

# **Protanopie und Protanomalie bei Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen - Prävalenz und Unfallrisiko**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Mensch und Sicherheit Heft M 319**

**bast**

# **Protanopie und Protanomalie bei Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen - Prävalenz und Unfallrisiko**

von

Paula Friedrichs  
Paul Schmidt  
Kerstin Schmidt

BioMath GmbH  
Angewandte Statistik und Informatik in den Biowissenschaften  
Rostock

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Mensch und Sicherheit Heft M 319**

**bast**

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A - Allgemeines
- B - Brücken- und Ingenieurbau
- F - Fahrzeugtechnik
- M - Mensch und Sicherheit
- S - Straßenbau
- V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** stehen zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.  
<https://bast.opus.hbz-nrw.de>

## **Impressum**

**Bericht zum Forschungsprojekt 82.0712**  
Prävalenz und Unfallrisiko von Protonopie und Protonomalie bei Berufskraftfahrern

**Fachbetreuung**  
Nicole Gräcmann

**Referat**  
Fahreignung, Fahrausbildung, Kraftfahrerrehabilitation

**Herausgeber**  
Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

**Redaktion**  
Stabsstelle Presse und Kommunikation

**Druck und Verlag**  
Fachverlag NW in der  
Carl Ed. Schünemann KG  
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen  
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53  
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48

[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

ISSN 0943-9315  
ISBN 978-3-95606-624-5

Bergisch Gladbach, November 2021

## Kurzfassung – Abstract

### **Protanopie und Protanomalie bei Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen: Prävalenz und Unfallrisiko**

Hintergrund der Studie war die Harmonisierung des europäischen Rechts zur Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV) bezüglich der Anforderungen an das Farbsehvermögen von Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen. Mit der Umsetzung in deutsches Recht können seit dem 01.07.2011 Personen mit einer vorliegenden Rotblindheit oder Rotsehschwäche in Deutschland auch sämtliche Fahrerlaubnisse der Gruppe 2 (C1, C1E, C, CE, D1, D1E, D, DE, FzF) erwerben (zuvor nur C1, C1E, C, CE), bei Rotblindheit oder Rotschwäche mit einem Anomalquotienten unter 0,5 ist jetzt lediglich eine Aufklärung der betroffenen Person über die mögliche Gefährdung erforderlich. Gegen diese gelockerte Regelung werden von der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft und anderen Fachleuten Bedenken geäußert.

Um eine Grundlage in der Argumentation zu zukünftigen oder bestehenden gesetzlichen Regelungen zu schaffen, sollten in der vorliegenden Studie belastbare epidemiologische Daten, die Rückschlüsse auf das Ausmaß und die Relevanz von Protanopie und Protanomalie bei Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen für die Verkehrssicherheit zulassen, recherchiert werden.

Die Datengewinnung erfolgte auf zwei Wegen. Zum einen fand eine systematische Literaturrecherche zur Identifizierung von Studien statt, wobei die Studien nach bestimmten Kriterien ausgewählt und anschließend die jeweiligen Daten extrahiert wurden. Zum anderen erfolgte eine Datenrecherche bei Behörden, Fachgesellschaften, Versicherern und Berufsgenossenschaften. In der Datenrecherche wurden veröffentlichte Zahlen recherchiert sowie Institutionen, Arbeits-/Betriebsmedizinpraxen und weitere Fachleute nach Daten befragt.

Eine Datengrundlage zur Schätzung der aktuellen Prävalenz speziell unter Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen konnte weder über die Daten noch über die Literaturrecherche geschaffen werden. Bei keiner der kontaktierten Institutionen liegen strukturierte personenbezogene Daten zur Diagnose von Farbsinnstörungen vor. In der Literaturrecherche konnten jedoch Prävalenzen für die Ge-

samtbevölkerung in Europa ermittelt und in einer Metaanalyse zusammengefasst werden. Die ermittelten Werte bestätigen die allgemein verwendeten Werte. Innerhalb der männlichen Bevölkerung sind ca. 1 % protanop und ca. 2 % protogestört, wohingegen die Prävalenzen beider Protostörungen bei Frauen deutlich unter 0,1 % liegen.

Eine Datengrundlage zur Schätzung des Unfallrisikos unter protogestörten Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen konnte ausschließlich über die Literaturrecherche und lediglich in begrenztem Umfang geschaffen werden. Bis auf eine Studie, die 1996 veröffentlicht wurde, wurden die identifizierten Studien vor 1980 publiziert und es ist zweifelhaft, ob die damaligen Bedingungen (Straßenverhältnisse, Verkehrsaufkommen, lichttechnische Ausstattung der Kraftfahrzeuge, technische Anforderungen an die Verkehrszeichen usw.) mit heutigen Verhältnissen vergleichbar sind. Hinsichtlich des Unfallrisikos lässt sich übergreifend aus den identifizierten und eingeschlossenen Studien keine statistische Erhöhung des Unfallrisikos bei oder durch protanope, protanomale oder protogestörte Kraftfahrzeugführende nachweisen, sodass die auf Basis dieser Studie ermittelten Daten keine Grundlage für eine Rücknahme der im Rahmen der Harmonisierung des europäischen Rechts zum 01.07.2011 erfolgten Änderung der Anlage 6 FeV bieten.

### **Protanopia and protanomaly among professional drivers: Prevalence and accident risk**

The background of this study was the harmonisation of European law on the driving license regulation regarding the requirements for colour vision of professional drivers. Since the implementation in German law on July 1<sup>st</sup>, 2011, red colour defectives may obtain all Group 2 (C1, C1E, C, CE, D1, D1E, D, DE, FzF) driving licenses in Germany (previously only C1, C1E, C, CE). By now, a protanope or protanomalous person with an anomalous quotient below 0.5 requires solely an elucidation on the resulting risks. The German Ophthalmological Society (DOG) and other experts have expressed concerns about this less stringent regulation. To assess these concerns, reliable epidemiological data should be researched, which allow conclusions to be drawn about the extent and relevance of

protanopia and protanomaly in professional drivers for road safety.

Data acquisition was performed in two different ways. First, a systematic literature search was carried out to identify relevant studies. This was done by selecting studies according to specific criteria and extracting respective data. In addition, a data search was carried out by contacting authorities, professional and scientific societies, insurers, and employer's liability insurance associations. Furthermore, published figures were searched and institutions, occupational and company physicians as well as other experts were asked for data.

Neither the data nor the literature search could provide an adequate data basis for estimating the current prevalence among professional drivers. None of the institutions contacted had structured personal data on colour vision defect diagnoses. However, through the literature search data on prevalence of protan colour vision defects in European populations could be determined and summarised in a meta-analysis. The values for the prevalence estimated herein confirm the frequently referred values with approx. 1% of male population being protanopes and approx. 2% being protans, whereas the respective prevalence in women are both clearly below 0.1%.

A data basis for estimating the accident risk among protan professional drivers could be established through literature search and to a limited extent only. Except on study, published in 1996, all studies identified are published before 1980. Therefore, it may be questioned whether the circumstances at that time (road conditions, traffic volume, lighting equipment of motor vehicles, technical requirements for traffic signs etc.) are comparable to today's conditions. The identified and included studies on accident risk do not provide any overall statistical proof of an increase in the accident risk for or due to protanope, protanomalous or protan motor vehicle drivers, so that the current data situation does not justify a withdrawal of the change to Appendix 6 of the German driving license regulations as part of the harmonisation of European law as of July 1<sup>st</sup>, 2011.

## Summary

### Protanopia and protanomaly among professional drivers: Prevalence and accident risk

The background of this study was the harmonisation of European law on the driving license regulation regarding the requirements for colour vision of professional drivers. Since the implementation in German law on July 1<sup>st</sup>, 2011, red colour defectives may obtain all Group 2 (C1, C1E, C, CE, D1, D1E, D, DE, FzF) driving licenses in Germany (previously only C1, C1E, C, CE). By now, a protanope or protanomalous person with an anomalous quotient below 0.5 requires solely an elucidation on the resulting risks. The German Ophthalmological Society (DOG) and other experts have expressed concerns about this less stringent regulation. To assess these concerns, reliable epidemiological data should be researched, which allow conclusions to be drawn about the extent and relevance of protanopia and protanomaly in professional drivers for road safety.

### Systematic literature review

A systematic literature search was carried out to identify scientific studies relevant to answer the following defined research questions:

- I. What is the prevalence of protanopia and protanomaly among professional drivers?
- II. Has a higher risk of traffic accidents caused by red vision deficient professional drivers compared to professional drivers with normal colour vision been proven?
- III. Do persons (especially professional drivers) with protanopia or protanomaly make more flaws in recognising red signals or objects than persons (especially professional drivers) with normal colour vision?

The search was done according to the principles of a systematic review, i.e. via the following steps: preparation and creation of review protocol, identification of studies, selection of studies according to inclusion and exclusion criteria, extraction of the studies' data/results, evaluation of the studies' quality, charting the results and other descriptive summary measures, data synthesis/

synopsis and analysis (qualitative or quantitative; e.g. meta-analysis, best evidence synthesis).

Three search questions were defined, all of the PECO (Population – Exposition – Comparator – Outcome) type, with Population being professional drivers in Europe, Exposition being either protanope, protanomalous or generally protan drivers, the Comparator being drivers without colour vision deficiency. The three search questions differ only in their outcome: Outcome I consider the prevalence, Outcome II the risk of having an accident and Outcome III the ability to detect or react to red-coloured signals/objects.

Two multi-disciplinary/large databases (Scopus and Web of Science Core Collection) as well as six more specialist/subject-specific databases (Cochrane Library, CRD Database, LIVIVO, PsycINFO, PubMed and TRID Database) were searched. The search in electronic bibliographic databases was complemented with internet searches (checking the relevance of the first 50 results in Google and Google Scholar) to identify potentially relevant studies outside electronic bibliographic databases and to mitigate effects of publication bias. Additionally, backward search was performed for all included studies and all identified reviews.

### Data search

The data research and query took place in two search areas. On the one hand, institutions were contacted that are somehow associated with professional drivers, such as insurance companies, professional organisations or institutions related to traffic safety. On the other hand, transport companies (bus and logistics companies) were contacted.

### Statistical analysis

Before meaningful statistical tests can be carried out, practically relevant effect sizes for the parameters under investigation must be agreed by experts and/or decision-makers. Regarding the context of this project, this raised the question on how large the accident risk increase for protanope or protanomalous drivers compared to drivers without colour vision deficiency would need to be in order to justify a legislation with stricter regulations for the former. Since no such clear threshold was given, estimating 95% confidence intervals was done in lieu of carrying out statistical tests for all parameters of interest.

Where possible, prevalence and traffic accident data of several studies were synthesised in meta-analyses to estimate general prevalence of protanopia and protanomaly in European population and compare the accident risk of protans to those of non-colour defectives.

### **Prevalence of protanopia/protanomaly**

Regarding the current prevalence among professional drivers, neither the data nor the literature search could provide a data basis. Data on prevalence in the total population in Europe could be determined through the literature search and summarised in a meta-analysis. The weighted average prevalences from a total of 17 published studies confirm the prevalences frequently referred in the literature with approx. 1% of male population being protanopes and approx. 2% being protans, whereas the respective prevalence in women are both clearly below 0.1%. One may hypothesise that the prevalence among professional drivers is lower than among the total population due to the potential applicants' knowledge about past regulations and uncertainty about future regulations. However, by reason of lack of data, this hypothesis can neither be confirmed nor refuted.

### **Risk of traffic accidents caused by red vision deficient drivers**

It was possible to extract data on the accident risk of protan drivers from a total of six studies that were selected within the literature search, while no additional data could be gained from the data search. All studies were published between 1961 and 1996 in either Germany, the UK or Switzerland.

Three measurements to evaluate accident risk were computed: (i) the prevalence of protanopes/protanomals/protans among drivers that had an accident – which was compared to the prevalence in the total population, (ii) the risk of having an accident among protanope/protanomalous/protan drivers – which was compared to the risk of having an accident in the total population and (iii) the odds ratio of having an accident among protanope/protanomalous/protan drivers and of drivers without colour vision deficiency – which was compared to an odds ratio of 1 that would indicate similar odds.

Ultimately, the identified and considered studies on accident risk do not provide any statistical proof of

an increase in accident risk for or due to protanope, protanomalous or protan motor vehicle drivers. While some study estimates for the prevalence of protanopes/protanomals/protans among drivers that had an accident were larger than the prevalence in the total population, the latter was always within the 95% confidence interval of the former, and therefore statistically not significant. None of the study estimates for the risk of having an accident among protanopic/protanomalous/protan drivers was larger than the risk in the total population. One of the two study estimates for the odds ratio was significantly larger than 1, yet the weighted mean across both studies was not.

It should be noted that only one of the studies had professional drivers as subjects, while the others sampled motor vehicle drivers in general. Furthermore, only some of the extracted data was explicitly for protanope drivers, while oftentimes the numbers were given for protan drivers as a whole. Thus, the results only partially apply to answer the specific question of whether protanope professional drivers have an increased risk of having an accident.

### **Red colour recognition by red vision deficient drivers**

In the literature search, 39 laboratory studies were identified in which protan were compared to people with normal colour vision in relation to various aspects of recognition/reaction to the colour red. The laboratory studies were carried out on subjects who were recruited in various ways without considering their profession; no (professional) drivers were studied.

Various characteristics were measured: the spectral sensitivity and visual acuity at different wavelengths, the error rate or proportion of correct answers when recognising colour or coloured signals/objects, the response time to (coloured) signals/objects, the detection and recognition distance of signs/traffic signs/guide posts/taillights or self-assessment of difficulties in coping with everyday tasks.

Overall, the laboratory studies show a disadvantage of protans compared to people with normal colour vision. The laboratory studies also showed that there are clear tendencies in relation to the severity of red-sight weakness. The results also suggest that a clear separation regarding their performance between protanomalous and people with normal colour vision is not always possible.

However, a direct conclusion on an increased risk of accidents appears questionable since the laboratory conditions are not comparable to real traffic conditions.

long-term database that can also be used to analyse interactions with other factors.

### **Conclusion and recommendation**

In our comprehensive analysis of studies on the risk of traffic accidents caused by protans and an assessment of the practical relevance of the study results, an increase in the risk of accidents in or due to protanopia, protanomals or proto-impaired could not be proven statistically, neither for the accident risk in general nor for the risk of a rear-end collision, which is considered typical for protan people. However, the identified studies are relatively old and may not be applicable to today's circumstances. The current data situation does not justify a withdrawal of the changes to Appendix 6 of the German driving license regulations that were made as part of the harmonisation of European law on July 1<sup>st</sup>, 2011.

It should be clearly emphasised that an approved definition of a practically relevant increased accident risk is missing. Before any future investigations, such a critical threshold should be determined. In addition, the low prevalence of protanopia and protanomaly and the low proportion of rear-end collisions in total severe accidents (13.2% for buses and 23.4% for trucks) give an indication for the proportionality of the issue.

Based on the accident statistics for Germany 2018, it can be derived that, assuming that protanopes have no increased risk of a rear-end collision, there may have been approx. 4 rear-end collisions caused by protan bus drivers and ca. 44 caused by protan truck drivers. If a doubling were practically relevant, one would speak of approx. and rounded up 7 bus or 87 truck accidents in Germany per year (out of 2,628 accidents caused by buses and 18,594 accidents caused by trucks in total in 2018).

To sum up, there is a discrepancy between the severity of the concerns and the corresponding comprehensive investigation of the risk of accidents and/or traffic conspicuousness. Regardless of the difficult statistical validation of an increased risk of accidents, there are no recent studies that take the wider environment and today's technical standards into account. Here it would be a good idea to collect data from ongoing research projects such as GIDAS (<https://gidas.org/welcome/>) in order to create a





# Inhalt

<b>Abkürzungen</b> .....	10	3.3.4 Metaanalyse mehrerer Studien zur Prävalenz und zum Unfallrisiko .....	30
<b>1 Hintergrund und Ziel der Studie</b> .....	11	<b>4 Ergebnisse</b> .....	30
1.1 Hintergrund .....	11	4.1 In der Literaturrecherche identifizierte Studien .....	30
1.2 Ziel .....	13	4.2 Erkenntnisse aus der Datenrecherche .....	34
<b>2 Begriffsdefinitionen und Standards</b> .....	14	4.2.1 Kenntnis über Farbsinnstörungen bei Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen .....	34
2.1 Protanopie und Protanomalie .....	14	4.2.2 Beschäftigungs- und Unfallstatistiken zu Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen .....	35
2.2 Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen .....	15	4.3 Prävalenz von Protanopie und Protanomalie .....	36
2.3 Regelungen zum Farbsehvermögen im Straßenverkehr .....	16	4.4 Unfallrisiko von Kfz-Führenden mit Protostörung .....	38
<b>3 Methodik</b> .....	17	4.4.1 Anteil Personen mit Defekt unter Kfz-Führenden mit Unfall .....	38
3.1 Literaturrecherche .....	17	4.4.2 Unfallrisiko von Kfz-Führenden mit Defekt .....	39
3.1.1 Definition der Fragestellungen der Literaturrecherche .....	17	4.4.3 Chancenverhältnis (Odds Ratio) .....	39
3.1.2 Suchbereiche .....	18	4.4.4 Zusammenfassung Unfallrisiko .....	40
3.1.3 Verwaltung der identifizierten Publikationen und Selektion relevanter Studien .....	21	4.5 Erkennen/Reaktion protanoper/protanomaler Personen auf rote Signale .....	41
3.1.4 Datenextraktion .....	22	<b>5 Fazit und Empfehlung</b> .....	49
3.1.5 Studienbewertung .....	22	5.1 Prävalenz von Protanopie und Protanomalie bei Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen .....	49
3.2 Datenrecherche .....	24	5.2 Unfallrisiko von protanopen/protanomalen Kfz-Führenden .....	49
3.2.1 Suchbereiche .....	24	5.2.1 Anmerkungen zu den identifizierten Studien .....	49
3.2.2 Verlauf der Identifizierung von Kontaktpersonen .....	25	5.2.2 Einordnung der Ergebnisse .....	50
3.2.3 Kontaktaufnahme .....	25	5.2.3 Kommentar zur scheinbaren Evidenz ..	51
3.2.4 Telefoninterviews .....	26	5.3 Erkennen/Reagieren protogestörter Personen auf rote Signale .....	52
3.3 Statistische Auswertung .....	27	5.4 Bewertung der Relevanz für die Verkehrssicherheit .....	53
3.3.1 Statistische Maßzahlen zur Schätzung der Prävalenz und des Unfallrisikos .....	27		
3.3.2 Statistischer Nachweis eines erhöhten Unfallrisikos mit Konfidenzintervallen (KI) .....	29		
3.3.3 Studiendesigns zum Unfallrisiko .....	29		

<b>Literatur</b> .....	53
<b>Bilder</b> .....	59
<b>Tabellen</b> .....	59

### **Anlagen**

Anlage 1: Datenextraktion zu Prävalenz und Unfallrisiko aus der Literaturrecherche

Anlage 2: Qualitative Bewertung der Studien zum Unfallrisiko

Die Anlagen zum Bericht sind im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

### **Abkürzungen**

AAD	Ausbildung, Arbeitsstätte, Dienstfahrt
BA	Bundesagentur für Arbeit
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BAV	Berufsverband der Augenärzte Deutschlands e. V.
BKV	Berufskraftfahrer-Ausbildungsverordnung
BKrFQG	Berufskraftfahrerqualifikationsgesetz
BKrFQG	Berufskraftfahrerqualifikationsverordnung
BVG	Berliner Verkehrsbetriebe
Destatis	Statistisches Bundesamt
DOG	Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft
FeV	Fahrerlaubnis-Verordnung
Kfz	Kraftfahrzeug
KI	Konfidenzintervall
Lkw	Lastkraftwagen
OR	Odds Ratio
ZFER	Zentrales Fahrerlaubnisregister

# 1 Hintergrund und Ziel der Studie

## 1.1 Hintergrund

Hintergrund der Studie war die Harmonisierung des europäischen Rechts zur Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV) bezüglich der Anforderungen an das Farbsehvermögen von Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen. Mit der Umsetzung in deutsches Recht können seit dem 01.07.2011 Fahrende mit einer vorliegenden Rotblindheit oder Rotsehschwäche auch in Deutschland sämtliche Fahrerlaubnisse der Gruppe 2 (C1, C1E, C, CE, D1, D1E, D, DE, FzF) erwerben (zuvor nur C1, C1E, C, CE), bei Rotblindheit oder Rotschwäche mit einem Anomalquotienten unter 0,5 ist jetzt lediglich eine Aufklärung des Betroffenen über die mögliche Gefährdung erforderlich. Gegen diese gelockerte Regelung werden von der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft und anderen Fachleuten Bedenken geäußert. In der vorliegenden Studie sollten belastbare epidemiologische Daten, die Rückschlüsse auf das Ausmaß und die Relevanz von Protanopie und Protanomalie bei Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen für die Verkehrssicherheit zulassen, recherchiert werden, um eine Grundlage in der Argumentation zu zukünftigen oder bestehenden gesetzlichen Regelungen zu schaffen.

Die Bedenken der DOG und des Berufsverbandes der Augenärzte Deutschlands e. V. (BVA) zur Änderung der FeV vom Dezember 2010 wurden in einer Stellungnahme (LACHENMAYR & FREISSLER 2011) wie folgt formuliert: „Der Protanope und hochgradig Protanomale hat das erhebliche Risiko, bei schlechten Sichtverhältnissen, wo die Fahrer nur noch auf die Rücklichter des Vordermanns angewiesen sind, einen Auffahrunfall zu verursachen.“ Begründet wird dieses mit Bezug auf

„zwei gravierende Flugunfälle, die durch Rotsinnngestörte verursacht wurden: Im Jahre 1984 kam es zu einer Bruchlandung einer Phantom F4 bei Nachtflug, weil der Pilot die seitlichen Erkennungslichter anderer Flugzeuge verwechselt hat; im Jahre 2002 erfolgte eine weitere Bruchlandung einer FEDEX-Maschine, weil der protanope Pilot die Landelichter falsch interpretiert hat“ (LACHENMAYR & FREISSLER 2011).

Weiterhin verweist die Stellungnahme auf „ähnlich gravierende Beispiele“ (LACHENMAYR & FREISSLER 2011) im Bereich der Schifffahrt. Diese Argu-

mentation wird in einem Artikel in der Zeitschrift für Praktische Augenheilkunde (LACHENMAYR 2012) wiederholt:

„Der hochgradig Rotsinnngestörte hat somit das Risiko, dass er einen potenziellen Vordermann nicht oder zu spät erkennt und damit einen Auffahrunfall verursacht. [...] Leider ist es nicht möglich das erhöhte Unfallrisiko der hochgradig Rotsinnngestörten durch unfallanalytische Daten zu belegen. Hierzu wären unrealistisch große Stichproben erforderlich, wie in einer Studie des Verfassers im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) in einer Abschätzung nachgewiesen wurde (LACHENMAYR, BUSER & KELLER 1997)“ (LACHENMAYR 2012).

