmp/pdf/Walting_Metrik%20zur%20Bewertung%20der%20Kritikalitaet%20Abstarct.pdf) (aufgerufen am 03.02.2023)
- [33] Karius, A.: „Google bringt selbstfahrendes Auto ab Sommer auf die Straße“, online im Internet: <https://www.automobil-produktion.de/management/google-bringt-selbstfahrendes-auto-ab-sommer-auf-die-strasse-384.html> (aufgerufen am 31.01.2023)
- [34] Kilbon, K.: „Tomorrow’s Thruway is here today!“, in Electronic Age, Vol. 19, No. 3, Herbst 1960, S. 26-29, New York. Internet: <https://worldradiohistory.com/Archive-Radio-Age/ElectronicAge-1960-Autumn.pdf> (aufgerufen am 31.01.2023)
- [35] Kniepkamp, M.: „Mitten in München: Roboter-Auto unterwegs“, online im Internet: <https://www.tz.de/muenchen/stadt/muenchen-testfahrt-eines-roboter-autos-zr-90147932.html> (aufgerufen am 01.02.2023)
- [36] Kölner, C.: „Mobileye-Robotaxis erhalten Zulassungsempfehlung vom TÜV“, in Springer Professional, 2023, Internet: <https://www.springerprofessional.de/unternehmen—institutionen/automatisiertes-fahren/mobileye-robotaxis-erhalten-zulassungsempfehlung-vom-tuev/23905456> (aufgerufen am 09.02.2023)
- [37] Krafčik, J.: „Waymo is opening its fully driverless service to the general public in Phoenix“, online im Internet: <https://blog.waymo.com/2020/10/waymo-is-opening-its-fully-driverless.html> (aufgerufen am 31.01.2023)
- [38] Mercedes-Benz AG [Hrsg.]: „Unternehmensgeschichte“, online im Internet: <https://www.mercedes-benz.com/de/innovation/meilensteine/unternehmensgeschichte> (aufgerufen am 31.01.2023)
- [39] Prütting, D.: „Qualität der Bestandsanalyse mit Airborne-Laserscanning-Daten des LDBV“, Vortrag im Rahmen des VFSVI-Seminars „Verkehrssichere Straßengestaltung“ am 23. Mai 2023 in Nürnberg
- [40] Regio Bus Bayern [Hrsg.]: „Autonomes Fahren“, online im Internet: <https://www.dregionbus-bayern.de/angebot/Autonomes-Fahren-autonomer-bus> (aufgerufen am 31.01.2023)
- [41] „Richtlinie 2019/1936 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2019 zur Änderung der Richtlinie 2008/96/EG über ein Sicherheitsmanagement für die Straßenverkehrsinfrastruktur“, veröffentlicht im EU-Amtsblatt L 305/1 vom 26.11.2019
- [42] „Richtlinie 2008/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.11.2008 über ein Sicherheitsmanagement für die Straßenverkehrsinfrastruktur“, veröffentlicht im EU-Amtsblatt L 319/59 vom 29.11.2008
- [43] Riedmaier, S.; Ponn, T.; Ludwig, D.; Schick, B.; Diermeyer, F.: „Survey on Scenario-Based Safety Assessment of Automated Vehicles“, in IEEEAccess, Volume 8, 2020, Internet: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1595075/1595075.pdf>
- [44] SAE International [Hrsg.]: „Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles“, online im Internet: [https://www.sae.org/standards/content/j3016\\_202104/](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/) (aufgerufen am 01.02.2023)
- [45] Schedler, K. E.: e.a.: „Entwicklungen für eine streckenbezogene Glättevorhersage“, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 329, Bergisch Gladbach, 2020
- [46] Schucker, J.: „Trajektorienplanung und Fahrzeugführung für hochautomatisiertes Fahren auf der Autobahn“, Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2020, Internet: [https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/12686/1/2020-07-28\\_Schucker\\_Jeremias.pdf](https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/12686/1/2020-07-28_Schucker_Jeremias.pdf) (aufgerufen am 01.02.2023)
- [47] Schüller, H.; Niestegge, M.; Butz, B.; Skakuj, M.: „Evaluierung der Sicherheitsanalyse von Straßennetzen“, FE 03.0547/2016/FRB, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, und digitale Infrastruktur, Schlussbericht, Stuttgart, 2021, unveröffentlicht
- [48] Schwarzer, F.; Spahn, V.; Zender, P.: „Sicherheitsaudit von Straßen in Bayern: Ein ständiger Optimierungsprozess“, in Straßenverkehrstechnik, Kirschbaum-Verlag, Heft 7/2020, Bonn
- [49] Sears, D.: „Sightless visionary who invented cruise control“, online im Internet: <https://smithsonianmag.com/innovation/sightless-visionary-who-invented-cruise-control-180968418/> (aufgerufen am 31.01.2023)
- [50] Shai, S.; Shaked, S.; Amnon S.: „On a Formal Model of Safe and Scalable Self-driving Cars“, Mobileye, 2017, Internet: <https://arxiv.org/pdf/1708.06374.pdf> (aufgerufen am 03.02.2023)
- [51] Sixt [Hrsg.]: „Mobileye und Sixt bringen Robotaxis nach Deutschland“, Sixt-Magazin, online im Internet: <https://www.sixt.de/magazine/news/robotaxi-mobileye-sixt/> (aufgerufen am 09.02.2023)
- [52] Spahn, Volker: „Kennwerte des Verkehrsunfallgeschehens mit Motorradbeteiligung“, in Straßenverkehrstechnik, Kirschbaum-Verlag, Bonn, Heft 11/2017
- [53] Straßenverkehrsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. März 2003 (BGBl. I S. 310, 919), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 12. Juli 2021 (BGBl. I S. 3108)
- [54] Stumper, D.: „Statistische Ermittlung risikobehafteter Fahrsituationen für hochautomatisiertes Fahren zur Absicherung der Funktionssicherheit“, Open Access Repository der Universität Ulm und Technischen Hochschule Ulm, Dissertation, 2021. Internet: <http://dx.doi.org/10.18725/OPARU-36677>
- [55] Thomas, J.: „Erstellung eines sensorbasierten Straßenmodells für das automatisierte Fahren“, Dissertation, Freie Universität Berlin, 2020, Internet: <https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/31175/Dissertation-JulianThomas-Publikation-Bibliothek.pdf?sequence=3&isAllowed=y> (aufgerufen am 03.02.2023)
- [56] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. [Hrsg.]: „On-Demand im ÖPNV: ab 2023 mit autonom fahrenden Shuttles“, Pressemitteilung vom 20.06.2022, Internet: [https://www.deutschebahn.com/de/presse/pressestart\\_zentrales\\_uebersicht/On-Demand-im-OePNV-ab-2023-mit-autonom-fahrenden-Shuttles-7762668](https://www.deutschebahn.com/de/presse/pressestart_zentrales_uebersicht/On-Demand-im-OePNV-ab-2023-mit-autonom-fahrenden-Shuttles-7762668) (aufgerufen am 09.02.2023)
- [57] Verordnung zur Genehmigung und zum Betrieb von Kraftfahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion in festgelegten Betriebsbereichen (Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs- und-Betriebs-Verordnung – AFGBV) vom 24. Juni 2022 (BGBl. I S. 986)
- [58] Viehmann, S.: „Happy Birthday, Cruise Control“, online im Internet: <https://www.stern.de/auto/fahrberichte/50-Jahre-Tempomat-happy-birthday-cruise-control-3092786.html> (aufgerufen am 01.02.2023)
- [59] Zapf, M.: „Auf dem Sprung: Warum Robo-Trucks bald auf unseren Straßen rollen werden“, online im Internet: <https://www.capital.de/wirtschaft-politik/robo-trucks-rollen-bald-autonome-lkws-auf-unseren-strassen-32811804.html> (aufgerufen am 09.02.2023)