In ebendieser Studie „Sehstörungen als Unfallursache“ (LACHENMAYR, BUSER & KELLER 1997) wird ausgeführt:

„Bei Farbsinnstörungen besteht nicht so sehr das Problem darin, die Ampellichter zu identifizieren: Jedermann weiß, daß Rot oben und Grün unten ist. Es gibt jedoch Verkehrssituationen, bei denen ein Farbsinnngestörter, speziell ein Fahrer, dessen Erkennungsfähigkeit für rote Lichter eingeschränkt ist (Protanomalie und Protanopie), einem erhöhten Risiko für einen Auffahrunfall ausgesetzt ist: unter schlechten Sichtverhältnissen, z. B. bei Nebel, im dichten Schneetreiben oder Regen hat er als einzige Informationsquelle seines möglichen Vordermannes dessen Rücklichter bzw. Bremsleuchten. Der typische Unfall, den ein Rotsinnngestörter verursacht, ist daher ein Auffahrunfall unter ungünstigen Sichtverhältnissen.“

Die Hypothese, dass Kraftfahrzeugführende mit einer Rotsinnstörung (Protanopie oder Protanomalie) ein erhöhtes Risiko haben, unter schlechten Sichtverhältnissen einen Auffahrunfall zu verursachen, wurde allerdings nicht untersucht, mit der folgenden Begründung:

„Da eine Rotsinnstörung in der Bevölkerung nur bei 2,2 % der Männer vorkommt, bei Frauen mit vernachlässigbar geringer Häufigkeit [...] sind unrealistisch hohe Fallzahlen nötig, um beispielsweise eine Risikoerhöhung um 50 % nachzuweisen (2.000 bis 3.000 Verunfallte). Für eine Verdoppelung des Risikos bräuchte man immer noch 903 (1.227) Fahrer. Hier besteht mit diesem Ansatz wenig Aussicht auf Erfolg, da derartige Fallzahlen klinisch nicht verarbeitet werden

können“ (LACHENMAYR, BUSER & KELLER 1997).

International haben sich einige Forschungsgruppen besonders intensiv mit dem Thema beschäftigt. So gründete Morley G. WHILLANS in Kanada das Colour Blind Committee, eine Gruppe, die sich der Beseitigung der Sicherheitsrisiken widmet, die von farbsinngestörten Kfz-Führenden ausgehen. Sein Interesse an dem Thema entstand nach seiner Pensionierung als Beifahrer seiner Frau, die sich Ampelkreuzungen immer mit ungewöhnlicher Vorsicht näherte. Morley G. WHILLANS hat in einer Studie 17 farbsinngestörte (keine Spezifizierung der Farbsinnstörung) Kfz-Führende zu ihrer Wahrnehmung von Verkehrslichtern befragt, die mehrheitlich Probleme mit Lichtsignalanlagen schilderten (WHILLANS 1983). Er führte dazu aus:

„Das Argument, dass es für oder mit farbsinngestörten Fahren den kein Problem zu geben scheint, scheint auf Unwissenheit und Selbstzufriedenheit zu beruhen. Nützliche Informationen könnten gesammelt werden, wenn Aufzeichnungen über Fahren den mit bekannten Farbsinnstörungen geführt, und diese in Bezug auf Unfälle an Kreuzungen bewertet würden. Eine sorgfältige Suche in der Literatur hat keine verlässlichen Statistiken dieser Art ergeben“ (WHILLANS 1979).

WHILLANS favorisierte statt Fahrverboten für farbsinngestörte Personen technische Lösungen. Er plädierte für Änderungen in Design, Farbe und Form von Ampellichtern (WHILLANS 1979, 1989, 1993; WHILLANS & ALLEN 1992).

Sehr umfangreiche Laborstudien zum Erkennen und zum Reagieren auf rotfarbige Signale – aber keine Feldstudien zum direkten Zusammenhang zur Unfallhäufigkeit - wurden über viele Jahre hinweg in Australien von Barry L. COLE und seinem Team durchgeführt (COLE 2004; COLE & MADDOCKS 1995; STEWARD & COLE 1989a; VERRIEST et al. 1980; COLE & VINGRYS 1982, 1983; VINGRYS & COLE 1993; COLE 1972). COLE schlussfolgert aus seinen Arbeiten:

„Die Unfallnachweise und die Kenntnis der Natur der Protostörung lassen den Schluss zu, dass eine Protostörung ein Risikofaktor für Verkehrsunfälle ist. Der Ausschluss von protogestörten Personen vom Besitz eines kommerziellen Führerscheins ist gerechtfertigt und dient der Verringerung des Unfallrisikos“ (COLE 2002).

Auch COLE kritisiert die europäische Lockerung der Regelung bezüglich der Anforderungen an das Farbsehvermögen eines Berufskraftfahrers bzw. einer Berufskraftfahrerin:

„Verschiedene europäische Länder haben oder hatten Standards für das Farbsehvermögen für Kfz-Führende, aber die Europäische Union berücksichtigt das Thema bei der Einrichtung eines europaweiten Führerscheins nicht und scheint keine Pläne zu haben, eine Diskussion darüber zu führen“ (COLE 2016).

Tatsächlich wird das Thema Farbsehvermögen in dem Bericht der Europäischen Arbeitsgruppe Sehvermögen für den Europäischen Führerscheinausschuss zur Überarbeitung der Standards zum Sehvermögen von Kraftfahrenden nicht behandelt (van RIJN).

In Australien gibt es derzeit keine Anforderungen an das Farbsehvermögen für Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen, allerdings gab es diese in der Vergangenheit. In Australien wurde 1994 ein nationaler Standard für das Farbsehvermögen für Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen eingeführt, welcher protanopen Personen die Fahrerlaubnis verweigerte. Dieser Standard rief Proteste bei Personen, denen aufgrund ihres Farbsehvermögens die Fahrerlaubnis verweigert wurde, hervor und wurde von den staatlichen Regulierungsbehörden wenig unterstützt, „höchstwahrscheinlich, weil sie ihn nicht verstanden hatten“ (COLE 2016). Der entscheidende Protest kam von einer familiengeführten Spedition, in der alle kraftfahrzeugführenden Eigentümer einen Protan-Farbseh-mangel hatten. Daraufhin wurde der Farbsichtstandard 2003 aufgegeben. COLE weist dazu auf den Konflikt zwischen Fahrverboten und Diskriminierung hin:

„Die Gesetzgebung verbietet Diskriminierung, durch die eine Person mit einer körperlichen oder geistigen Beeinträchtigung benachteiligt wird im Vergleich zu Personen ohne diese Beeinträchtigung. Die Beweislast für Vorschriften, die Menschen mit Beeinträchtigungen an der Ausführung normaler menschlicher Aktivitäten hindern oder ihre Beschäftigungsmöglichkeiten einschränken, ist hoch. Zusätzlich zum Nachweis, dass eine Person mit einer Beeinträchtigung, wie z. B. einer Farbsinnstörung, ein Risiko für sich selbst und die Öffentlichkeit darstellt, muss auch nachgewiesen werden, dass keine angemessene Unterstützung bereitgestellt wer-

den kann, um dem Risiko entgegenzuwirken“ (COLE 2016).

Resümierend wirft COLE Politik und Behörden mangelndes Durchsetzungsvermögen von Fahrverboten für Personen mit Farbsinnstörungen vor:

„Die Beweismittel und Indizien, die einen Standard für das Farbsehvermögen für Fahrende rechtfertigen, sind sehr komplex und technisch. Das ist für Aufsichtsbehörden nur schwer zu erfassen. Sie sind auch abgeschreckt von der Aussicht, die Fahrerlaubnis für bis zu acht Prozent der Männer mit Farbsinnstörungen zu verweigern. [...] Das Ergebnis ist eine Forderung nach einer Erhebung von eindeutigen Unfalldaten, um zu zeigen, dass es einen Zusammenhang zwischen Farbsinnstörungen und Verkehrsunfällen gibt“ (COLE 2016).

Die Commission Internationale de l'Eclairage (CIE, Internationale Behörde für Beleuchtung und Signallichter) hat im Jahr 2001 in ihrer Empfehlung von Standards für das Farbsehvermögen für gewerblich Führende großer Fahrzeuge (mehr als acht Tonnen) sowie für Bus- und Taxiführender den Ausschluss protogestörter Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen empfohlen (International Commission on Illumination 2001). Barry L. COLE hatte den Vorsitz des Komitees, das die Empfehlungen verfasst hat.

Daten, die den direkten Zusammenhang von Protanopie und Unfallhäufigkeit untersuchen, wurden von keiner der zitierten Personen erhoben und sind insgesamt kaum vorhanden. Die einzigen Daten stammen aus experimentellen Studien, welche die Erkennung oder Reaktion auf rote Signale von protogestörten Personen untersuchten. Aus diesen wurden mögliche Auswirkungen von Protanopie bzw. Protanomalie auf das Unfallrisiko geschlossen. Einzelbeispiele oder Laborexperimente dienen somit als Nachweis einer Gefährdung der Verkehrssicherheit oder mindestens als Rechtfertigung zur Anwendung des Vorsorgeprinzips.

Dagegen wurde argumentiert, dass theoretisch vorhandene Einschränkungen in der Erkennung roter Signale für den Straßenverkehr nicht relevant sind, da die Betroffenen die Farberkennung durch andere Kodierungen kompensieren (z. B. Position der Ampellichter, Luminanz oder Muster der Signale, drittes Bremslicht). Weiterhin würden sie vorsichtiger fahren und sich am Verhalten anderer Verkehrsbeteiligter orientieren (FREY 1977; KALBERER 1971;

HARTMANN 1977; MEYER 1976; ZEHNDER 1971). Eine Datenbasis für diese Gegenargumente ist genauso rar wie die für die Unfallhäufigkeit.

Tatsächlich wurden im deutschsprachigen Raum (Deutschland und Schweiz) Studien zur Unfallhäufigkeit protogestörter Kfz-Führender vor allem in den 1960er und 1970er Jahren durchgeführt (GRAMBERG-DANIELSEN 1961; HAGER 1963; MEYER 1976; NEUBAUER 1979). NEUBAUER (1979) stellte fest, dass „ein wissenschaftlich solider Beweis für eine unmittelbare Wechselwirkung zwischen Farbsinnstörung und einer wesentlich erhöhten Unfallrate infolge der Komplexität des Unfallgeschehens und der Seltenheit sowohl von Unfällen als auch von Farbsinnstörungen äußerst schwer zu erbringen sein dürfte“. Neuere Studien zur Unfallhäufigkeit aus der deutschsprachigen Region sind nicht veröffentlicht.

## 1.2 Ziel

Es war das Ziel dieser Studie, eine Datengrundlage zur Beantwortung der folgenden Fragestellungen zu recherchieren:

- I. Wie hoch ist die Prävalenz von Protanopie und Protanomalie bei Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen?
- II. Inwiefern ist ein erhöhtes Unfallrisiko bei protanopen oder protanomalen Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen im Vergleich zu normalfarbsichtigen Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen nachgewiesen?

Da ein potenziell erhöhtes Unfallrisiko protanoper oder protanomaler Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen in der Literatur oftmals über den Nachweis des fehlerhaften Erkennens der Farbe Rot oder einer verzögerten Reaktion auf rote Signale geschlossen wird, wurde die Datenrecherche dieser Studie um eine weitere Fragestellung erweitert:

- III. Inwieweit ist das Erkennen oder die Reaktion auf die Farbe Rot bei Personen (insbesondere Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen), die unter Protanopie oder Protanomalie leiden, im Vergleich zu normalfarbsichtigen Personen (insbesondere Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen) fehlerbehaftet?

## 2 Begriffsdefinitionen und Standards

In dem vorliegenden Bericht wird die folgende Nomenklatur zur Beschreibung des Farbvermögens verwendet:

- Eine Person mit Protanopie ist eine protanope Person.
- Eine Person mit Protanomalie ist eine protanomale Person.
- Bei einer Person mit Protanopie oder Protanomalie liegt eine Protostörung vor und es handelt sich um eine protogestörte Person.
- Protanopie, Protanomalie bzw. Protostörung werden übergreifend als Defekt bezeichnet.
- Bei einer Person mit einer Farbsinnstörung handelt es sich um eine farbsinngestörte Person.
- Bei einer Person mit Normalfarbsichtigkeit handelt es sich um eine normalfarbsichtige Person.

### 2.1 Protanopie und Protanomalie

Das Farbsehvermögen basiert auf der Fähigkeit zur Unterscheidung von Objekten aufgrund der Wellenlänge des Lichts, welches sie reflektieren oder abgeben. In der Retina des Auges befinden sich dazu spezielle Photorezeptoren, die sogenannten Zapfen. Das menschliche Nervensystem nimmt Farben wahr, indem es die Reize der drei verschiedenen Zapfenarten (S-, M- und L-Zapfen) miteinander vergleicht. Jede einzelne der drei Zapfenarten ist empfindlich für Licht in einem spezifischen Wellenlängenspektrum. Ist mindestens eine der Zapfenarten anomal oder nicht vorhanden, liegt eine Abwei-

chung von der Normalfarbsichtigkeit, eine sog. Farbsinnstörung, vor. Farbsinnstörungen können angeboren oder erworben sein (TREGGAR et al. 2008). Weiterhin können die angeborenen Farbsinnstörungen nach dem Fehlen bzw. der Anomalität der jeweiligen Zapfenarten (siehe Tabelle 2-1) klassifiziert werden (COLE 1972). Da Farbsinnstörungen X-chromosomal rezessiv vererbt werden, sind Männer häufiger betroffen als Frauen (SHARPE et al. 2001).

Bei Personen mit einer Protanomalie (auch Rotsehschwäche) sind alle drei Zapfenarten vorhanden, jedoch ist der spektrale Empfindlichkeitsbereich der L-Zapfen verschoben. Bei Personen mit einer Protanopie (auch Rotblindheit) fehlen die L-Zapfen, welche für Licht im langwelligen Bereich empfindlich sind. Protanomale bzw. protanope Personen können daher die Farben im Rotbereich nur mäßig bzw. schlecht unterscheiden. Der Goldstandard in der Prüfung für die Farbunterscheidung beim Rot-Grün-Sehen, also zur Diagnose von Deuteranomalie (auch Grünsehschwäche) bzw. Deuteranopie (auch Grünblindheit) sowie Protanomalie bzw. Protanopie, ist das Anomaloskop. Die Messungen mit dem Anomaloskop ergeben als quantitatives Maß für die Art der Farbsinnstörung und der Stärke ihrer Ausprägung den Anomalquotienten (LACHENMAYR 2008).

Farbsinngestörte Personen sind möglicherweise mit Schwierigkeiten im Alltag konfrontiert, die normalfarbsichtige Personen nicht haben. Das betrifft z. B. das Führen eines Kraftfahrzeugs (Kfz) im Straßenverkehr, da dies ein gutes Erkennen von Ampeln, Verkehrsschildern und farbkodierter Beleuchtung (z. B. Rücklichter) erfordert (CHAKRABARTI 2018).

Anz. Zapfenarten	Typ	Untergruppe	Fehlende/anomale Zapfenart
0	Monochromasie	Stäbchenmonochromasie	alle
1	Monochromasie	Zapfenmonochromasie	2 versch.
2	Dichromasie	Protanopie	L
		Deuteranopie	M
		Tritanopie	S
3	Anomale Trichromasie	Protanomalie	L
		Deuteranomalie	M
		Tritanomalie	S

Tab. 2-1: Klassifizierung der angeborenen Farbsinnstörungen

## 2.2 Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen

In Deutschland ist „Berufskraftfahrer/Berufskraftfahrerinnen“ ein staatlich anerkannter Ausbildungsberuf (vgl. § 1 BKV). Die Ausbildung bzw. die Vorqualifikation ist in Deutschland in der Berufskraftfahrer-Ausbildungsverordnung (BKV), in der Berufskraftfahrerqualifikationsverordnung (BKrFQV) und im Berufskraftfahrerqualifikationsgesetz (BKrFQG) rechtlich geregelt. Laut BKrFQG sind Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen Personen, welche Fahrten im Güter- oder Personenkraftverkehr zu gewerblichen Zwecken auf öffentlichen Straßen mit Kfz, für die eine Fahrerlaubnis der Klasse C1, C1E, C, CE, D1, D1E, D oder DE erforderlich ist, durchführen (vgl. BKrFQG). Die Tabelle 2-2 gibt einen Überblick über die Fahrzeuge, welche mit den einzelnen Fahrerlaubnisklassen C1, C1E, C, CE, D1, D1E, D und DE geführt werden dürfen.

Die Fahrerlaubnis der Klassen C1, C1E, C, CE, D1, D1E, D und DE ist für fünf Jahre gültig (vgl. § 23 FeV Abs. 1 Satz 2 FeV). Ihre Geltungsdauer wird auf Antrag des Inhabers verlängert, wenn der Inhaber u. a. seine Eignung nach Maßgabe der Anlage 5 FeV und die Erfüllung der Anforderungen an das Sehvermögen nach Anlage 6 FeV nachweist (vgl. § 24 Abs. 1 FeV).

Für Bewerber und Inhaber der Klassen C, C1, D, D1 und der zugehörigen Anhängerklassen E sowie der Fahrerlaubnis zur Fahrgastbeförderung ist eine Eignungsuntersuchung nach Anlage 5 FeV gesetzlich vorgeschrieben. Bewerber um die Erteilung oder Verlängerung einer Fahrerlaubnis der Klassen D, D1, DE, D1E sowie einer Fahrerlaubnis zur Fahrgastbeförderung müssen außerdem besondere Anforderungen hinsichtlich Belastbarkeit, Orientierungsleistung, Konzentrationsleistung, Aufmerksamkeit und Reaktionsfähigkeit erfüllen. Auch müssen gemäß Anlage 6 FeV Mindestanforderungen an das Sehvermögen erfüllt werden, über die der Fahrerlaubnisbehörde ein Nachweis vorzulegen ist. Es werden genauer die zentrale Tagesehschärfe, das normale Farbsehen, das normale Gesichtsfeld und das Stereosehen geprüft. Können die Voraussetzungen für die einzelnen Merkmale bei der Untersuchung nicht zweifelsfrei festgestellt werden, ist eine zusätzliche augenärztliche Untersuchung erforderlich (siehe Kapitel 2.3, vgl. Anlage 6 FeV).

Zur gewerblichen Nutzung einer Fahrerlaubnis der Klasse C1, C1E, C, CE, D1, D1E, D oder DE muss eine Grundqualifikation bzw. eine Weiterbildung nachgewiesen werden. Die absolvierte Grundqualifikation bzw. Weiterbildung wurde bislang durch den Eintrag der harmonisierten Schlüsselzahl 95 (gem.

Klasse	Definition
C1	Kfz, ausgenommen Kfz der Klassen AM, A1, A2, A, D1 und D, mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3.500 kg, aber nicht mehr als 7 500 kg, und die zur Beförderung von nicht mehr als acht Personen außer dem Fahrzeugführer ausgelegt und gebaut sind (auch mit Anhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von nicht mehr als 750 kg).
C1E	Fahrzeugkombinationen, die aus einem Zugfahrzeug <ul style="list-style-type: none"> <li>• der Klasse C1 und einem Anhänger oder Sattelanhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 750 kg bestehen, sofern die zulässige Gesamtmasse der Fahrzeugkombination 12.000 kg nicht übersteigt,</li> <li>• der Klasse B und einem Anhänger oder Sattelanhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3.500 kg bestehen, sofern die zulässige Gesamtmasse der Fahrzeugkombination 12.000 kg nicht übersteigt.</li> </ul>
C	Kfz, ausgenommen Kfz der Klassen AM, A1, A2, A, D1 und D, mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3.500 kg, die zur Beförderung von nicht mehr als acht Personen außer dem Fahrzeugführer ausgelegt und gebaut sind (auch mit Anhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von nicht mehr als 750 kg).
CE	Fahrzeugkombinationen, die aus einem Zugfahrzeug der Klasse C und Anhängern oder einem Sattelanhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 750 kg bestehen.
D1	Kfz, ausgenommen Kfz der Klassen AM, A1, A2, A, die zur Beförderung von nicht mehr als 16 Personen außer dem Fahrzeugführer ausgelegt und gebaut sind und deren Länge nicht mehr als 8 m beträgt (auch mit Anhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von nicht mehr als 750 kg).
D1E	Fahrzeugkombinationen, die aus einem Zugfahrzeug der Klasse D1 und einem Anhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 750 kg bestehen.
D	Kfz, ausgenommen Kfz der Klassen AM, A1, A2, A, die zur Beförderung von mehr als acht Personen außer dem Fahrzeugführer ausgelegt und gebaut sind (auch mit Anhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von nicht mehr als 750 kg).
DE	Fahrzeugkombinationen, die aus einem Zugfahrzeug der Klasse D und einem Anhänger mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 750 kg bestehen.

Tab. 2-2: Definition der Fahrzeugklassen (vgl. § 6 Abs. 1 FeV)



Anlage 9 zu § 25 Abs. 3 der FeV) der Europäischen Union auf dem Kartenführerschein nachgewiesen. Die Schlüsselzahl 95 wird durch die für die Erteilung von Fahrerlaubnissen zuständige Behörde eingetragen und ist für 5 Jahre gültig (vgl. BKrFQG). Ab Mai 2021 dient der Fahrerqualifizierungsnachweis als Nachweis einer bestehenden Berufskraftfahrerqualifikation (vgl. BKrFQV) und löst die Eintragung der Schlüsselzahl 95 in den Führerschein ab.

Aufgrund der Fahrerlaubnisklasse allein ist kein Rückschluss darauf möglich, ob es sich um einen Berufskraftfahrer bzw. eine Berufskraftfahrerin handelt oder nicht, da die Fahrzeugklassen allein an das Führen eines Kraftfahrzeugs der betreffenden Fahrzeugklasse anknüpfen und nicht zwischen dem Führen zu beruflichen, gewerblichen oder sonstigen Zwecken differenzieren. Rückschlüsse erlaubt allerdings die Schlüsselzahl 95, die ab Mai 2021 durch den Fahrerqualifizierungsnachweis abgelöst wird. Die Schlüsselzahl 95 kennzeichnet alle Personen, die berechtigt sind, ein Fahrzeug der Klasse C oder D zu gewerblichen Zwecken zu führen. Die Tabelle 2-3 gibt einen Überblick über die Anzahl der Personen mit eingetragener Schlüsselzahl 95, aufgeteilt nach Fahrerlaubnisklassen aus dem Zentralen Fahrerlaubnisregister (Zentrales Fahrerlaubnisregister 2016).

Auf europäischer Ebene ist die Grundqualifikation und Weiterbildung von Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen in der RL 2003/59/EG und der RL 2018/645 geregelt. In Ländern der Europäischen Union üben Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen ihren Beruf aufgrund einer nationalen Berufsausbildung oder aufgrund der nationalen Umsetzung der Vorgaben aus der Berufskraftfahrerqualifikationsrichtlinie aus (vgl. RL 2003/59/EG).

## 2.3 Regelungen zum Farbsehvermögen im Straßenverkehr

Bezüglich der Anforderungen an das Farbsehvermögen von Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen erfolgte im Rahmen der Harmonisierung des europäischen Rechts zum 01.07.2011 eine Änderung der Anlage 6 zur FeV. Personen mit einer vorliegenden Protanopie oder Protanomalie können seit diesem Zeitpunkt sämtliche Fahrerlaubnisse der Gruppe 2 (C1, C1E, C, C1, D1, D1E, D, D1, FzF) erlangen (zuvor nur C1, C1E, C, C1), bei Rotblindheit oder Rotschwäche mit einem Anomalquotienten unter 0,5 ist eine Aufklärung der betroffenen Person über die mögliche Gefährdung erforderlich.

Bewerber um die Erteilung oder Verlängerung der Fahrerlaubnisklassen C1, C1E, C, C1, D1, D1E, D, D1 und der Fahrerlaubnis zur Fahrgastbeförderung müssen Mindestanforderungen an das Sehvermögen erfüllen, diese sind durch „die Untersuchung durch einen Augenarzt, einen Arzt mit der Gebietsbezeichnung „Arbeitsmedizin“, einen Arzt mit der Zusatzbezeichnung „Betriebsmedizin“, einen Arzt bei einer Begutachtungsstelle für Fahreignung, einen Arzt des Gesundheitsamtes oder einen anderen Arzt der öffentlichen Verwaltung“ nachzuweisen. Können die Voraussetzungen bei der Untersuchung nicht zweifelsfrei festgestellt werden, ist zusätzlich eine augenärztliche Untersuchung mit Bestimmung des Anomalquotienten erforderlich (vgl. FeV, Anlage 6). Entsprechend ist in der Anlage 6 der FeV der Erwerb der Fahrerlaubnisklassen C und D (zur Beförderung von mehr als 8 Personen, Fahrgastbeförderung) bei Vorliegen einer Rotblindheit oder Rotschwäche mit einem Anomalquotienten unter 0,5 zulässig. Bei Vorliegen eines Anomal-

Ablauf der Schlüsselzahl 95	C-Klassen <sup>1</sup>	D-Klassen <sup>2</sup>	C-Klassen und D-Klassen <sup>3</sup>
Insgesamt	928.815	19.335	168.340
davon (in %)			
2016	11,7	11,5	9,2
2017	5,7	13,6	9,8
2018	9,7	20,5	18,2
2019	40,6	21,6	27,9
2020	26,9	26,3	28,8
2021	5,4	6,4	6,1

<sup>1</sup> Ausschließlich die Fahrerlaubnisklassen C1, C1E, C oder CE  
<sup>2</sup> Ausschließlich die Fahrerlaubnisklassen D1, D1E, D oder DE  
<sup>3</sup> Die Fahrerlaubnisklassen C1, C1E, C, CE in Kombination mit den Klassen D1, D1E, D oder DE

Tab. 2-3: Anzahl der Personen mit eingetragener Schlüsselzahl 95 am 1. Januar 2016 (ZFER)

quotienten unter 0,5 ist allerdings eine Aufklärung des Betroffenen über die durch die Farbsinnstörung mögliche Gefährdung erforderlich.

Gegen diese Regelungen werden Bedenken seitens der DOG, aber auch anderer Fachleute geäußert (LACHENMAYR & FREISSLER 2011; LACHENMAYR 2012; DOG 2019).

In vielen anderen Ländern stellt sich die Situation ähnlich wie in Deutschland dar. Dort gibt es aktuell keine generellen Einschränkungen für Personen mit Farbsinnstörungen hinsichtlich des Führens von Fahrzeugen. Falls es Regelungen für farbsinngestörte Personen gibt, dann beschränken diese sich z. B. in Kanada, in Neuseeland oder in den USA lediglich darauf, dass die Kfz-führende Person in der Lage sein sollte Signallichter, Verkehrszeichen und -ampeln sowie Stopplichter zu erkennen (NZ Transport Agency 2018) oder die Lichter einer Ampelanlage zu unterscheiden (Canadian Medical Association 2017, TREGGAR et al. 2008). In Australien gibt es ebenfalls keine Einschränkungen für Personen mit Farbsinnstörungen bezüglich des Führens von Fahrzeugen auf öffentlichen Straßen. Jedoch sollten farbsinngestörte Personen von Ärzten oder Ophthalmologen darüber aufgeklärt werden, dass die Farbsinnstörung möglicherweise ihre Reaktionsfähigkeit auf Signallichter beeinträchtigt (Ausroads 2016). Im Vereinigten Königreich (UK) müssen Personen mit einer Farbsinnstörung diese nicht bei der britischen Fahrerlaubnisbehörde angeben. Dementsprechend gibt es keinerlei Einschränkungen für das Führen eines Kfz für farbsinngestörte Personen (Driver & Vehicle Licensing Agency 2020).

### 3 Methodik

Die Datengewinnung erfolgte auf zwei Wegen. Zum einen fand eine Literaturrecherche zur Beantwortung der Fragestellungen der vorliegenden Arbeit statt. Die in der Literaturrecherche identifizierten Studien wurden nach bestimmten Kriterien ausgewählt und anschließend wurden die Daten aus den ausgewählten Studien extrahiert. Des Weiteren erfolgte eine Datenrecherche bei Behörden, Fachgesellschaften, Versicherern, Berufsgenossenschaften. In der Datenrecherche wurden veröffentlichte Zahlen recherchiert sowie Institutionen, Arbeits-/ Betriebsmedizinpraxen und weitere Fachleute nach Daten befragt.

### 3.1 Literaturrecherche

Die Literaturrecherche zur Beantwortung der definierten Fragestellungen wurde nach den Prinzipien einer systematischen Übersichtsarbeit (Systematic Review) durchgeführt (VERBEEK, RUOTSALAINEN & HOVING 2012). Der systematische Ansatz wurde nicht nur in der Recherche nach wissenschaftlichen Publikationen, sondern auch in der Suche nach sogenannter grauer Literatur angesetzt (GODIN et al. 2015), um Dokumente zu identifizieren, die im Rahmen wissenschaftlicher oder praktischer Tätigkeit entstanden und durch Institutionen wie Universitäten, Verbände, Verwaltungsorgane, Vereine etc. herausgegeben wurden (wissenschaftliche Qualifikationsarbeiten, unveröffentlichte Studien/Forschungsarbeiten, Projekt- und Arbeitsberichte, Konferenzberichte und -vorträge).

#### 3.1.1 Definition der Fragestellungen der Literaturrecherche

Die Fragestellungen dieser Studie wurden zur Umsetzung der systematischen Recherche nach Literatur und Daten nach dem PEO- bzw. PECO-Schema (HIGGINS & THOMAS 2020) formuliert; dabei steht P für Population, E für Exposure (engl. für Exposition), C für Comparator (engl. für Vergleich oder Gegenüberstellung) und O für Outcome (engl. für Ergebnis).

- 1) Die erste Fragestellung ist vom PEO-Typ und lautet: Wie hoch ist die Prävalenz (O I) von Protanopie und Protanomalie (E) unter Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen (P)?
- 2) Die zweite, zentrale Fragestellung des Reviews ist vom PECO-Typ und lautet: Inwiefern ist bei protanopen oder protanomalen (E) Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen (P) im Vergleich zu normalfarbsichtigen Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen (C) ein erhöhtes Unfallrisiko (O II) nachgewiesen?
- 3) Die dritte Fragestellung ist ebenfalls vom PECO-Typ und lautet: Inwiefern ist bei Personen (insbesondere Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen) (P), die unter Protanopie oder Protanomalie leiden (E), im Vergleich zu normalfarbsichtigen Personen (insbesondere Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen) (C), das Erkennen oder die Reaktion auf die Farbe Rot (O III) eingeschränkt?

Schlüsselemente	Kriterien
Population (P)	Kraftfahrzeugführende/Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen exponiert
Exposition (E)	Protanopie, Protanomalie oder Protostörung
Comparison (C)	normalfarbsichtige Kraftfahrzeugführende/ Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen
Outcome I (O I)	Prävalenz (Wahrscheinlichkeit eines Defekts)
Outcome II (O II)	Unfallrisiko (Wahrscheinlichkeit eines Verkehrsunfalls)
Outcome III (O III)	Erkennen von/Reaktion auf rotfarbige Signale/Objekte

Tab. 3-1: Schlüsselemente und Kriterien zur Definition der Suchfrage

Name Literatur-Datenbank (Anbieter)	Internet-Adresse
Cochrane Library (WILEY)	<a href="https://www.cochranelibrary.com/">https://www.cochranelibrary.com/</a>
CRD Database (Centre for Reviews and Dissemination)	<a href="https://www.crd.york.ac.uk/CRDWeb/">https://www.crd.york.ac.uk/CRDWeb/</a>
LIVIVO (ZB MED)	<a href="https://www.livivo.de/">https://www.livivo.de/</a>
PsycINFO (American Psychological Association)	<a href="https://www.apa.org/pubs/databases/psycinfo/">https://www.apa.org/pubs/databases/psycinfo/</a>
PubMed (National Library of Medicine)	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/</a>
Scopus (Elsevier)	<a href="https://www.scopus.com/home.uri">https://www.scopus.com/home.uri</a>
TRID Database (National Academy of Sciences)	<a href="https://trid.trb.org/">https://trid.trb.org/</a>
Web of Science (Clarivate Analytics)	<a href="https://clarivate.com/products/web-of-science/">https://clarivate.com/products/web-of-science/</a>

Tab. 3-2: Übersicht über die durchsuchten Literatur-Datenbanken

Die drei Fragen wurden zu einer gemeinsamen Suchfrage kombiniert. In Tabelle 3-1 sind die Schlüsselemente der drei Fragestellungen sowie die zugehörigen Kriterien aufgeführt.

### 3.1.2 Suchbereiche

Für die systematische Suche nach Publikationen/ Literatur wurden die folgenden vier Suchbereiche definiert:

- Suchbereich 1: in Literatur-Datenbanken nach wissenschaftlichen Publikationen,
- Suchbereich 2: mit Internet-Suchmaschinen nach grauer Literatur,
- Suchbereich 3: auf den Webseiten relevanter Institutionen nach grauer Literatur,
- Suchbereich 4: manuelle Rückwärtssuche nach relevanten Studien.

### Suchbereich 1: Literatur-Datenbanken

Es wurde in acht Literatur-Datenbanken nach relevanten wissenschaftlichen Publikationen gesucht. Die Tabelle 3-2 gibt einen Überblick über die durchsuchten Literatur-Datenbanken.

Für die Suche in den Literatur-Datenbanken wurden Suchgleichungen bzw. Suchbegriffe definiert. Die Tabelle 3-3 gibt eine Übersicht über die bei der Suche in den einzelnen Literatur-Datenbanken verwendeten Suchgleichungen bzw. Suchbegriffe. Der Proximity Operator *NEAR/x* wurde eingesetzt bei der Suche in Web of Science, sein Äquivalent *W/x* bei der Suche in Scopus. Die Sets #1 und #2 wurden für die Abfragen in allen Literatur-Datenbanken, bis auf der TRID-Datenbank, mit Set #3, #4 oder #5 kombiniert (siehe Tabelle 3-4). Da es sich bei der TRID-Datenbank um eine spezifische Datenbank für den Bereich Transport und Verkehr handelt, konnte die Suchgleichung relativ einfach gehalten werden. Es wurde in dieser Datenbank nur mit Set #2 gesucht.

Set	Feld	Suchgleichungen bzw. Suchbegriffe verwendet für die Suche in			Schlüsselemente
		Cochrane, CRD, LIVIVO, PsycINFO und PubMed	Scopus und Web of Science	TRID	
#1	Topic	"Automobile Driving"[MeSH] OR "Transportation"[MeSH]	((car OR professional OR commercial OR automobile OR motor OR truck OR bus) W/0 driver*) OR (passenger* W/0 (transport OR service))		Population/ Comparator
#2	Topic	"Color Vision Defects"[-MeSH]	(protanop* OR protanomal* OR ((color W/1 vision*) OR (red W/1 vision*)) AND (discriminat* OR defect* OR deficien* OR abnorm* OR blind* OR weak*)) OR dichromasy OR dyschromotopsia OR (protan* W/0 trichromasy))	protan*	Exposition
#3	Topic	"Prevalence"[MeSH]	(prevalence OR distribut* OR frequen* OR incidence OR number* OR count*)		Outcome (I)
#4	Topic	"Accidents, Traffic"[MeSH]	((traffic OR road OR car OR motor OR automobile OR lorry R truck OR van OR bus OR coach) NEAR /1 accident) OR collision OR crash OR ((traffic OR road OR motor OR highway OR transport)) NEAR /1 (safety OR security) OR roadworthiness)		Outcome (II)
#5	Topic	"Color Perception"[MeSH]	(visual W/0 function* OR ((percept* OR recogni* OR detect* OR respons* OR identifi*) W/2 (time* OR red OR color* OR signal OR light* OR subject* OR brake* OR lamp*))))		Outcome (III)

Tab. 3-3: Definition der Suchgleichungen bzw. Suchbegriffe für Suchbereich 1

Literatur-Datenbank	Kombination Sets	Datum	Anz. Treffer
Cochrane	#1 AND #2 AND #3	13.05.2019	3
	#1 AND #2 AND #4	13.05.2019	16
	#1 AND #2 AND #5	13.05.2019	0
CRD	#1 AND #2 AND #3	13.05.2019	0
	#1 AND #2 AND #4	13.05.2019	0
	#1 AND #2 AND #5	13.05.2019	0
LIVIVO	#1 AND #2 AND #3	13.05.2019	0
	#1 AND #2 AND #4	13.05.2019	12
	#1 AND #2 AND #5	13.05.2019	24
PsycINFO	#1 AND #2 AND #3	14.05.2019	0
	#1 AND #2 AND #4	14.05.2019	2
	#1 AND #2 AND #5	14.05.2019	3
PubMed	#1 AND #2 AND #3	26.03.2019	0
	#1 AND #2 AND #4	10.05.2019	19
	#1 AND #2 AND #5	26.03.2019	14
Scopus	#1 AND #2 AND #3	26.03.2019	9
	#1 AND #2 AND #4	10.05.2019	16
	#1 AND #2 AND #5	26.03.2019	9
TRID	#2	13.05.2019	44
Web of Science	#1 AND #2 AND #3	10.05.2019	4
	#1 AND #2 AND #4	10.05.2019	4
	#1 AND #2 AND #5	10.05.2019	5

Tab. 3-4: Kombination der Sets in den einzelnen Abfragen

## Suchbereich 2: Internet-Suchmaschinen

Die Suche nach grauer Literatur wurde mit den beiden Suchmaschinen Google (<https://www.google.de/>) und Google Scholar (<https://scholar.google.de/>, beide Google LLC) durchgeführt. Für die Suche mit den Internet-Suchmaschinen wurden die in Tabelle 3-5 aufgeführten Suchbegriffe definiert. In Tabelle 3-6 ist die Kombination der definierten Suchbegriffe der einzelnen Abfragen und der Zeitpunkt der Suche angegeben.

Bei der systematischen Suche mit den beiden Internet-Suchmaschinen wurden jeweils die ersten 50 relevantesten Treffer geprüft. Es wurde mit der Suche in Google auf Deutsch zur Prävalenz begonnen. Aufgrund der geringen Trefferanzahl der Google-Suche zur Prävalenz auf Deutsch, wurde die Suchen mit Google und Google Scholar zum Unfallrisiko nur auf Englisch durchgeführt.

## Suchbereich 3: Webseiten relevanter Institutionen

Die systematische Suche nach grauer Literatur auf den Webseiten relevanter Institutionen wurde vom 01.04.2019 bis zum 15.04.2019 durchgeführt. Die Suche wurde mit Screenshots der Start-Webseite jeder Institution in einem separaten Word-Doku-

Set	Feld	Suchbegriffe verwendet in Google und Google Scholar		Schlüsselemente
		auf Deutsch	auf Englisch	
#1	Topic	Berufskraftfahrer	Professional driver	Population/Comparator
#2	Topic	Protanopie Protanomalie Rotblindheit Rotschwäche	Protanopia Protanomaly Protan	Exposition
#3	Topic	Prävalenz Inzidenz Häufigkeit	Prevalence Incidence Frequency	Outcome (I)
#4	Topic		Traffic Drive	Outcome (II)

Tab. 3-5: Definition der Suchbegriffe für Suchbereich 2

Spezifikation Suche	Suchbegriffe	Datum der Abfrage
Google Suche auf Deutsch Set #2 und #1 und #3	Protanopie Berufskraftfahrer Prävalenz	06.03.2019
	Protanopie Berufskraftfahrer Inzidenz	06.03.2019
	Protanopie Berufskraftfahrer Häufigkeit	06.03.2019
	Protanomalie Berufskraftfahrer Prävalenz	07.03.2019
	Protanomalie Berufskraftfahrer Inzidenz	07.03.2019
	Protanomalie Berufskraftfahrer Häufigkeit	07.03.2019
	Rotblindheit Berufskraftfahrer Prävalenz	07.03.2019
	Rotblindheit Berufskraftfahrer Inzidenz	08.03.2019
	Rotblindheit Berufskraftfahrer Häufigkeit	08.03.2019
	Rotschwäche Berufskraftfahrer Prävalenz	08.03.2019
	Rotschwäche Berufskraftfahrer Inzidenz	08.03.2019
Rotschwäche Berufskraftfahrer Häufigkeit	11.03.2019	
Google Suche auf Englisch Set #2 und #1 und #3	Protanopia Professional driver Prevalence	12.03.2019
	Protanopia Professional driver Incidence	13.03.2019
	Protanopia Professional driver Frequency	14.03.2019
	Protanomaly Professional driver Prevalence	18.03.2019
	Protanomaly Professional driver Incidence	19.03.2019
Protanomaly Professional driver Frequency	19.03.2019	
Google Suche auf Englisch Set #2 und #4	Protanopia Traffic Drive	16.04.2019
	Protanomaly Traffic Drive	17.04.2019
	Protan Traffic Drive	17.04.2019
Google-Scholar Suche auf Englisch Set #2 und #4	Protanopia Traffic Drive	18.04.2019
	Protanomaly Traffic Drive	18.04.2019
	Protan Traffic Drive	23.04.2019

Tab. 3-6: Kombination der Suchbegriffe in den einzelnen Abfragen

ment dokumentiert. Es wurden Webseiten durchsucht von relevanten Institutionen mit Bezug:

- (1) zum Berufstand der Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen,
- (2) zur Ophthalmologie, Optometrie, Arbeits- oder Verkehrsmedizin,

(3) zur Verkehrssicherheit oder mit Zugang zu Unfallstatistiken.

Tabelle 3-7 gibt einen Überblick über die Institutionen, unterteilt nach ihrem Bezug, deren Webseiten durchsucht wurden. Auf den Webseiten wurde nach grauer Literatur gesucht, die Informationen zu einen

Institutionen	Land/Gebiet
<b>mit Bezug zum Berufstand der Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen</b>	
Bund Deutscher Berufs-Kraftfahrer e. V., Berufsgenossenschaft Verkehr, Eisenbahn- und Verkehrsgewerkschaft, Ver.di Fachbereich Verkehr, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen	Deutschland
International Transport Workers' Federation, European Transport Workers' Federation, Union Internationale des Transports Publics	International
<b>mit Bezug zur Ophthalmologie, Optometrie oder Arbeitsmedizin</b>	
Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft, Berufsverband der Augenärzte Deutschland e. V., Deutsche Gesellschaft für Verkehrsmedizin e. V., Deutsche Gesellschaft für Arbeits- und Umweltmedizin e. V., Verband Deutscher Betriebs- und Werksärzte e. V.	Deutschland
European Association for Vision and Eye Research, European Board of Ophthalmology, European Society of Ophthalmology, Federation of European Ophthalmology	Europa
International Colour Vision Society, International Council of Ophthalmology, International Society of Geographic and Epidemiologic Ophthalmology, Association for Research in Vision and Ophthalmology	International
<b>mit Bezug zur Verkehrssicherheit oder mit Zugang zu Unfallstatistiken</b>	
Bundesanstalt für Straßenwesen, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Statistisches Bundesamt, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Institut für Unfallanalysen, Institut für Verkehrsforschung, Deutscher Verkehrssicherheitsrat, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Gesellschaft für Ursachenforschung bei Verkehrsunfällen e. V., Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.	Deutschland
Road Safety Knowledge Centre, Driver and Vehicle Licensing Agency, Department for Transport	UK
Injury Observatory for Britain and Ireland	Irland
Kuratorium für Verkehrssicherheit	Österreich
European Commission Department on Mobility and Transport, European Transport Safety Council, Eurostat	Europa
U.S. Department of Transportation, Federal Motor Carrier Safety Administration, National Highway Traffic Safety Administration, Transportation Research Board	USA
Department of Transport, National Transport Commission, Australasian College of Road Safety, Centre for Accident Research and Road Safety – Queensland, Australian Road Research Board	Australien
NZ Transport Agency	Neuseeland
UN Road Safety Collaboration, UNECE Statistics	UN
International Transport Forum, World Health Organization, Organisation for Economic Cooperation and Development	International
Transport Association of Canada	Kanada

Tab. 3-7: Übersicht über die Institutionen, deren Webseiten systematisch durchsucht wurden.

der drei Outcomes enthält. Zudem wurde nach Informationen zu einer möglichen Ansprechperson für die Datenerhebung gesucht (siehe Kapitel 3.2.1).

#### Suchbereich 4: Rückwärtssuche

Die Rückwärtssuche wurde vom 04.06.2019 bis zum 03.02.2020 durchgeführt. Die Rückwärtssuche wurde in den Referenzlisten aller eingeschlossenen Studien durchgeführt. Zudem wurde sie bei Publikationen durchgeführt, die beim Screening des Titels und Abstracts wegen des Studientyps Review ausgeschlossen wurden. Falls die Referenzliste einer Studie nicht gefunden wurde, konnte die Rückwärtssuche bei dieser Studie nicht erfolgen.

#### 3.1.3 Verwaltung der identifizierten Publikationen und Selektion relevanter Studien

Alle identifizierten Publikationen wurden in dem Referenzmanagementsystem Citavi (Swiss Academic Software 2020) verwaltet. Die Selektion relevanter Studien erfolgte nach den in Tabelle 3-8 aufgeführten Einschlusskriterien. In Tabelle 3-9 sind die Ausschlussgründe aufgeführt. Die Dokumentation der Ein- und Ausschlusskriterien erfolgte in dem Referenzmanagementsystem. Die Selektion der Studien wurde unabhängig von 2 Reviewern vorgenommen. Bei Uneinigkeit hat ein dritter Reviewer über Ein- oder Ausschluss entschieden.