## Datenquellen

[Kfz- und Einwohnerdaten](#) » Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung

[Straßennetzdaten](#) » Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr

[Verkehrsdaten](#) » Landesbaudirektion Bayern, Zentralstelle Informationssysteme

[Verkehrsunfalldaten](#) » Landesbaudirektion Bayern, Zentralstelle für Verkehrssicherheit im Straßenbau



[Weitere Informationen](#) »  
[www.baysis.bayern.de](http://www.baysis.bayern.de)

---

Herausgeber  
Landesbaudirektion Bayern  
Marktplatz 30, 96106 Ebern  
[www.lbd-bayern.de](http://www.lbd-bayern.de)

Redaktion  
Zentralstelle für Verkehrssicherheit im Straßenbau  
Landesbaudirektion Bayern  
Infanteriestraße 1, 80797 München  
[zvs@lbd.bayern.de](mailto:zvs@lbd.bayern.de)  
Telefon +49 89 558918-570

Gestaltung  
Anis Grafik und Design  
[www.anisgrafik.de](http://www.anisgrafik.de), Riedering

Fotos  
Bayerische Staatsbauverwaltung  
© Bayerisches Straßeninformationssystem  
© Oliver Heini (Seite 2)  
Druck  
Universal Medien GmbH, München

Gedruckt auf FSC zertifiziertem Papier

November 2023



[www.lbd.bayern.de](http://www.lbd.bayern.de)