Konzept	Kriterien	Einschlusskriterien
Population (P)	Verkehrsbeteiligte	Prävalenz (O I): europäische Population Unfallrisiko (O II): Kraftfahrzeugführende in Europa Reagieren/Erkennen (O III): Testpersonen
Exposition (E)	Protanopie, Protanomalie, Protostörung	nachgewiesene Krankheit
Comparator (C)	Verkehrsbeteiligte	ohne Exposition, normalfarbsichtig
Outcome I (O I)	Prävalenz	Angaben zur Häufigkeit der Krankheit
Outcome II (O II)	Unfallrisiko (Wahrscheinlichkeit eines Verkehrsunfalls)	Häufigkeit Verkehrsunfall
Outcome III (O III)	Erkennen/Reaktion Farbe Rot	korrekte Identifizierung/ Reaktionszeiten
Publikation	Format	Artikel = wissenschaftliche Publikation, Bericht, Datenbank, Konferenzbeitrag, Internetdokument, Review, Vortrag Veröffentlichung zu Originaldaten keine Editorials, keine Letter
	Sprache	Englisch, Deutsch
	Datum der Veröffentlichung	keine Einschränkung
	Zugriff	Volltext/ Datendetails verfügbar
Informationen/ Datenanforderungen	untersuchte Populationsfaktoren	Population – Comparator differenziert
Art/Format der Studie	Typ	epidemiologische Studien Beobachtungsstudien: Querschnittsstudien, Kohortenstudien, Fall-Kontroll-Studien experimentelle Studien: Laborsimulation, Feldversuche

Tab. 3-8: Einschlusskriterien

Abk.	Ausschlussgrund
A0	kein Ausschlussgrund, Einschluss
A1	Duplikat
A2	Population nicht relevant
A3	Exposition nicht relevant
A4	Comparator nicht relevant
A5	Outcome nicht relevant
A6	Ausschluss aufgrund der Sprache, nicht auf Deutsch oder Englisch verfügbar
A7	Ausschluss aufgrund der Art/des Formats
A8	Ausschluss da Volltext nicht verfügbar

Tab. 3-9: Ausschlussgründe

### 3.1.4 Datenextraktion

Das Ziel war, aus den selektierten Studien die Daten zu extrahieren, um sie systematisch in einer quantitativen Metaanalyse zusammenfassen und auswerten zu können (nur für die Outcomes I und II, für Outcome III erfolgte lediglich eine qualitative Synopse der Studienergebnisse). In Tabelle 3-10 sind die aus den eingeschlossenen Studien extrahierten Attribute zusammengefasst. Abgesehen von den Informationen zur Publikation (Titel, Autor, Veröffentlichungsjahr etc.) wurden demnach je Studie bis zu 12 Attribute extrahiert (siehe Tabelle 3-10).

Die Extraktion der Daten wurde unabhängig von zwei Reviewern durchgeführt. Bei Uneinigkeit zu Daten aus einer Publikation wurde diese nochmals durch beide Reviewer geprüft.

### 3.1.5 Studienbewertung

Die eingeschlossenen Studien zum Unfallrisiko (Outcome II) wurden hinsichtlich ihrer methodischen Qualität (Risk of Bias) bewertet. Die verwendeten Bewertungskriterien wurden von WANG et al. (2019) adaptiert und sind in Tabelle 3-11 aufgezählt. Die einzelnen Items werden dabei mit einem Ja oder einem Nein beantwortet. Falls zu einem Item die Frage nicht sicher beantwortet werden kann, weil es keine Angaben in der Publikation dazu gibt, wurde mit Nein geantwortet. Für jede Antwort mit Ja gab es einen Punkt und für die Antwort mit Nein gab es keinen Punkt. Eine Studie konnte also mit maximal 14 und minimal 0 Punkten bewertet werden. Die Qualitätsbewertung wurde unabhängig von zwei Personen durchgeführt. Bei Nicht-Übereinstimmung der Antworten beider Personen bei einem Item einer Studie wurde die betreffende Studie durch eine dritte Person geprüft und über die Antwort entschieden.

Attribut	Beispiel Einträge
<b>Alle eingeschlossenen Studien</b>	
Informationen zur Publikation	Autor/en, Titel, Jahr
Population	Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen, Kraftfahrzeugführende, Studierende, Kinder etc.
Land	Europäische Länder: Deutschland, Niederlande, Großbritannien etc.
Geschlecht	männlich/weiblich/gemischt/kA
Exposition	Defekt: Protanopie / Protanomalie / Protostörung
Diagnostik Farbsinnstörung	Ishihara Farbtafeln, Anomaloskop etc.
Anzahl Testpersonen insgesamt	Numerischer Wert z. B. 1.000
Anzahl Testpersonen mit Defekt	Numerischer Wert z. B. 10
Anzahl Testpersonen ohne Defekt	Numerischer Wert z. B. 990
<b>Eingeschlossene Studien zum Unfallrisiko</b>	
Anzahl Testpersonen mit Defekt und ohne Unfall	Numerischer Wert z. B. 8
Anzahl Testpersonen mit Defekt und mit Unfall	Numerischer Wert z. B. 2
Anzahl normalfarbsichtige Testpersonen ohne Unfall	Numerischer Wert z. B. 800
Anzahl normalfarbsichtige Testpersonen mit Unfall	Numerischer Wert z. B. 190
<b>Eingeschlossene Studien zum Erkennen/Reagieren</b>	
Messparameter	z. B. Reaktionszeit und Fehlerquoten beim Identifizieren von Farben auf einem Display
Ergebnis Vergleich Defekt versus Normalfarbsichtigkeit	z. B. kein signifikanter Unterschied zwischen protogestörten und normalfarbsichtigen Testpersonen

Tab. 3-10: Extrahierte Daten aus den eingeschlossenen Studien

Domäne	Nr.	Item
Selektion	1	Sind die Testpersonen repräsentativ für die Zielpopulation?
	2	Stammt die Vergleichsgruppe aus seiner vergleichbaren Population?
	3	Wurden die Ein- und Ausschlusskriterien für alle Gruppen gleich angewendet?
	4	Wurden die Testpersonen der unterschiedlichen Gruppen zur gleichen Zeit rekrutiert?
	5	Sind Informationen über ausgeschlossene Testpersonen oder Testpersonen, die eine Teilnahme abgelehnt haben, ausreichend beschrieben?
Exposition	6	Wurde die Exposition mit einer standardisierten, validen und zuverlässigen Methode gemessen?
Outcome	7	Wurde das Ergebnis/Outcome akkurat (valide und zuverlässig) gemessen?
	8	Waren die Ergebnis-/Outcome-Prüfer in Unkenntnis über die Exposition?
	9	Ist der Einfluss von Störfaktoren/Confoundern klar beschrieben?
	10	Wurden die Störfaktoren/Confounding-Variablen im Studiendesign oder bei der Ergebnisanalyse berücksichtigt?
Analyse	11	Wurden die Ergebnisse mit passenden statistischen Methoden ausgewertet?
Reporting	12	Wurden alle gemessenen Ergebnisse/Outcomes berichtet?
Interessenkonflikt	13	Nicht-Vorhandensein von Finanzierungsquellen oder Interessenkonflikten, welche die Interpretation der Ergebnisse möglicherweise beeinflusst haben könnten?
Weitere Bias	14	Ist die Studie frei von anderen möglichen Verzerrungen?

Tab. 3-11: Bewertungskriterien für die Studien zum Unfallrisiko



## 3.2 Datenrecherche

Die Datenrecherche und -abfrage erfolgte in zwei Suchbereichen. Zum einen wurden Institutionen kontaktiert, welche mit Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen in Verbindung stehen, wie z. B. Versicherungsgesellschaften oder Institutionen mit Bezug zur Verkehrssicherheit. Zum anderen wurden Verkehrsunternehmen (Bus- und Logistikunternehmen) mit mehr als 300 Mitarbeitenden kontaktiert. Die Abgrenzung beider Suchbereiche wurde vorgenommen, da sie sich in einigen Punkten unterscheiden. Die Datenrecherche wurde von Mai bis November 2019 durchgeführt.

### 3.2.1 Suchbereiche

#### Suchbereich 1: Institutionen

Unabhängig von der Art der Institution erfolgte eine systematische Recherche auf den Webseiten der Institutionen nach Statistiken, Berichten, Daten und Ansprechpersonen zum Thema dieser Studie (siehe Tabelle 3-7).

Es wurde gesucht auf den Webseiten von:

- Institutionen mit Bezug zum Berufsstand der Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen,
- Institutionen mit Bezug zur Ophthalmologie, Verkehrs- oder Arbeitsmedizin,
- Institutionen mit Bezug zur Verkehrssicherheit,
- Versicherungsgesellschaften und Krankenkassen.

Des Weiteren wurden Studienautoren und -autorinnen von Leitartikeln, welche bei der Literaturrecherche identifiziert wurden, kontaktiert. Sie wurden dem Suchbereich Institutionen zugeordnet.

#### Suchbereich 2: Verkehrsunternehmen

Einen wichtigen Suchbereich für die Datenrecherche und -abfrage stellten Verkehrsunternehmen mit dem Tätigkeitsbereich Personen- oder Güterverkehr dar. Dieser Suchbereich war wichtig, da diese Unternehmen Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen, also Führerscheininhabende der Gruppe 2, beschäftigen. Um den Suchbereich Verkehrsunternehmen genauer einzugrenzen, mussten zunächst die einzelnen Bus- und Logistikunternehmen in Deutschland

sowie die Zahl ihrer Mitarbeitenden identifiziert werden.

Zur Identifizierung der Verkehrsunternehmen wurde die Online-Enzyklopädie Wikipedia genutzt: die Kategorie „Busunternehmen (Deutschland)“ ([https://de.wikipedia.org/wiki/Kategorie:Busunternehmen\\_\(Deutschland\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Kategorie:Busunternehmen_(Deutschland))) und die Kategorie „Logistikunternehmen“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/Kategorie:Logistikunternehmen>). Diese bieten einen Überblick über Busunternehmen in Deutschland (aufgeteilt nach Bundesländern) sowie internationale Logistikunternehmen.

Die Busunternehmen aus den einzelnen Unterkategorien (Bundesländer), bis auf „Ehemalige Busunternehmen“ und „Fernbusunternehmen“, wurden in eine Excel-Liste eingetragen. Es ergaben sich 512 eingetragene Busunternehmen. Bei diesen 512 Busunternehmen wurden die entsprechenden Artikel geprüft, um herauszufinden, wie viele Mitarbeitende das Busunternehmen hat. Die entsprechende Anzahl wurde extrahiert und in die Excel-Liste eingetragen. Bei Busunternehmen, bei denen die Zahl der Mitarbeitenden nicht aus dem entsprechenden Wikipedia-Artikel hervor ging, wurde geprüft, ob die Anzahl auf der Webseite des Unternehmens identifiziert werden kann. Falsch kategorisierte Unternehmen (falsche Wikipedia-Kategorie „Busunternehmen“), Busunternehmen, bei denen keine Anzahl der Mitarbeitenden identifiziert werden konnte, nicht mehr existierende Busunternehmen oder Duplikate wurden aus der Liste ausgetragen. Es wurden bei der Recherche nur Busunternehmen mit mehr als 300 Mitarbeitenden berücksichtigt. Verkehrsunternehmen mit weniger Mitarbeitenden wurden entfernt. Auf diese Weise konnten 84 Busunternehmen mit mehr als 300 Mitarbeitenden identifiziert werden.

Die Logistikunternehmen unter „Seiten in der Kategorie Logistikunternehmen“ wurden in eine Excel-Liste eingetragen. Es ergaben sich 290 eingetragene Logistikunternehmen. Bei diesen 290 Logistikunternehmen wurden die entsprechenden Artikel angeschaut, um herauszufinden, ob diese ihren Hauptfirmensitz in Deutschland haben. Falsch kategorisierte Unternehmen (falsche Wikipedia-Kategorie „Logistikunternehmen“), Logistikunternehmen, die ihren Hauptfirmensitz nicht in Deutschland haben oder die nicht mehr existieren, wurden aus der Liste ausgetragen. Es blieben nach Entfernung 60 Einträge in der Excel-Liste übrig. Auf diese Weise konnten 60 Logistikunternehmen identifiziert werden, die ihren Hauptfirmensitz in Deutschland haben.

### 3.2.2 Verlauf der Identifizierung von Kontaktpersonen

Die Identifizierung von Kontaktpersonen und der Erstkontakt erfolgte für die beiden Suchbereiche „Institutionen“ und „Verkehrsunternehmen“ auf die gleiche Art und Weise. Es wurde geprüft, ob auf den Webseiten der in Tabelle 3-7 aufgeführten Institutionen und den Verkehrsunternehmen Kontaktpersonen identifiziert werden konnten. Je nach Art der Institution waren die Kontaktpersonen:

- Geschäftsführende, Vorstandsmitglieder oder Vorstandssprechende.
- Geschäftsbereichsleitungen, Referatsleitungen oder Referenten/Referentinnen.
- Ärztliches oder betriebsärztliches Personal (insbesondere Augen- oder Verkehrsmedizin).

Wenn es nicht möglich war, eine Kontaktperson zu identifizieren, wurde auf der Webseite eine Funktionsadresse für die betreffende Einrichtung recherchiert. Bei Personen, von denen keine personenbezogene oder postenbezogene E-Mail-Adresse identifiziert werden konnte, wurde geprüft, ob ein LinkedIn-Profil vorhanden ist. Alle identifizierten Kontaktpersonen wurden mit ihrer personenbezogenen oder postenbezogenen E-Mail-Adresse oder einer Funktionsadresse ihrer Institution in eine Kontaktliste eingetragen. Zudem wurde vermerkt, ob die identifizierte Ansprechperson ein LinkedIn-Profil besitzt. Konnte für die Kontaktperson weder eine personen-/postenbezogene E-Mail-Adresse, noch eine Funktionsadresse oder ein LinkedIn-Profil identifiziert werden, dann erfolgte der Erstkontakt über ein Kontaktformular. Falls auch kein Kontaktformular auf der Webseite der Institution vorhanden war, dann war keine Kontaktaufnahme möglich.

Der Erstkontakt war eine Einladung zu einem Telefoninterview. Zusätzlich wurde ein Informationsblatt mit dem Studienhintergrund und ein Unterstützungsschreiben zur Verfügung gestellt. Je nach Institution bzw. Ansprechperson erfolgte der Erstkontakt auf Deutsch oder Englisch.

### 3.2.3 Kontaktaufnahme

Innerhalb der Datenrecherche wurden 252 Personen bzw. Institutionen kontaktiert. Die Kontaktaufnahme hat am 27.05.2019 begonnen und wurde im November 2019 beendet. Die meisten Kontaktaufnahmen erfolgten aufgrund der Ergebnisse der Recherche nach Ansprechpersonen in Verkehrsunternehmen (Bus- und Logistikunternehmen). Es wurden 9 neue Kontakte von bereits kontaktierten Ansprechpersonen vorgeschlagen. In Bild 3-1 sind die absoluten Häufigkeiten der einzelnen Kontaktquellen dargestellt.

Die kontaktierten Personen oder Institutionen wurden entweder per E-Mail (personenbezogen, postenbezogen oder Funktionsadresse), per LinkedIn oder auf eine andere Art (in Bild 3-2 als „Weitere“ bezeichnet) zur Teilnahme eingeladen. In die Kategorie „Weitere“ fallen eine Einladung über ein Kontaktformular, eine Einladung über Research Gate und zwei Weiterleitungen der Einladung. In Bild 3-2 sind die absoluten Häufigkeiten der einzelnen Arten des durchgeführten Erstkontaktes dargestellt.

Insgesamt haben 62 Personen auf die versendete Einladung reagiert. Fünf versendete E-Mails konnten nicht zugestellt werden und auf 185 Einladungen haben wir keine Antwort erhalten (siehe Bild 3-3).

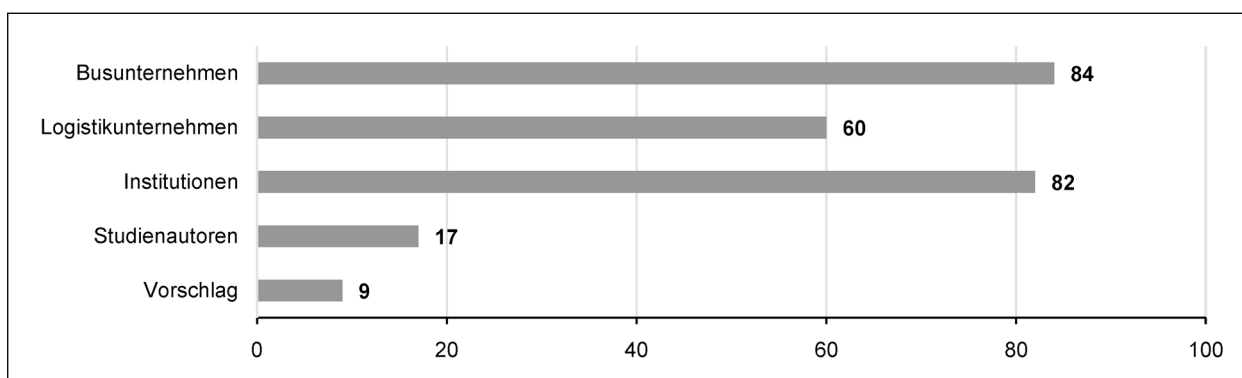


Bild 3-1: Absolute Häufigkeiten der unterschiedlichen Kontaktquellen

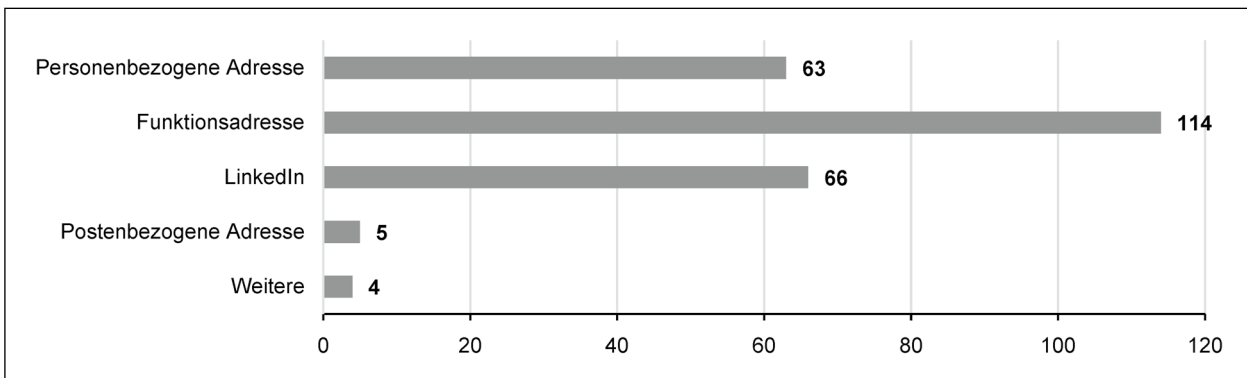


Bild 3-2: Absolute Häufigkeiten der unterschiedlichen Arten des Erstkontakts

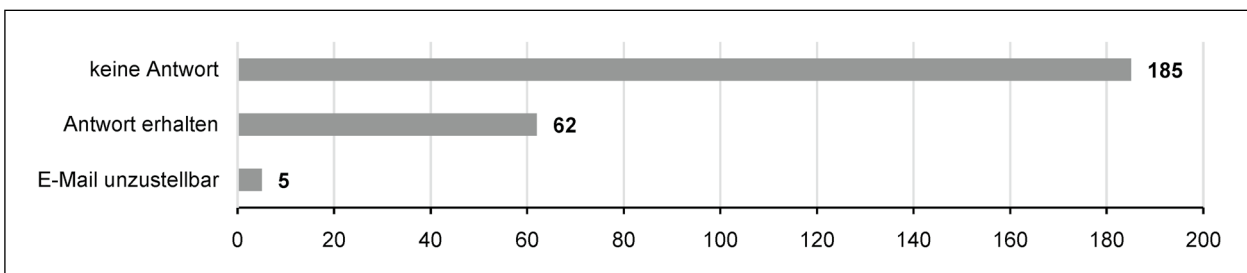


Bild 3-3: Absolute Häufigkeiten der Reaktion auf den Erstkontakt

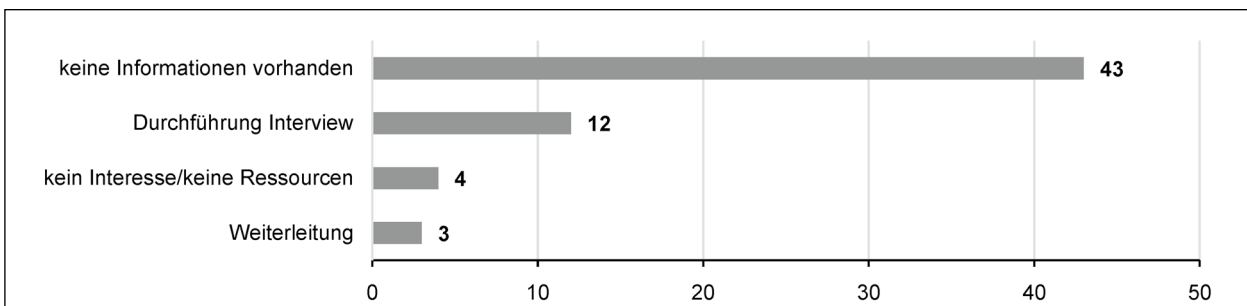


Bild 3-4: Absolute Häufigkeiten der unterschiedlichen Arten der Antworten

Von den 62 Personen, die geantwortet haben, gaben uns 43 die Auskunft, dass sie keine Informationen zu Verfügung stellen können. Mit 12 Personen wurde ein (Telefon-)Interview durchgeführt. Wir haben drei Antworten erhalten, in denen uns mitgeteilt wurde, dass unser Anliegen weitergeleitet wurde. Viermal erhielten wir die Antwort, dass kein Interesse an einer Studienteilnahme bestehe bzw. keine Ressourcen für eine Studienteilnahme vorhanden seien. Die absoluten Häufigkeiten der Art der Antworten sind in Bild 3-4 dargestellt.

### 3.2.4 Telefoninterviews

Die telefonische Befragung erfolgte mit allen Kontaktpersonen, die positiv auf die E-Mail-Einladung

reagiert haben. Dabei wurde nach einem Interview-Protokoll vorgegangen und der Gesprächsverlauf wurde handschriftlich dokumentiert.

Das Interview-Protokoll zur Befragung enthielt die folgenden Punkte:

- Kurze Vorstellung des Projektes, des Anrufenden,
- Frage nach Hintergrund der Institution/Person,
- Frage nach Aktivitäten in Bezug auf Statistik/Forschung,
- Frage nach Art und Format vorliegender Daten,
- Frage nach Bezugszeitpunkt der Daten,

- Frage nach Zugang und Verfügbarkeit der Daten,
- Vereinbarung zu Modalitäten der Übergabe/Verwendung von Daten.

Es wurden insgesamt 12 Telefoninterviews nach dem oben beschriebenen Protokoll durchgeführt und handschriftlich dokumentiert.

Zwei Telefoninterviews wurden mit betriebsärztlichen Fachkräften von Verkehrsunternehmen durchgeführt. Diese Telefoninterviews gaben einen Einblick in die vorliegende Datenstruktur zum Merkmal Farbsehvermögen bei den Verkehrsunternehmen bzw. bei den dazugehörigen betriebsmedizinischen Praxen. Aus den Interviews ging auch hervor, dass zum Merkmal Farbsehvermögen das betriebsärztliche Personal der Verkehrsunternehmen bzw. betriebsärztliche Versorgungszentren die passenden Kontaktpersonen sind.

### 3.3 Statistische Auswertung

#### 3.3.1 Statistische Maßzahlen zur Schätzung der Prävalenz und des Unfallrisikos

##### Kreuztabelle

Das Outcome I (Prävalenz) stellt eine relative Häufigkeit des Attributs „Exposition“ dar. Das Outcome II (Unfallrisiko) stellt die relativen Häufigkeiten von Kombinationen der Attribute „Exposition“ und „Outcome“ dar. Die Datengrundlage zur Berechnung sind absolute Häufigkeiten, welche in einer Kreuztabelle für die jeweiligen Kombinationen von Exposition (mit Defekt: rot ausgefüllte Piktogramme; ohne Defekt: schwarz umrandete Piktogramme) und Outcome (mit Unfall: Verbandsmaterial; ohne Unfall: kein Verbandsmaterial) darstellbar sind (siehe Bild 3-5).

Bezogen auf den hiesigen Kontext (Exposition = Defekt, d. h. Protanopie/Protanomalie/Protostörung, Outcome = Unfall) werden in den Zellen von Bild 3-5 folgende absolute Häufigkeiten angegeben:


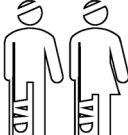


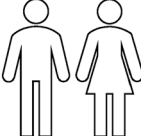


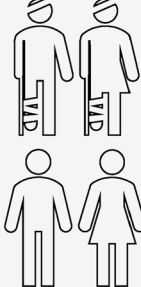
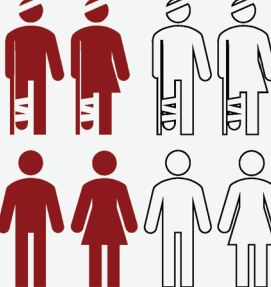
Outcome (Unfall) \ Exposition (Defekt)	Mit Defekt (Protanopie, Protanomalie oder Protostörung)	Ohne Defekt (Normalfarbsichtigkeit)	Gesamt
Mit Unfall	<b>a</b> 	<b>b</b> 	<b>a + b</b> 
Ohne Unfall	<b>c</b> 	<b>d</b> 	<b>c + d</b> 
Gesamt	<b>a + c</b> 	<b>b + d</b> 	<b>a + b + c + d</b> 

Bild 3-5: Kreuztabelle mit visueller Darstellung der Exposition und des Outcomes

- a: Anzahl Kfz-Führende mit Defekt und mit Unfall
- b: Anzahl Kfz-Führende ohne Defekt und mit Unfall
- c: Anzahl Kfz-Führende mit Defekt und ohne Unfall
- d: Anzahl Kfz-Führende ohne Defekt und ohne Unfall

a + b: Anzahl Kfz-Führende mit Unfall

c + d: Anzahl Kfz-Führende ohne Unfall

a + c: Anzahl Kfz-Führende mit Defekt

b + d: Anzahl Kfz-Führende ohne Defekt

a + b + c + d: Anzahl Kfz-Führende

Dabei bedeutet „mit Defekt“ jeweils, dass eine Protanopie, eine Protanomalie oder eine Protostörung vorliegt; während „ohne Defekt“ immer bedeutet, dass Normalfarbsichtigkeit vorliegt. Bezüglich einer Kreuztabelle für den Defekt Protanopie bedeutet dies beispielsweise, dass die absoluten Häufigkeiten von Kfz-Führenden mit Protanomalie in keiner Weise eingehen, da sie weder zu „mit Defekt“, noch zu „ohne Defekt“ gezählt werden können. Stattdessen werden sie in einer separaten Kreuztabelle ausgewertet. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass Kfz-Führende mit einem bestimmten Defekt nicht mit allen anderen Kfz-Führenden ohne diesen Defekt, sondern immer nur mit normalfarbsichtigen Kfz-Führenden verglichen werden.

### Prävalenz

Die Prävalenz ( $p$ ) des jeweiligen Defekts in der Zielpopulation wurde unabhängig vom Attribut Unfall berechnet als

$$p = \text{Anteil Personen mit Defekt} \\ = \frac{\text{Anzahl Personen mit Defekt}}{\text{Anzahl untersuchte Personen}} = \frac{n}{N},$$

wobei  $n$  für die Anzahl der Personen mit Defekt und  $N$  für die Gesamtstichprobengröße, also die Anzahl aller untersuchten Personen, steht.

Anhand von Studien, die das Farbsehvermögen Kfz-Führender untersucht und Daten zu Unfällen erhoben haben, konnte der Anteil an Personen mit Defekt je Outcome-Gruppe berechnet werden. Somit ergaben sich zum einen der Anteil an Personen mit Defekt unter Kfz-Führenden mit Unfall ( $p_{U+}$ ) als

$$p_{U+} = \text{Anteil mit Defekt unter Kfz-Führenden mit Unfall} \\ = \frac{\text{Anzahl Kfz-Führende mit Defekt und mit Unfall}}{\text{Anzahl Kfz-Führende mit Unfall}} = \frac{a}{a+b}$$

und zum anderen der Anteil an Personen mit Defekt unter Kfz-Führenden ohne Unfall ( $p_{U-}$ ) als

$$p_{U-} = \text{Anteil mit Defekt unter Kfz-Führenden ohne Unfall} \\ = \frac{\text{Anzahl Kfz-Führende mit Defekt u. ohne Unfall}}{\text{Anzahl Kfz-Führende ohne Unfall}} = \frac{c}{c+d}.$$

### Unfallrisiko

Das Risiko für einen Unfall, also das allgemeine Unfallrisiko ( $R$ ), wurde unabhängig vom Attribut Defekt berechnet als

$$R = \text{Unfallrisiko} \\ = \frac{\text{Anzahl Kfz-Führende mit Unfall}}{\text{Anzahl Kfz-Führende}} = \frac{a+b}{a+b+c+d}.$$

Zusätzlich wurde das Unfallrisiko auch je Expositionsgruppe berechnet. Somit ergab sich zum einen das Unfallrisiko von Kfz-Führenden mit Defekt ( $R_{D+}$ ) als

$$R_{D+} = \text{Unfallrisiko von Kfz-Führenden mit Defekt} \\ = \frac{\text{Anzahl Kfz-Führende mit Defekt und mit Unfall}}{\text{Anzahl Kfz-Führende mit Defekt}} = \frac{a}{a+c}$$

und zum anderen das Unfallrisiko von Kfz-Führenden ohne Defekt ( $R_{D-}$ ) als

$$R_{D-} = \text{Unfallrisiko von Kfz-Führenden ohne Defekt} \\ = \frac{\text{Anzahl Kfz-Führende ohne Defekt und mit Unfall}}{\text{Anzahl Kfz-Führende ohne Defekt}} = \frac{b}{b+d}.$$

Es konnten keine Studiendaten extrahiert werden, die sich zur Berechnung des relativen Risikos (Risk Ratio) eignen (siehe Kapitel 3.3.3 und 4.1).

### Unfallchancenverhältnis (Odds Ratio)

Das Chancenverhältnis, auch Odds Ratio (OR), ist eine statistische Maßzahl, die die Stärke eines Zusammenhangs von zwei Merkmalen ausdrückt und berechnet wird als  $OR = (a/c)/(b/d)$ . Dabei ist  $a/c$  die Chance eines Kfz-Führenden einen Unfall zu haben, wenn der Defekt vorliegt und  $b/d$  die Chance eines Kfz-Führenden einen Unfall zu haben, wenn der Defekt nicht vorliegt. Demnach misst das Chancenverhältnis im Sinne einer Quote, wie viel größer die Chance in der Gruppe der Kfz-Führenden mit Defekt gegenüber der Gruppe der Kfz-Führenden ohne Defekt ist, einen Unfall zu haben.

Ein  $OR = 1$  würde bedeuten, dass es keinen Unterschied in den Chancen gibt. Ein Vorteil vom Chancenverhältnis ist, dass es im Gegensatz zum Risikoverhältnis auch für Daten aus Fall-Kontroll-Studien (siehe Kapitel 3.3.3) berechnet werden darf, da es unabhängig von den Randsummen der Kreuztabelle ( $a + c$ ,  $b + d$  usw. in Bild 3-5) ist. Ein Nachteil vom Chancenverhältnis ist, dass die Interpretation weniger intuitiv ist als die des relativen Risikos:

- Ein *Relatives Risiko* = 2 würde besagen, dass das Unfallrisiko eines Kfz-Führenden mit Defekt doppelt so hoch ist wie das eines Kfz-Führenden ohne Defekt.
- Ein  $OR = 2$  würde besagen, dass die Chance unter Kfz-Führenden mit Defekt einen Unfall zu haben doppelt so hoch ist wie unter Kfz-Führenden ohne Defekt.

Das 95%-Konfidenzintervall (KI) für das  $OR$  wurde berechnet als

$$\exp \left[ \ln(OR) \pm 1,96 \sqrt{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} + \frac{1}{d}} \right].$$

### 3.3.2 Statistischer Nachweis eines erhöhten Unfallrisikos mit Konfidenzintervallen (KI)

Der statistische Nachweis/Test setzt die Kenntnis der praktischen Relevanz voraus, d. h. es muss der als relevant anzusehende Unterschied beispielsweise zwischen  $p_{U+}$  und  $p_{U-}$ ,  $R_{D+}$  und  $R_{D-}$  oder zwischen  $OR$  und 1 definiert sein (Effektgröße). Welche Erhöhung der Unfallzahlen rechtfertigen eine Verschärfung der Regelungen für protanope und protanomale Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen (um ein Viertel, um die Hälfte, auf das Doppelte)? Im praktischen Kontext bedeutet dies, dass die statistische Bewertung, ob eine praktisch relevante Erhöhung des Unfallrisikos vorliegt, erst dann über einen statistischen Test erfolgen kann, wenn Experten und Entscheidungsträger sich auf solch eine praktisch relevante Effektgröße geeinigt haben. Ist dies nicht geschehen, so gilt, dass statistische Signifikanz nicht gleichbedeutend einer verkehrspolitischen Relevanz und somit für sich genommen nicht zielführend ist.

Als Alternative zu statistischen Tests können KI für die entsprechenden Schätzwerte dienen. Ein KI gibt den Bereich um einen Schätzwert (z. B.  $p_{U-}$ ,  $R_{D+}$  oder  $OR$ ) an, in dem sich mit 95 % Wahrscheinlichkeit der wahre Wert des zu schätzenden Parame-

ters befindet. Anhand der Grenzen eines KI und ggf. mit zusätzlichen Vergleichs-/Referenzwerten kann so eine differenziertere Entscheidung getroffen werden als nur mit einer ja/nein Entscheidung durch einen Signifikanztest. Neben dem höheren Informationsgehalt werden KI außerdem nicht automatisch hinfällig, wenn keine Effektgröße durch Experten und Entscheidungsträger vorgegeben wurde. Im Umkehrschluss bedeutet dies allerdings nicht, dass keine Einigung auf eine praktisch relevante Effektgröße mehr nötig ist. Weiterhin gilt für eine systematische Beantwortung der Versuchsfrage, dass bereits vor dem Betrachten der Ergebnisse ein Grenzwert festgelegt worden sein sollte, ab welchem man von einer zu starken Erhöhung des Unfallrisikos spräche. Sollte dieser Wert schließlich unterhalb der unteren Grenze (bzw. oberhalb der oberen Grenze) des jeweiligen KI liegen, lässt sich dies mit einer Testentscheidung vergleichen, welche die Nullhypothese ablehnt, wobei die Nullhypothese besagt, dass kein Unterschied besteht. Im Umkehrschluss gilt, wenn der festgelegte Grenzwert innerhalb des KI liegt, kann die Nullhypothese nicht abgelehnt werden.

### 3.3.3 Studiendesigns zum Unfallrisiko

Um Informationen zum Unfallrisiko von Kfz-Führenden mit und ohne Defekt zu gewinnen, stehen verschiedene Studien- bzw. Versuchsdesigns zur Verfügung. Es sei vorweggenommen, dass alle in der Literaturrecherche identifizierten Studien entweder Querschnittsstudien oder Fall-Kontroll-Studien sind (siehe Kapitel 4.1). Beide dieser Designs gehören zur Klasse der Beobachtungsstudien, welche im Gegensatz zur Klasse der Interventionsstudien, also Studien mit angelegten Experimenten, stehen. Eine Querschnittsstudie untersucht einmalig eine zufällig ausgewählte Stichprobe aus einer Gesamtpopulation hinsichtlich der Exposition und des Outcomes. Eine Fall-Kontroll-Studie bildet hinsichtlich des Outcomes Stichprobengruppen und vergleicht diese bezüglich der Exposition miteinander.

Das jeweilige Studiendesign ist nicht nur für die Durchführung einer Studie relevant, sondern bestimmt auch, welche statistischen Maßzahlen aus den resultierenden Daten berechnet werden dürfen. Bezogen auf die hiesige Fragestellung ist dabei explizit darauf hinzuweisen, dass Daten aus Fall-Kontroll-Studien nicht geeignet sind, um ein (relatives Risiko) zu schätzen. Hinzukommt, dass 2 (von 3) der in Kapitel 4.1 identifizierten Querschnittsstudien

die Stichprobe nicht aus der Population der Kfz-Führenden gezogen wurde, sondern aus der Population der Kfz-Führenden mit Unfall. Demnach kann auch für diese beiden Studien kein Risiko berechnet werden.

### 3.3.4 Metaanalyse mehrerer Studien zur Prävalenz und zum Unfallrisiko

#### Prävalenz von Protanopie/Protanomalie/Protostörung

Über alle Studien mit entsprechenden Daten hinweg wurden für die Prävalenzen ( $p$ ) jeweils pro Geschlecht (m/w) und Defekt (Protanopie/Protanomalie/Protostörung) gewichtete Mittelwerte ( $\bar{p}$ ) berechnet. Die Gewichtung richtete sich nach den jeweiligen Stichprobengrößen ( $N$ ) der Studien. Es soll angemerkt sein, dass in diesem Fall solch ein gewichteter Mittelwert auch dem gepoolten Mittelwert entspricht, also der Summe der Personen mit Defekt über alle Studien dividiert durch die Summe der Gesamtstichproben über alle Studien (siehe rechte Seite der Gleichung):

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m N_i p_i}{\sum_{i=1}^m N_i} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i}{\sum_{i=1}^m N_i}$$

Dabei ist ( $\bar{p}$ ) der gewichtete Mittelwert für die Prävalenz,  $p_i$  die Prävalenz der  $i$ -ten Studie,  $n_i$  die Anzahl Personen mit dem Defekt in der  $i$ -ten Studie,  $N_i$  die Gesamtstichprobengröße der  $i$ -ten Studie und  $m$  die Anzahl aller Studien. Über die Studien hinweg wurde zusätzlich das 95%-KI approximativ berechnet als

$$\bar{p} \pm 1,96 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\sum_{i=1}^m N_i}}$$

#### Unfallchancenverhältnis (Odds Ratio)

Über alle Studien mit entsprechenden Daten hinweg wurden für die Unfallchancenverhältnisse ( $OR$ ) ein gewichteter Mittelwert  $\overline{OR}$  berechnet als

$$\overline{OR} = \frac{\sum_{i=1}^m \left( \frac{a_i d_i}{a_i + b_i + c_i + d_i} \right)}{\sum_{i=1}^m \left( \frac{b_i c_i}{a_i + b_i + c_i + d_i} \right)}$$

Außerdem wurde als Approximation die Breite des 95%-KI für das gepoolte Chancenverhältnis berechnet und auf  $\overline{OR}$  angewendet:

$$\exp \left[ \ln(\overline{OR}) \pm 1,96 \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^m a_i} + \frac{1}{\sum_{i=1}^m b_i} + \frac{1}{\sum_{i=1}^m c_i} + \frac{1}{\sum_{i=1}^m d_i}} \right]$$

## 4 Ergebnisse

### 4.1 In der Literaturrecherche identifizierte Studien

Der gesamte Prozess der Suche und Selektion von wissenschaftlichen Publikationen wurde in einem Flow Chart gemäß PRISMA-Richtlinien (MOHER et al. 2015) dokumentiert. Insgesamt wurden in den verschiedenen Suchbereichen 519 Referenzen identifiziert, darunter befanden sich 123 Duplikate (siehe Bild 4-1). Nach dem Entfernen der Duplikate und dem Screening der Titel und Abstracts der restlichen identifizierten Referenzen wurden 335 Referenzen aufgrund der Population, der Exposition, des Outcomes, der Untersuchungsmethode, der Sprache, des Publikationstyps und des Zugriffs ausgeschlossen. Insgesamt wurden somit 61 Publikationen für die Datenextraktion selektiert.

Es sei hier noch einmal explizit darauf hingewiesen, dass nur Studien mit eindeutig als protogestört diagnostizierten Probanden aus Europa in die Datenextraktion und Analyse eingeschlossen wurden.

Aus 17 Publikationen konnten Daten zur Prävalenz von Protostörungen (Outcome I) in die Extraktion eingeschlossen werden. In Tabelle 4-1 sind die Referenzen der eingeschlossenen Publikationen aufgeführt. Bei 16 Publikationen handelte es sich um Studien, aus denen direkt Daten zur Prävalenz extrahiert werden konnten. Bei BIRCH (2012) hingegen handelt es sich um eine systematische Übersichtsarbeit und es wurden berichtete Daten aus einer anderen Publikation zur Prävalenz extrahiert. Auch aus NELSON (1938) konnten neben Primärdaten ebenfalls berichtete Daten aus einer anderen Publikation zur Prävalenz extrahiert werden. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da zu beiden Publikationen, deren Daten indirekt extrahiert wurden, keine Volltexte vorlagen.

In 6 Publikationen konnten Daten zum Unfallrisiko Protogestörter (Outcome II) für die Extraktion identifiziert werden (siehe Tab. 4 2).

Die methodische Qualität dieser Studien war auf einer Skala von 0 bis 14 mittelmäßig bis sehr gut (siehe Tabelle 4-3).

In die Synopse von Studien zum Erkennen/Reagieren auf rote Objekte/Signale durch Protogestörte (Outcome III) wurden 39 Publikation eingeschlossen (siehe Tabelle 4-4).

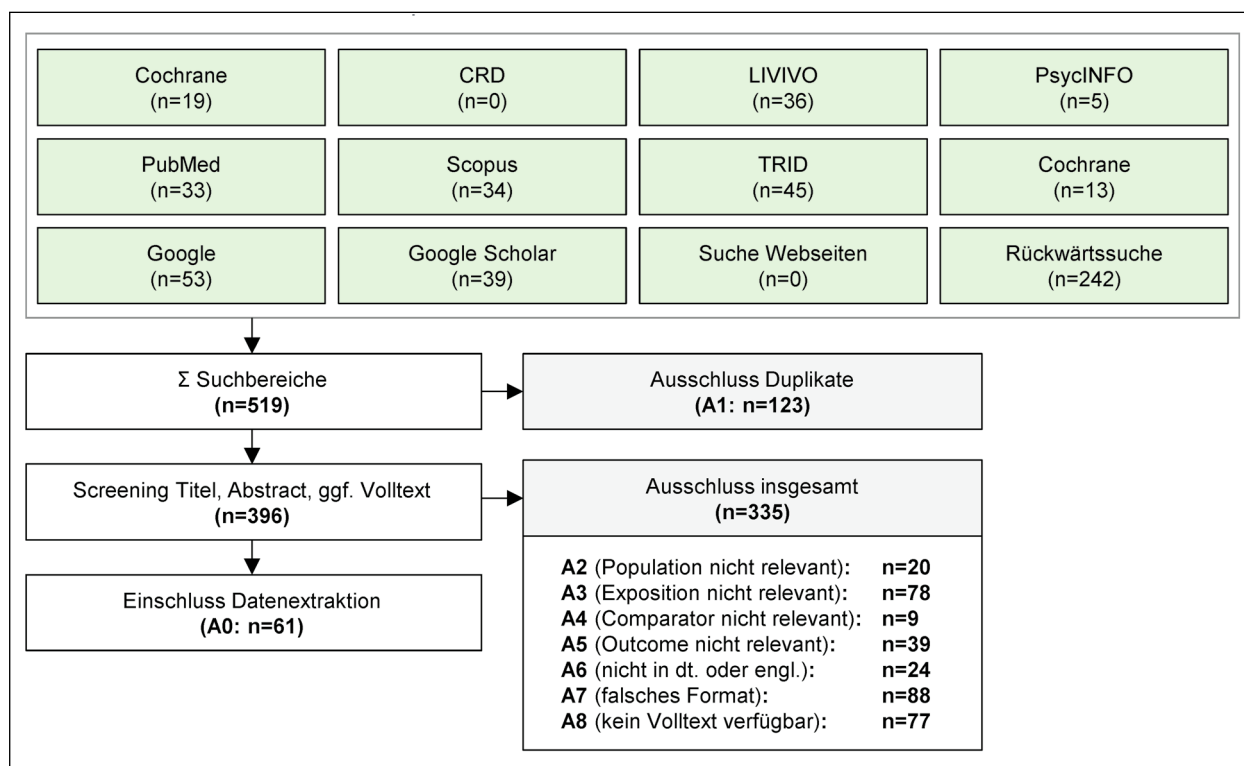


Bild 4-1: Flow-Chart mit Angaben zur Anzahl der identifizierten Publikationen

Nr.	Autor/en (Jahr): Titel der Publikation	Population	Land
1	BIRCH (2012): Worldwide Prevalence of Red-Green Color Deficiency	Testpersonen	Belgien
2	CRONE (1968): Incidence of Known and Unknown Colour Vision Defects	Schulkinder	Niederlande
3	FEIG & ROPERS (1978): On the Incidence of Unilateral and Bilateral Colour Blindness in Heterozygous Females	Schulkinder	Deutschland
4	GRAMBERG-DANIELSEN (1961): Untersuchungen über die Unfallhäufigkeit von Farbenuntüchtigen im Straßenverkehr	Berufskraftfahrer	Deutschland
5	GRAMBERG-DANIELSEN (1972b): Zur Bedeutung der Farbenuntüchtigkeit im Straßenverkehr	Feuerwehrfahrende	Deutschland
6	HEINSIUS (1975): Die Grenzen zwischen den drei Formen der Trichromasie bei der Untersuchung am Anomaloskop	Eisenbahnbedienstete	Deutschland
7	KOLIOPOULOS et al. (1976): Data Concerning Colour Vision Deficiencies Amongst 29,985 Young Greeks	Junge Bedienstete	Griechenland
8	MANTYJÄRVI (1991): Velhagen Pflügertrident Pseudoisochromatic Plates in Screening Congenital Red-Green Vision Defects	Studierende	Finnland
9	NELSON (1938): Anomalous Trichromatism and its Relation to Normal Trichromatism	Testpersonen	Vereinigtes Königreich
10	PLANTA (1928): Die Häufigkeit der angeborenen Farbensinnstörungen bei Knaben und Mädchen und ihre Feststellung durch die üblichen klinischen Proben	Kinder	Schweiz
11	POOLE et al. (1997): Deficient Colour Vision and Interpretation of Histopathology Slides: Cross Sectional Study	Labormitarbeitende	Vereinigtes Königreich
12	ROGOSIĆ et al. (2003): Frequency of Congenital Dyschromatopsias in Male Population of the Split-Dalmatian County in Croatia	Führerscheinbewerbende	Kroatien
13	Color-Blindness in Calabria (Southern Italy): A North-South Decreasing Trend	Studierende	Italien

Tab. 4-1: Eingeschlossene Studien zur Prävalenz



Nr.	Autor/en (Jahr): Titel der Publikation	Population	Land
14	TAYLOR (1971): Effects on Employment of Defects in Colour Vision	Schulkinder	Vereinigtes Königreich
15	VRIES-DE MOL & WENT (1978): Frequencies of Different Types of Colour Vision Defects in the Netherlands	Studierende	Niederlande
16	WAALER (1927): Über die Erblichkeitsverhältnisse der verschiedenen Arten von angeborener Rotgrünblindheit	Schulkinder	Norwegen
17	WIELAND (1933): Untersuchungen über Farbenschwäche bei Konduktorinnen	Schulkinder	Schweiz

Tab. 4-1: Fortsetzung

Nr.	Autor/en (Jahr): Titel der Publikation	Population	Land
1	CASHELL (1970): Visual Function in Relation to Road Accidents	Kraftfahrende	Vereinigtes Königreich
2	GRAMBERG-DANIELSEN (1961): Untersuchungen über die Unfallhäufigkeit von Farbenuntüchtigen im Straßenverkehr	Berufskraftfahrer	Deutschland
3	HAGER (1963): Das Sehorgan und das Unfallgeschehen im Straßenverkehr	Kraftfahrende	Deutschland
4	LACHENMAYR, BUSER & KELLER (1997): Sehstörungen als Unfallursache	Kraftfahrende	Deutschland
5	MEYER (1976): Farbensinn und Verkehrsampel	Kraftfahrende	Schweiz
6	NEUBAUER (1979): Kompensationsmöglichkeiten der Rotblinden als Lenker von Kraftfahrzeugen im Straßenverkehr	Kraftfahrende	Deutschland

Tab. 4-2: Eingeschlossene Studien zum Unfallrisiko

Nr.	Autor/en (Jahr) der Publikation	Punkte
1	CASHELL (1970)	8
2	GRAMBERG-DANIELSEN (1961)	7
3	HAGER (1963)	6
4	LACHENMAYR, BUSER & KELLER (1997)	13
5	MEYER (1976)	8
6	NEUBAUER (1979)	12

Tab. 4-3: Ergebnisse der Studienbewertung

Autor/en (Jahr) der Publikation	Population	Land
ADAMS & TAGUE (1985): Performance of ATC Tasks by Protanopic Color Defectives	Fluglotsen	USA
ATCHISON et al. (2003): Traffic Signal Color Recognition is a Problem for Both Protan and Deutan Color-Vision Deficients	Testpersonen	Australien
BARBUR et al. (2009): Minimum Color Vision Requirements for Professional Flight Crew, Part III: Recommendations for New Color Vision Standards	Testpersonen	Vereinigtes Königreich
BAUMANN & LACHENMAYR (1995): Wahrnehmungsvermögen von Verkehrsteilnehmern mit Farbfahlsichtigkeit für rote Signallichter	Testpersonen	Deutschland
BERGMAN & DUIJNHOUWER (1980): Recognition of VDU Presented Colors by Color Defective Observers	Testpersonen	Niederlande
COLE & BROWN (1966): Optimum Intensity of Red Road-Traffic Signal Lights for Normal and Protanopic Observers	Testpersonen	Australien
COLE & MACDONALD (1988): Defective Colour Vision Can Impede Information Acquisition from Redundantly Colour-Coded Video Displays	Testpersonen	Australien
COLE, MADDOCKS & SHARPE (2004): Visual Search and the Conspicuity of Coloured Targets for Colour Vision Normal and Colour Vision Deficient	Testpersonen	Australien

Tab. 4-4: Eingeschlossenen Studien zum Erkennen/ Reagieren auf rote Objekte/Signale

Autor/en (Jahr) der Publikation	Population	Land
DAIN, WOOD & ATCHISON (2009): Sunglasses, Traffic Signals, and Color Vision Deficiencies	Testpersonen	Australien
GASKA et al. (2016): Color Vision and Performance on Color-Coded Cockpit Displays	Testpersonen	USA
GRAMBERG-DANIELSEN (1966): Die Farbempfindungszeitschwelle der Farbsinngestörten im Verkehr	Testpersonen	Deutschland
GRAMBERG-DANIELSEN (1967): Die Abhängigkeit der Sehschärfe der Farbsinngestörten von der Lichtfarbe	Testpersonen	Deutschland
GRAMBERG-DANIELSEN (1972a): Die Beeinflussung der optischen Information des Kraftfahrers durch Wärmedämmgläser	Testpersonen	Deutschland
GRAMBERG-DANIELSEN (1974): Die Spektrumsverkürzung als Kriterium der Fahreignung	Testpersonen	Deutschland
HEATH & SCHMIDT (1959): Signal Color Recognition by Color Defective Observers	Studierende & Lehrende	USA
HILLS (1972): Measurements of the Night-Time Visibility of Signs and Delineators on an Australian Rural Road	Testfahrende	Vereinigtes Königreich
HOVIS, MILBURN & NESTHUS (2014): Protan Response Times to Red Lights in a Mildly Hypoxic Environment	Testpersonen	USA
HUANG et al. (2003): Detection and Identification of LED Traffic Signals by Protan Observers	Testpersonen	USA
KALBERER (1971): Zur Bedeutung von Farbensinnstörungen im Strassenverkehr	Testpersonen	Schweiz
KINNEAR (1986): Spectral Sensitivity for Observers with Protanomalous, Extreme Protanomalous and Protanopic Colour Vision	Studierende	Vereinigtes Königreich
KINNEY, PAULSON & BEARE (1979): The Ability of Color Defectives to Judge Signal Lights at Sea	Oberfähnriche	USA
KUYK et al. (1986): The Ability of Protan Color Defectives to Perform Color-Dependent ATC Tasks	Testpersonen	USA
MERTENS (1990): Evaluation of Functional Color Vision Requirements and Current Color Vision Screening Tests for ATC Specialists	Testpersonen	USA
MERTENS & MILBURN (1992): Performance of Color-Dependent Tasks of ATC Specialists as a Function of Type and Degree of Color Vision Deficiency	Testpersonen	USA
MERTENS, THACKRAY & TOUCHSTONE: Effects of Color Vision Deficiency on Detection of Color-Highlighted Targets in a Simulated ACT Display	Testpersonen	USA
MILBURN et al. (2014): Usability of Light-Emitting Diodes in Precision Approach Path Indicator Systems by Individuals With Marginal Color Vision	Testpersonen	USA
MIYAO et al. (1993): Color-Blindness and Recognition of Traffic Signals	Schulkinder	Japan
NATHAN, HENRY & COLE (1964): Recognition of Colored Road Traffic Light Signals by Normal and Color-Vision-Defective Observers	Studierende	Australien
PUN, BROWN & LUI (1986): Tinted Contact Lenses Slow Reaction Time in Colour defective Observers	Behandelte	Australien
RAMASWAMY & HOVIS (2009): Do Color-Deficient Observers Take Longer to Complete a Color-Related Task?	Testpersonen	Kanada
SCHOLZ et al. (1995): Recognition Performance of Subjects with Color-Vision Deficiencies on a Polychromatic Sonar Screen for Ship Navigation	Testpersonen	Deutschland
SLOAN & HABEL (1955): Color Signal Systems for the Red-Green Color Blind	Testpersonen	USA
STEEN, COLLINS & LEWIS (1973): Utility of Several Clinical Tests of Color-Defective Vision in Predicting Daytime and Nighttime Performance	Behandelte	USA
STEWART & COLE (1989b): What Do Color Vision Defectives Say About Everyday Tasks?	Behandelte	Australien
TAKAYANAGI, FURUTA & MIYAO (2014): Color Sense Test for Job and Learning Ability	Schulkinder	Japan
VERRIEST et al. (1978a): An Experimental Study Comparing the Visual Performances of Normal and Congenitally Colour. Part I	Testpersonen	Belgien
VERRIEST et al. (1978b): An Experimental Study Comparing the Visual Performances of Normal and Congenitally Colour. Part II	Testpersonen	Belgien
VINGRYS & COLE (1993): The Ability of Colour Defective Observers to Recognise an Optimised Set of Red, Green and White Signal Lights	Testpersonen	Australien
WALRAVEN & LEEBEEK (1960): Recognition of Color Code by Normals and Color Defectives at Several Illumination Levels	Testpersonen	Niederlande

Tab. 4-4: Fortsetzung

## 4.2 Erkenntnisse aus der Datenrecherche

### 4.2.1 Kenntnis über Farbsinnstörungen bei Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen

Bei der umfangreichen Datenrecherche zeigte sich, dass verwertbare Daten (die als Sekundärdaten ge-

nutzt werden könnten) bei keiner kontaktierten Institutionen vorliegen. Die Tabelle 4-5 fasst die Ergebnisse der Datenrecherche und die daraus resultierende Schlussfolgerung für die Datenverfügbarkeit zusammen.

Ein Verkehrsunternehmen, die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), sah sich in der Lage, Primärdaten für die vorliegende Studie zu erheben. Unter Beteili-

Institutionen	Ergebnis Kontaktaufnahme	Schlussfolgerung für Datenverfügbarkeit
Arbeitsmedizin/ Ophthalmologie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abrechnungsdaten enthalten nur ICD-Code H53.5 Farbsinnstörungen ohne weitere Differenzierung</li> <li>ohne Einwilligung der betroffenen Personen können Angaben zum Farbsehvermögen aufgrund der ärztlichen Schweigepflicht nicht weitergegeben werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Routinedaten sind nicht geeignet zur Schätzung der Prävalenz von Protanopie bzw. Protanomalie</li> </ul>
Behörden für den Straßenverkehr	<ul style="list-style-type: none"> <li>in Australien, Neuseeland und in UK spielt das Farbsehvermögen für die Fahreignung keine Rolle</li> <li>dem Kraftfahrtbundesamt, den örtlichen Führerscheinstellen und dem zentralen Fahrerlaubnisregister liegen keine Daten zum Farbsehvermögen vor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Daten zum Merkmal Farbsehvermögen verfügbar</li> </ul>
Berufsverbände	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Erfassung des Merkmals Farbsehvermögen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Informationen zum Farbsehvermögen verfügbar</li> </ul>
Institutionen mit Bezug zu Verkehrsstatistiken	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Erfassung des Merkmals Farbsehvermögen (z. B. GIDAS, EUROSTAT, WHO)</li> <li>KBA: Daten zu Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen anhand der Fahrerlaubnisklassen</li> <li>Bundesagentur für Arbeit: Beschäftigungsstatistiken</li> <li>Destatis/BAST: amtliche Verkehrsunfallstatistik für 2018 von Lkw- und Busfahrzeug-Führenden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>erfasste Daten als Sekundärdaten nicht geeignet</li> <li>Daten ermöglichen Schätzung der Gesamtpopulation an Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen in Deutschland</li> <li>Daten ermöglichen Schätzung des Unfallrisikos von Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen</li> </ul>
Kraftfahrtversicherer	<ul style="list-style-type: none"> <li>die abgeschlossenen Versicherungen sind an das Fahrzeug gebunden</li> <li>bei Unfall: wenn Person berechtigt war, das Fahrzeug zu führen, dann wird der Schaden von der Versicherung reguliert (unabhängig vom Farbsehvermögen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Informationen zum Farbsehvermögen, da irrelevant für Schadensregulierung</li> </ul>
Krankenversicherer	<ul style="list-style-type: none"> <li>ICD-Diagnose H53.5 Farbsinnstörungen hat keine therapeutischen Konsequenzen und verursacht auch keine diagnosebezogenen Leistungen zu Lasten der Krankenversicherer</li> <li>kein Anlass zur Dokumentation einer solchen Diagnose, Dokumentation wäre eher ein Zufallsbefund</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Routinedaten als Sekundärdaten zur Schätzung der Prävalenz von Protanopie bzw. Protanomalie nicht geeignet</li> </ul>
Studienautoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nennung von veröffentlichten Studien mit Relevanz für die Fragestellung (genannte Studien bereits bei der Literaturrecherche identifiziert)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine nicht bereits publizierten und identifizierten Daten/Studien verfügbar</li> </ul>
Verkehrsbetriebe/ Transportunternehmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>die meisten Verkehrsbetriebe und Transportunternehmen beschäftigen kein eigenes betriebsärztliches Personal, sondern bestellen betriebsärztliche Dienste</li> <li>externe betriebsärztliche Dienste rechnen nur die erbrachten betriebsärztlichen Leistungen direkt mit dem Verkehrsbetrieb oder Transportunternehmen ab</li> <li>unter diesen Umständen liegt den Verkehrsunternehmen lediglich die Fahreignungsbescheinigung vor und diese enthält keine Informationen zum Merkmal Farbsichtigkeit</li> <li>BVG: Erfassung von Farbsinnstörungen bei Menschen, die sich als Busfahrende bewerben (vom 01.12.2019 bis 30.06.2020)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Informationen zum Farbsehvermögen verfügbar</li> <li>Aufgrund der vorliegenden Struktur von externen Betriebsärzten ist eine Verknüpfung des Merkmals Farbsehvermögen mit dem Merkmal Unfall nicht möglich</li> <li>die übermittelten Daten waren nicht Protanopie/Protanomalienspezifisch, zur Schätzung der Prävalenz von Protanopie bzw. Protanomalie nicht geeignet</li> </ul>

Tab. 4-5: Zusammenfassung der Ergebnisse der Datenrecherche

gung der leitenden Betriebsärztin wurden dort vom 01.12.2019 bis 30.06.2020 bei Bewerbern und Bewerberinnen für den Fahrdienst nach FeV erhoben, ob bei ihnen eine Farbsinnstörung vorliegt. Insgesamt wurden in diesem Zeitraum 596 Einstellungsuntersuchungen nach FeV durchgeführt, davon wurden bei 12 Probanden Farbsinnstörungen festgestellt.

Aus der Datenrecherche ergab sich die Erkenntnis, dass eine mögliche Protostörung zunächst einmal lediglich der betroffenen Person selbst und dem untersuchenden ärztlichen Personal bekannt ist. Wenn im Rahmen der ärztlichen Untersuchung nach Anlage 5 und 6 FeV die Protostörung in der Bescheinigung/Zeugnis über die ärztliche Untersuchung vermerkt wird, erlangt auch die zuständige Fahrerlaubnisbehörde bei Vorlage dieser Bescheinigung Kenntnis über eine vorhandene Protostörung.

Dieser Zusammenhang ist vereinfacht in Bild 4-2 dargestellt: Bei rot Symbolisierten besteht in jedem Fall Kenntnis und bei den schwarz Symbolisierten nicht. Bei den grau Symbolisierten kann eine Kenntnis nicht ausgeschlossen werden.

doch liegen weder bei den Fahrerlaubnisbehörden noch bei den Verkehrsunternehmen umfassende, verwertbare Daten zur Prävalenz der Protostörung unter Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen vor.

Ein Abruf der Daten zur Prävalenz bei betriebsärztlichem Personal bzw. betriebsärztlichen Vereinigungen war nicht möglich, da die Daten zum Farbsehvermögen in keiner strukturierten Form vorliegen (durch z. B. wechselnde Patienten-Management-systeme) und da seitens der betriebsärztliche Praxen aufgrund ihrer Schweigepflicht große Vorbehalte gegenüber einer Weitergabe der Daten bestehen.

#### 4.4.2 Beschäftigungs- und Unfallstatistiken zu Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen

Um etwaige Vergleichswerte zum allgemeinen Unfallrisiko von Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen ( $R$ ) zu erhalten, wurden Beschäftigungsstatistiken von der Bundesagentur für Arbeit (BA) für das Jahr 2018 den Zahlen der amtlichen Stra-

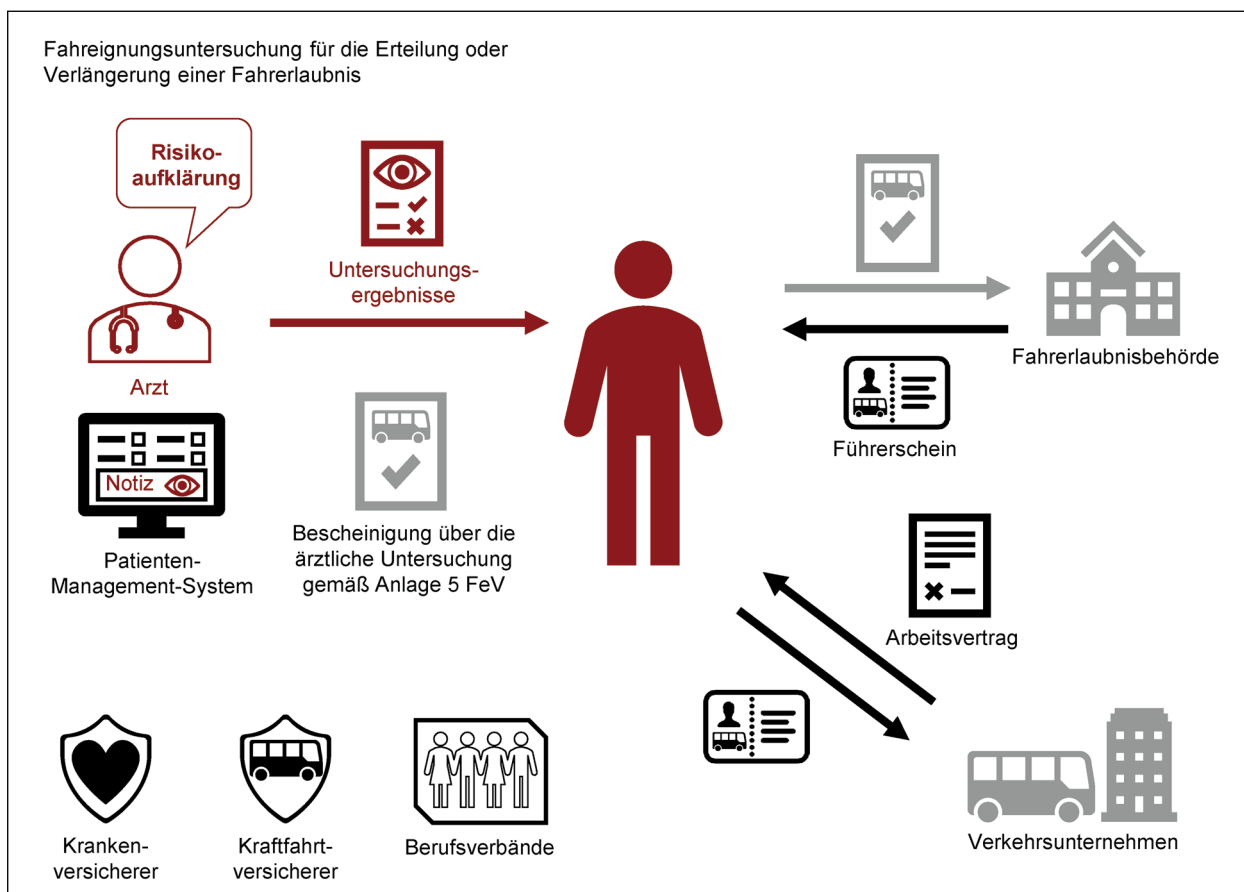


Bild 4-2: Schematische Darstellung über Kenntnis/Dokumentation einer Farbsinnstörung

Geschlecht	Verkehrsbeteiligung	Anzahl		Unfallrisiko (R)	95%-KI	
		Gesamt	Unfallverursacher		Untere Grenze	Obere Grenze
m	Güterverkehr	633.742	17.197	2,71 %	2,67 %	2,75 %
w	Güterverkehr	15.006	693	4,62 %	4,28 %	4,95 %
m	Personenbeförderung	282.464	2.318	0,82 %	0,79 %	0,85 %
w	Personenbeförderung	50.871	248	0,49 %	0,43 %	0,55 %
m	Güterverkehr & Personenbeförderung	916.206	19.515	2,13 %	2,10 %	2,16 %
w	Güterverkehr & Personenbeförderung	65.877	941	1,43 %	1,34 %	1,52 %
m & w	Güterverkehr & Personenbeförderung	982.083	20.456	2,08 %	2,05 %	2,11 %

Tab. 4-6: Unfallrisiko geschätzt aus Gesamtanzahl (BA) und Anzahl mit Unfall (BAST)

ßenverkehrsunfallstatistik für 2018 (zur Verfügung gestellt durch die BAST) gegenübergestellt und Unfallrisiken berechnet (siehe Tabelle 4-6). Es sei darauf hingewiesen, dass diese Zahlen für die Gesamtheit gelten, also für Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen mit und ohne Defekt. Des Weiteren sind nur die Unfälle mit Personenschaden, hauptsächlich verursacht durch Führende von Bussen bzw. Lkw, berücksichtigt worden.

### 4.3 Prävalenz von Protanopie und Protanomalie

Insgesamt wurden nach umfangreicher Prüfung der Relevanz in der Literaturrecherche 16 Studien in der europäischen Bevölkerung (Belgien, Deutschland, Finnland, Griechenland, Vereinigtes Königreich, Italien, Kroatien, Niederlande, Norwegen, Schweiz) aus dem Zeitraum 1927 bis 2003 zur Untersuchung der Prävalenz von Protanopie und Protanomalie identifiziert. Zusätzlich wurden die Ergebnisse von zwei weiteren Studien zitiert, welche allerdings nicht im Volltext vorlagen. Die Daten der nicht

vorliegenden Studien wurden aus anderen Publikationen extrahiert (NELSON 1938; BIRCH 2012). Lagten die Daten zur Prävalenz von protanopen und protanomalen Personen vor, wurde aus deren Summe die Prävalenz von protogestörten Personen berechnet und ergänzt.

Die Diagnostik der Farbsinnstörung erfolgte in 13 der Studien mit dem Anomaloskop, in 2 Studien mit Ishihara Farbtafeln, in einer Studie über Farnsworth-Munsell-100-Hue und in einer Studie gab es keine Angaben zur Diagnostik der Farbsinnstörung.

Lediglich in einer Studie waren die Probanden männliche Berufskraftfahrer (GRAMBERG-DANIELSEN 1961).

Alle extrahierten Daten zur Prävalenz finden sich im Anhang (siehe Anlage 1). Die aus ihrer Metaanalyse resultierenden Ergebnisse sind in Tabelle 4-7 zusammengefasst.

Eine gemeinsame Darstellung der Ergebnisse der Einzelstudien und der Metaanalyse findet sich für Männer in Bild 4-3 und für Frauen in Bild 4-4.

Geschlecht	Defekt	Gesamtsumme Anzahl		Gewichteter Mittelwert der Prävalenz (p)	95%-KI	
		Mit Defekt	Mit & Ohne Defekt		Untere Grenze	Obere Grenze
m	Protanomalie	1.086	88.716	1,22 %	1,15 %	1,30 %
m	Protanopie	817	70.081	1,17 %	1,09 %	1,25 %
m	Protostörung	1.873	88.873	2,11 %	2,01 %	2,20 %
w	Protanomalie	6	25.405	0,02 %	0,00 %	0,04 %
w	Protanopie	6	25.405	0,02 %	0,00 %	0,04 %
w	Protostörung	12	25.411	0,05 %	0,02 %	0,07 %

Tab. 4-7: Ergebnis der Metaanalyse zur Prävalenz von Protanopie/Protanomalie/Protostörung

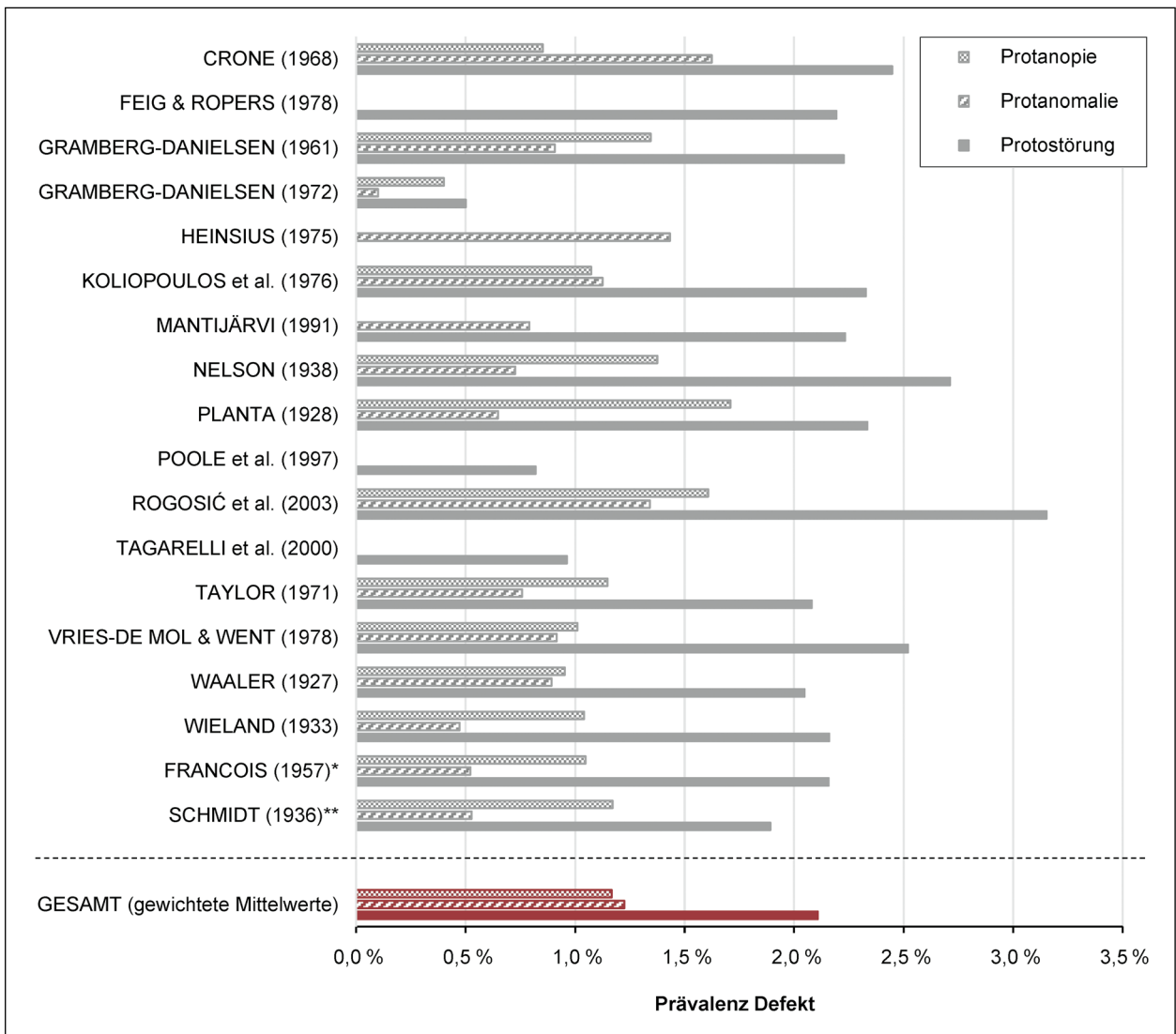


Bild 4-3: Ergebnisübersicht Prävalenz bei Männern (\*aus BIRCH [2012], \*\*aus NELSON [1938])

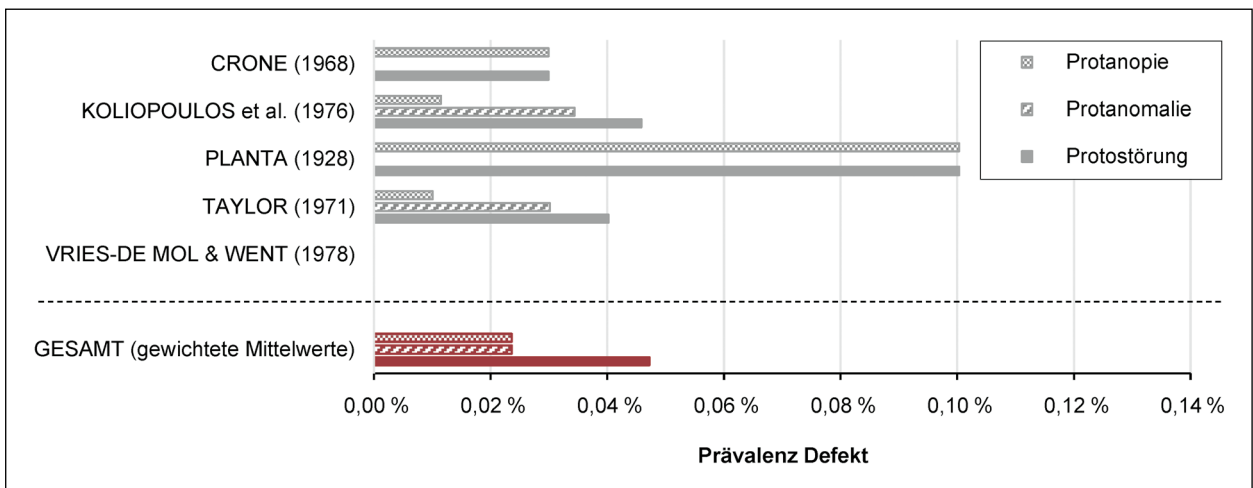


Bild 4-4: Ergebnisübersicht Prävalenz bei Frauen

### 4.4 Unfallrisiko von Kfz-Führenden mit Protostörung

Daten zum Unfallrisiko von Kfz-Führenden mit Pro- tanopie/Protanomalie/Protostörung konnten nur über die Literaturrecherche akquiriert werden. In- gesamt wurden sechs Publikationen zu Feldstudien identifiziert, von denen jeweils drei Querschnitts- studien bzw. Fall-Kontroll-Studien waren (Tabelle 4-8).

#### 4.4.1 Anteil Personen mit Defekt unter Kfz-Führenden mit Unfall

In fünf der identifizierten Studien (CASHELL 1970; HAGER 1963; LACHENMAYR, BUSER & KELLER 1997; MEYER 1976; NEUBAUER 1979) war es möglich, den Anteil von Personen mit Defekt unter Kfz-Führenden mit Unfall ( $p_{U+}$ ) zu schätzen.

Zwei dieser fünf Studien untersuchten nur männliche Kfz-Führende, sodass für diese der ermittelte  $p_{U+}$  zusätzlich der in Kapitel 4.3 geschätzten allge-

meinen Prävalenz ( $\bar{p}$ ) unter Männern gegenüberge- stellt wurde (siehe Bild 4-5). In Bild 4-5 benennt die y-Achse die jeweilige Unfallart und die Studie, aus welcher die dargestellten Daten stammen. Die ver- tikalen Linien zeigen die in der Metaanalyse in Ka- pitel 4.3 ermittelten, allgemeinen Prävalenzen ( $\bar{p}$ ) von Protanopie, Protanomalie bzw. Protostörungen bei Männern.

Es ist festzuhalten, dass zumindest für die Auffahr-, Schleuder- und Gesamtunfälle in NEUBAUER (1979) zwar der jeweilige Schätzwert, nicht aber dessen untere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls oberhalb der entsprechenden allgemeinen Präva- lenz liegt. Demnach kann hier hinsichtlich Protano- pie/Protanomalie/Protostörung keine statistisch sig- nifikante Erhöhung des Anteils an Personen mit De- fekt unter Kfz-Führenden mit Unfall ( $p_{U+}$ ) bei Män- nern gegenüber der allgemeinen Prävalenz ( $\bar{p}$ ) bei Männern nachgewiesen werden (auch unabhängig von einer praktisch relevanten Effektgröße [siehe Kapitel 3.3.2]).

Daten extrahiert aus	Versuchsdesign	Daten zu (Felder in Kreuztabelle Bild 3-5)
3 Publikationen (CASHELL 1970; HAGER 1963; LACHENMAYR, BUSER & KELLER 1997)	Fall-Kontroll-Studie	Kfz-Führende mit Unfall (a + b) vs. Kfz-Führende ohne Unfall (c + d)
2 Publikation (MEYER 1976; NEUBAUER 1979)	Querschnittsstudie	Kfz-Führende mit Unfall (a + b)
1 Publikation (GRAMBERG-DANIELSEN 1961)	Querschnittsstudie	Kfz-Führende mit Defekt (a + c)

Tab. 4-8: Übersicht zu den selektierten Publikationen zur Unfallhäufigkeit bei Kfz-Führenden

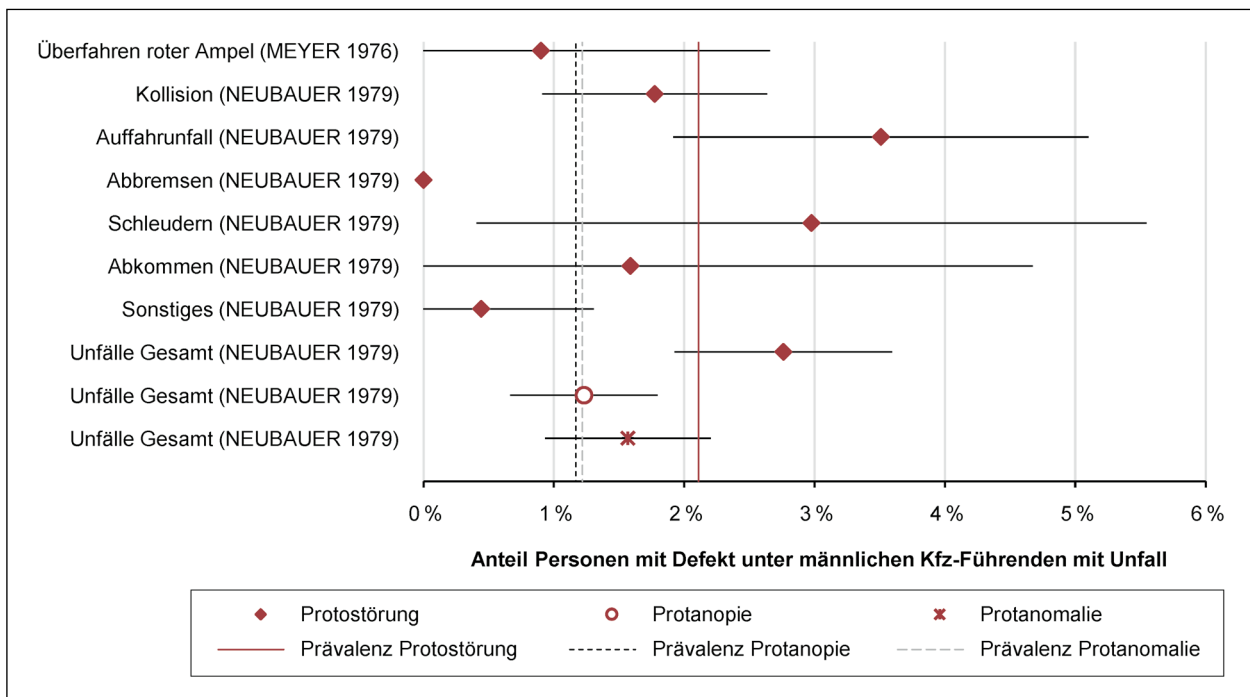


Bild 4-5: Anteil Personen mit Defekt unter männlichen Kfz-Führenden mit Unfall samt 95%-KI

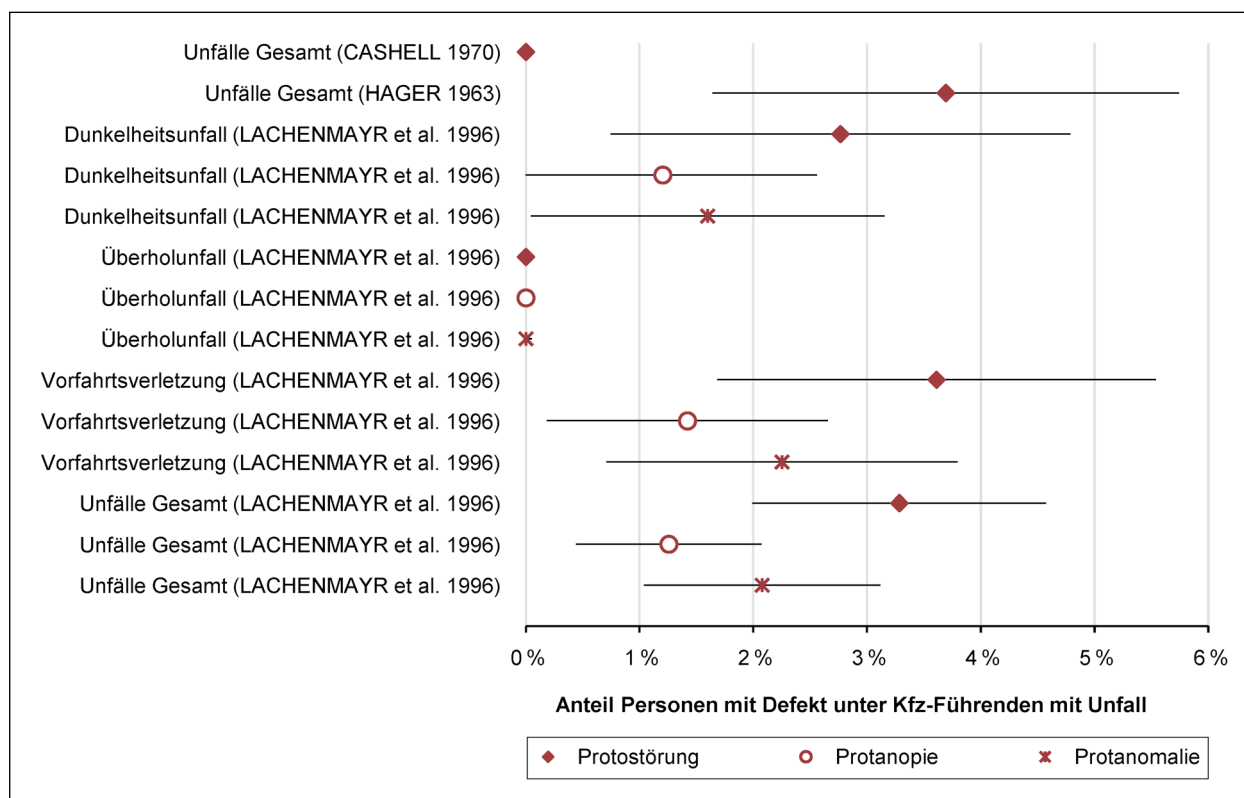


Bild 4-6: Anteil Personen mit Defekt unter Kfz-Führenden mit Unfall samt 95%-KI

Bei den drei Studien, in denen männliche und weibliche Kfz-Führende untersucht wurden, zeichnet sich ein ähnliches Bild ab. Da die Population hier gemischtgeschlechtlich ist, lässt sich den jeweiligen Schätzwerten für  $p_{U+}$  allerdings kein genauer Vergleichswert  $\bar{p}$  gegenüberstellen (siehe Bild 4-6).

#### 4.4.2 Unfallrisiko von Kfz-Führenden mit Defekt

In der Publikationen von GRAMBERG-DANIELSEN (1961) wurden (vermutlich) ausschließlich männliche Protogestörte auf ihre Unfallhäufigkeit untersucht. Es gab also keine Kontrollgruppe bzgl. der Exposition Defekt, aber eine Kontrollgruppe bzgl. des Outcomes Unfall. Somit konnte nur das Unfallrisiko unter Kfz-Führenden mit Defekt ( $R_{D+}$ ) berechnet werden und dem allgemeinen Risiko für einen Unfall mit Personenschaden männlicher Berufskraftfahrer ( $R$ , vertikale gestrichelte Linie) aus Kapitel 4.2.2 gegenübergestellt werden (siehe Bild 4-7). Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass hier nur eine beschränkte Übertragbarkeit aufgrund der abweichenden Zielpopulation, der abweichenden Unfallart sowie dem abweichenden Erhebungszeitpunkt vorliegt. Es ist zu erkennen, dass alle Schätzwerte für  $R_{D+}$  kleiner sind als  $R$ , wenn auch

die obere Grenze des KI in jedem Fall immer auch  $R$  mit einschließt.

Da die errechneten Werte für das Unfallrisiko unter Kfz-Führenden mit Defekt ( $R_{D+}$ ), entweder 0 % entsprachen bzw. die untere Grenze des KI 0 % einschließt, konnte hinsichtlich Protanopie/Protanomalie/Protostörung keine statistisch signifikante Erhöhung des Unfallrisikos unter Kfz-Führenden mit Defekt ( $R_{D+}$ ) nachgewiesen werden (unabhängig von einer praktisch relevanten Effektgröße [siehe Kapitel 3.3.2]).

#### 4.4.3 Chancenverhältnis (Odds Ratio)

Die Daten aus den drei Fall-Kontroll-Studien (CASHELL 1970; HAGER 1963; LACHENMAYR, BUSER & KELLER 1997) eigneten sich prinzipiell, um die Kreuztabelle (siehe Bild 3-5) vollständig auszufüllen und ein OR zu schätzen. Da allerdings in CASHELL (1970) keine einzige Kfz-führende Person mit Defekt identifiziert wurde (weder unter den 30 mit, noch unter den 30 ohne Unfall), ist hier der Schätzwert  $OR = 0$  und die Berechnung eines zugehörigen KI nicht möglich. Deshalb wurden nur HAGER (1963) und LACHENMAYR, BUSER & KELLER (1997) für die Metaanalyse des Chancenver-



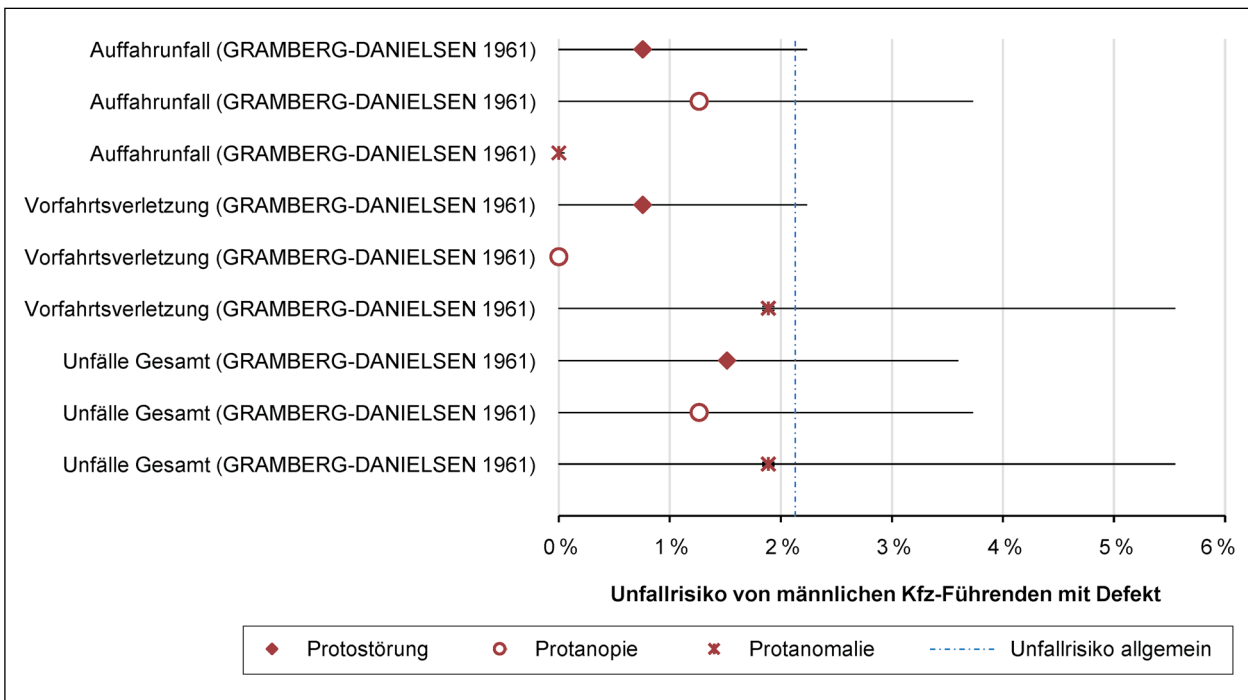


Bild 4-7: Unfallrisiko von männlichen Kfz-Führenden mit Defekt samt 95%-KI

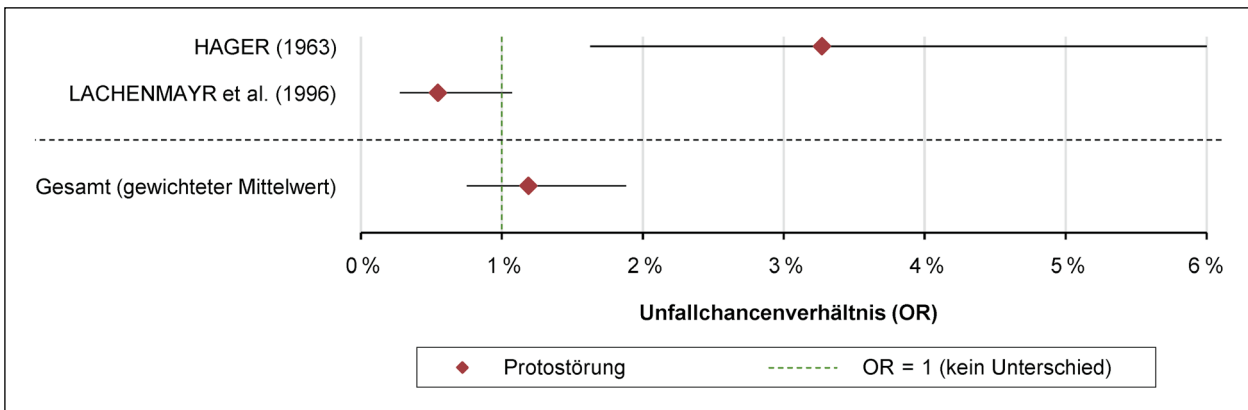


Bild 4-8: Unfallchancenverhältnis von Kfz-Führenden mit Defekt vs. ohne Defekt samt 95%-KI

hältnisses berücksichtigt (siehe Bild 4-8). Beide Studien haben sowohl männliche als auch weibliche Kfz-Führende untersucht. Die vertikale, gepunktete Linie in Bild 4-8 kennzeichnet den Wert  $OR = 1$  was auf keinen Unterschied in den Chancen hindeutet.

Wie zu erkennen ist, liegt das  $OR$  basierend auf den Daten aus LACHENMAYR, BUSER & KELLER (1997) unter 1, wobei das KI die 1 noch mit einschließt. Im Gegensatz dazu liegt das  $OR$  und sogar die untere Grenze des KI basierend auf den Daten aus HAGER (1963) deutlich über 1. Bei Betrachtung des gewichteten Mittelwerts über beide Studien hinweg ist das Chancenverhältnis  $\overline{OR}$  zwar auch größer 1, jedoch schließt das KI die 1 ein.

Demnach kann hier hinsichtlich der Chance einen Unfall zu haben zwischen der Gruppe der Kfz-Führenden mit Protostörung und der Gruppe der Kfz-Führenden ohne Protostörung (unabhängig von einer praktisch relevanten Effektgröße [siehe Kapitel 3.3.2]) kein statistisch signifikanter Unterschied gefunden werden.

#### 4.4.4 Zusammenfassung Unfallrisiko

Sechs nichtexperimentelle Studien zeigen übergreifend keine Evidenz für ein erhöhtes allgemeines Unfallrisiko protogestörter Kraftfahrender (Evidenzstärke III nach BURNS, ROHRICH & CHUNG (2011)). Konkret steht eine Studie (HAGER 1963),

die ein statistisch signifikant erhöhtes allgemeines Unfallrisiko Protogestörter ermittelt ( $OR = 3,27$ ) fünf Studien (CASHELL 1970; GRAMBERG-DANIELSEN 1961; LACHENMAYR, BUSER & KELLER 1997; MEYER 1976; NEUBAUER 1979) gegenüber, die keine signifikante Erhöhung des allgemeinen Unfallrisikos finden. Die praktische Relevanz der statistisch signifikanten Erhöhung in HAGER (1963) ist jedoch nicht gegeben, sodass das Ergebnis zweifelbar ist.

Differenziert nach Unfallart findet NEUBAUER (1979) statistisch signifikant erhöhte Unfallrisiken protogestörter Personen für Auffahrunfälle und Kollisionen, deren praktische Relevanz wiederum nicht nachgewiesen ist, die jeweiligen KI schließen die allgemeine Prävalenz von Protostörungen von 2,11 % ein. Bei GRAMBERG-DANIELSEN (1961) ist das Unfallrisiko protogestörter Personen für einen Auffahrunfall dagegen nicht erhöht.

Die Studien von CASHELL (1970), GRAMBERG-DANIELSEN (1961), HAGER (1963) und MEYER (1976) weisen qualitative Mängel im Hinblick auf eine Verzerrung der Studienergebnisse auf (siehe Anlage 2), insbesondere sind bei allen Studien keine möglichen Störfaktoren berücksichtigt.

#### 4.5 Erkennen/Reaktion protanoper/protanomaler Personen auf rote Signale

In der Literaturrecherche wurden 39 Laborstudien identifiziert, in denen protogestörte mit normalfarbsichtige Personen hinsichtlich verschiedener Aspekte des Erkennens/Reagierens auf die Farbe Rot verglichen wurden. Die Laborstudien fanden an Testpersonen statt, die über verschiedene Wege rekrutiert wurden, dabei fand die Gruppe der Berufskraftfahrer und Berufskraftfahrerinnen keine Berücksichtigung. In den eingeschlossenen Studien wurden verschiedene Merkmale bei protogestörten und normalfarbsichtigen Personen gemessen:

- die spektrale Empfindlichkeit und die Sehschärfe bei unterschiedlichen Wellenlängen,
- die Fehlerquote bzw. Anteil korrekter Antworten beim Erkennen von Farben bzw. farbigen Signalen/Objekten,
- die Reaktionszeit auf (farbige) Signale/Objekte,
- der Erfassungs- und Erkennungsabstand von Schildern/Verkehrszeichen/Leitpfosten/Rücklichtern oder
- die Selbsteinschätzung von Schwierigkeiten bei der Bewältigung von Alltagsaufgaben.

Autor/en (Jahr)	Messparameter
<b>Spektrale Empfindlichkeit</b>	
BAUMANN & LACHENMAYR (1995)	Spektrale Empfindlichkeit im Wellenlängenbereich von 620 bis 780 nm
GRAMBERG-DANIELSEN (1967)	Sehschärfe bei den Wellenlängen 622, 638, 665 und 698 nm
GRAMBERG-DANIELSEN (1972a)	Spektrale Empfindlichkeit
GRAMBERG-DANIELSEN (1974)	Bestimmung der Wahrnehmungsgrenze in einem Spektrum
KINNEAR (1986)	Spektrale Empfindlichkeit im Wellenlängenbereich von 452 bis 635 nm
<b>Fehlerquote beim Erkennen von Farben bzw. farbigen Objekten</b>	
ADAMS & TAGUE (1985)	Fehlerquote bei der Farberkennung bei den Aufgaben von Fluglotsen
BARBUR et al. (2009)	Anteil korrekter Antworten beim Unterscheiden von rotem und weißem Licht
HEATH & SCHMIDT (1959)	Anteil korrekter Antworten beim Erkennen von roten, grünen, blauen, weißen und gelben Signalen
KINNEY, PAULSON & BEARE (1979)	Anteil korrekter Antworten beim Erkennen von Farblichtern an Schiffen (rot, grün und weiß)
KUYK et al. (1986)	Anteil korrekter Antworten bei der Farberkennung bei den Aufgaben von Fluglotsen
MERTENS (1990)	Fehlerquote bei der Farberkennung bei den Aufgaben von Fluglotsen
MERTENS & MILBURN (1992)	Fehlerquote bei der Farberkennung bei den Aufgaben von Fluglotsen
MILBURN et al. (2014)	Anteil korrekter Antworten beim Unterscheiden von rotem und weißem Licht
MIYAO et al. (1993)	Fehlerquote beim Identifizieren von rotem Licht
SLOAN & HABEL (1955)	Fehlerquote bei der Identifizierung von Farben (rot, grün und blau)

Tab. 4-9: Messparameter eingeschlossener Studien zum Erkennen/Reagieren

Autor/en (Jahr)	Messparameter
<b>Fehlerquote beim Erkennen von Farben bzw. farbigen Objekten</b>	
STEEN, COLLINS & LEWIS (1973)	Fehlerquote beim Signal Light Gun-Test (Farberkennung von Lichtern aus einer Signallichtpistole)
TAKAYANAGI, FURUTA & MIYAO (2014)	Fehlerquote bei Erkennen der Farben einer Ampel
VINGRYS & COLE (1993)	Anteil korrekter Antworten beim Identifizieren von Farben (rot, grün, weiß) in zwei Sets von überschwelligen Punktsignalquellen
WALRAVEN & LEEBEEK (1960)	Fehlerquote bei der Identifizierung von Farben
<b>Reaktionszeit</b>	
ATCHISON et al. (2003)	Reaktionszeit auf rotes, gelbes und grünes Licht
GRAMBERG-DANIELSEN (1966)	Reaktionszeit auf die Signale einer Ampel
HOVIS, MILBURN & NESTHUS (2014)	Reaktionszeit auf das Signal einer roten LED bei Sauerstoffmangel
KALBERER (1971)	Reaktionszeit auf rote Signale mit unterschiedlicher Leuchtdichte
MERTENS, THACKRAY & TOUCHSTONE	Reaktionszeiten beim Erkennen von roten und grünen Symbolen auf einem Display
PUN, BROWN & LUI (1986)	Reaktionszeiten auf das Signal einer roten LED mit Kontaktlinsen mit unterschiedlichen Tönungen
SCHOLZ et al. (1995)	Erkennen und Differenzieren von Objekten auf Sonarortungsgeräten in einer vorgegebenen Zeit (Limitierung der Reaktionszeit)
<b>Reaktionszeit und Fehlerquote</b>	
BERGMAN & DUIJNHOUWER (1980)	Reaktionszeit und Fehlerquoten beim Identifizieren von Farben auf einem Display
COLE & BROWN (1966)	Reaktionszeit und Fehlerquote beim Reagieren auf ein rotes Licht
COLE & MACDONALD (1988)	Reaktionszeit und Anteil korrekter Antworten bei verschiedenen Aufgaben auf Fluginstrumentenanzeigen
COLE, MADDOCKS & SHARPE (2004)	Reaktionszeit und Anteil korrekter Antworten beim Identifizieren von einer Raute zwischen anderen Formen
DAIN, WOOD & ATCHISON (2009)	Reaktionszeit und Fehlerquoten beim Identifizieren von Verkehrszeichen mit unterschiedlichen Sonnenbrillentonungen
GASKA et al. (2016)	Reaktionszeit und Anteil korrekter Antworten beim Identifizieren von farbigen Symbolen auf beleuchteten Cockpit Displays
HUANG et al. (2003)	Reaktionszeit und Fehlerquote beim Identifizieren von Farben (rot und gelb) von Lichtsignalen
NATHAN, HENRY & COLE (1964)	Reaktionszeiten und Fehlerquote beim Erkennen von Verkehrslichtsignalen
RAMASWAMY & HOVIS (2009)	Reaktionszeit und Fehlerquote beim Identifizieren von Farben auf einem Display
<b>Erfassungs-/Erkennungsabstand</b>	
HILLS (1972)	Erfassungs- und Lesbarkeitsabstand von Schildern und Leitpfosten
VERRIEST et al. (1978a)	Erfassungsabstand zu Verkehrszeichen
VERRIEST et al. (1978b)	Erkennungsabstand und Fehlerquote beim Identifizieren der Signale von Verkehrsampeln und Rücklichtern
<b>Selbsteinschätzung</b>	
STEWART & COLE (1989b)	Einschätzung von Schwierigkeiten bei der Bewältigung von Alltagsaufgaben

Tab. 4-9: Fortsetzung

Autor, Jahr	Messparameter	Testpersonen	Diagnostik Farbsinnstörung	Ergebnis
BAUMANN & LACHENMAYR (1995)	Spektrale Empfindlichkeit im Wellenlängenbereich von 620 bis 780 nm	Protogestörte, deutergestörte und normalfarbsichtige Männer und Frauen	Anomaloskop	Protogestörte (n = 56): Reduktion der spektralen Empfindlichkeit im gesamten untersuchten Wellenlängenbereich erkennbar im Vergleich zu den Normalfarbsichtigen (n = 58), größter Unterschied bei 700 nm
GRAMBERG-DANIELSEN (1967)	Sehschärfe bei den Wellenlängen 622, 638, 665 und 698 nm	Protogestörte, deutergestörte und normalfarbsichtige Testpersonen	k. A.	Protogestörte (n = 25): oberhalb einer Wellenlänge von 665 nm stärkerer Abfall und bei 698 nm eindeutiger Abfall der Sehschärfe im Vergleich zu Normalfarbsichtigen (n = 25)
GRAMBERG-DANIELSEN (1972a)	Farbwahrnehmung durch wärmedämmende Verbundscheibengläser in Neigung 0°, 40°, 55°	Protogestörte, deutergestörte und normalfarbsichtige Testpersonen	Anomaloskop	Protogestörte (14): Verkürzung des Spektrums am roten Ende
GRAMBERG-DANIELSEN (1974)	Bestimmung der Wahrnehmungsgrenze in einem Spektrum	Protanope, protanomale, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Testpersonen	Anomaloskop	Protanope (n = 57): Wahrnehmbarkeit des sichtbaren Spektrums am Ende verkürzt im Vergleich zu Normalfarbsichtigen (n = 112) Protanomale (n = 36): Wahrnehmbarkeit des sichtbaren Spektrums am Ende umso stärker verkürzt, je niedriger der Anomalquotient
KINNEAR (1986)	Spektrale Empfindlichkeit im Wellenlängenbereich von 452 bis 635 nm	Protanope, protanomale und normalfarbsichtige Testpersonen	Anomaloskop	Protanope (n = 3): signifikant niedrigere Empfindlichkeit in dem Bereich über 550 nm als Normalfarbsichtige (n = 17) Protanomale (n = 10): signifikant niedrigere Empfindlichkeit in dem Bereich über 550 nm als Normalfarbsichtige (n = 17)

Tab. 4-10: Zusammenfassung Ergebnisse Studien spektrale Empfindlichkeit

Autor, Jahr	Messparameter	Testpersonen	Diagnostik Farbsinnstörung	Ergebnis
ADAMS & TAGUE (1985)	Fehlerquote bei der Farberkennung bei den Aufgaben von Fluglotsen (ATCS)	Männliche protanope und normalfarbsichtige Fluglotsen	Anomaloskop	Protanope (n = 4): alle haben Fehler beim Identifizieren von Farben (v. a. Unterscheidung zwischen rot und schwarz) auf ausgedruckten Flugstreifen gemacht Normalfarbsichtige (n = 3): alle haben keinen Fehler beim Identifizieren von Farben auf ausgedruckten Flugstreifen gemacht
BARBUR et al. (2009)	Anteil korrekter Antworten beim Unterscheiden schwarzer und roter Flugstreifen oder Markierungen, der Farbe von Schaltern	Protanope	Anomaloskop, D15, Dvorine, Farbtafeln	alle Protanopen (4) machten Fehler: 8-17 von 64 Flugstreifen, 7-16 von 38 Markierungen, 18-22 Fehler bei der Farbe von Schaltern
HEATH & SCHMIDT (1959)	Anteil korrekter Antworten beim Erkennen von roten, grünen, blauen, weißen und gelben Signalen vor unterschiedlichen Hintergründen und mit unterschiedlicher Leuchtdichte	Protanope, Protanomale, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Männer	Anomaloskop	Protanope (n = 4) erkannten weniger als 80 % der roten Signale als Protanomale (n = 3) und Normalfarbsichtige (n = 31)
KINNEY, PAULSON & BEARE (1979)	Anteil korrekter Antworten beim Erkennen von Farblichtern an Schiffen (rot, grün und weiß)	Protanope, Protanomale, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Männer	Anomaloskop	Protanope (n = 2): 68,6 % korrekte Farberkennung Protanomale (n = 26): zwischen 62,2 – 72,2 % korrekte Farberkennung Normalfarbsichtige (n = 24): 94,8 % korrekte Farberkennung
KUYK et al. (1986)	Anteil korrekter Antworten bei der Farberkennung bei den Aufgaben von Fluglotsen (ATCS)	Protogestörte und normalfarbsichtige Testpersonen	Dvorine Farbtafeln, Ishihara Farbtafeln, Farnworth Munsell 100 Hue, Panel D15	Protogestörte (n = 9) schnitten bei den Farberkennungsaufgaben durchschnittlich 72 %, 66 %, 45 % bzw. 43 % schlechter ab als Normalfarbsichtige (n = 78).
MERTENS (1990)	Fehlerquote bei der Farberkennung bei den Aufgaben von Fluglotsen (ATCS)	Protanope, protanomale, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Testpersonen	Anomaloskop	Protanope (n = 11): keiner hat alle vier ATCS-Farberkennungstests bestanden Protanomale (n = 10): keiner hat alle vier ATCS-Farberkennungstests bestanden Normalfarbsichtige (n = 31): nur einer hat einen der vier ATCS-Farberkennungstests nicht bestanden
MERTENS & MILBURN (1992)	Fehlerquote bei der Farberkennung bei den Aufgaben von Fluglotsen (ATCS)	Protanope, protanomale, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Testpersonen	Anomaloskop	Protanope (n = 18): keiner hat alle vier ATCS-Farberkennungstests bestanden Protanomale (n = 26): 2 haben alle vier ATCS-Farberkennungstests bestanden Normalfarbsichtige (n = 121): 8 haben einen der vier ATCS-Farberkennungstests nicht bestanden
MILBURN et al. (2014)	Anteil korrekter Antworten beim Unterscheiden von rotem und weißem Licht	Protogestörte, deuterogestörte, andere farbsinniggestörte und normalfarbsichtige Testpersonen	Dvorine Farbtafeln, Signal Light Gun Test, Cone Contrast Test	Alle Protogestörten (n = 11) gaben 100 % richtige Antworten (bei allen getesteten Lichtquellen. Von den Normalfarbsichtigen (n = 45) haben zwischen einer und fünf Personen (abhängig von der Lichtquelle) Fehler bei den Antworten gemacht.

Tab. 4-11: Zusammenfassung Ergebnisse Studien Fehlerquote

Autor, Jahr	Messparameter	Testpersonen	Diagnostik Farbsinnstörung	Ergebnis
MIYAO et al. (1993)	Fehlerquote bei der Erkennung roten und grünen Ampellichts in 8 m Entfernung	Protogestörte, deuterogestörte und normalfarbsichtige Jungen (7. Klasse)	Ishihara Farbtafeln, Panel D15, Anomaloskop	Erkennen eines grünen Ampellichts: Schwer Protogestörte 0/33 und leicht Protogestörte 0/41 Fehler Erkennen eines roten Ampellichts: Schwer Protogestörte 1/33 und leicht Protogestörte 6/41 Fehler
SLOAN & HABEL (1955)	Fehlerquote bei der Identifizierung von Farben (rot, grün und blau)	Protogestörte und normalfarbsichtige Testpersonen	Anomaloskop	Bis auf einen, hatte alle Protogestörten (n = 5) Probleme rotes und grünes Licht zu unterscheiden. Die Normalfarbsichtigen (n = 10) hatten keine Probleme rotes und grünes Licht zu unterscheiden.
STEEN, COLLINS & LEWIS (1973)	Fehlerquote beim Signal Light Gun-Test (Farberkennung von Lichtern aus einer Signallichtpistole), Fehlerquote	Protanope, Protanomale, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Männer	Anomaloskop	Protanope (n = 13): eine Testperson hat den Test bei Tag und Nacht bestanden Protanomale (n = 39): 28 haben den Test bei Tag und Nacht bestanden Normalfarbsichtige (n = 128): alle haben den Test bei Tag und Nacht bestanden
TAKAYANAGI, FURUTA & MIYAO (2014)	Fehlerquote beim Farbpaaartest (Erkennen von Farbpaaren)	Protane, deutane und normalsichtige Schüler mit Farbsehstörungen	Ishihara Test, Panel 15	Protogestörte (747): 0 Fehler (7), 1 Fehler (17), 2 Fehler (38), 3 Fehler (6), 4 Fehler (7)
VINGRYS & COLE (1993)	Anteil korrekter Antworten beim Identifizieren von Farben (rot, grün, weiß) in zwei Sets von überschwelligen Punkt-signalquellen	Protanope, Protanomale, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Testpersonen	Anomaloskop	Die Farben des einen Sets entsprechen den Vorgaben der Internationalen Beleuchtungskommission (Set 1) und die des anderen Sets nicht (Set 2). Protanope (n = 4): haben signifikant mehr Fehler als Protanomale und Normalfarbsichtige (n = 4) gemacht ( $p < 0.002$ ). Protanomale (n = 4): waren bei Set 1 signifikant besser als bei Set 2 ( $p < 0.05$ ). Normalfarbsichtige (n = 4)
WALRAVEN & LEEBEEK (1960)	Fehlerquote bei der Identifizierung von Farben	Protogestörte und normalfarbsichtige Testpersonen	Ishihara Farbtafeln und HRR Farbtafeln	Protogestörte (n = 11) machen mehr Fehler beim Identifizieren der Farben als Normalfarbsichtige (n = 8).

Tab. 4-11: Fortsetzung

Autor, Jahr	Messparameter	Testpersonen	Diagnostik Farbsinnstörung	Ergebnis
ATCHISON et al. (2003)	Reaktionszeit auf rotes, gelbes und grünes Licht	Protanope, protanomale, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Männer	Anomaloskop	<u>Rotes Licht</u> Protanope (n = 9): signifikant längere (35 %) Reaktionszeiten als Normalfarbsichtige (n = 20) <u>Gelbes Licht</u> Protanope (n = 9): signifikant längere (53 %) Reaktionszeiten als Normalfarbsichtige (n = 20) <u>Grünes Licht</u> Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen
GRAMBERG-DANIELSEN (1966)	Reaktionszeit auf die Signale einer Ampel	Protanope, protanomale, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Testpersonen	k. A.	Kein Unterschied der Reaktionszeiten zwischen Protanopen (n = 10) oder Protanomalen (n = 10) und Normalfarbsichtigen (n = 10), allerdings Abhängigkeit der Reaktionszeit vom Alter.
HOVIS, MILBURN & NESTHUS (2014)	Reaktionszeit auf das Signal einer roten LED bei Sauerstoffmangel	Protanope, protanomale, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Männer	Anomaloskop	Die mittleren Reaktionszeiten der Protanopen (n = 2) und Protanomalen (n = 2) waren kürzer (statistisch nicht signifikant) als die der Normalfarbsichtigen (n = 13).
KALBERER (1971)	Reaktionszeit auf rote Signale mit unterschiedlicher Leuchtdichte	Protanope und normalfarbsichtige Testpersonen	k. A.	Protanope (n = 2): bei Filterwerten bis 0,05 % wurden keine wesentlichen Unterschiede zu Normalfarbsichtigen (n = 12) gefunden, bei geringeren Helligkeiten steigen die Reaktionszeiten bei Protanopen stärker an (keine statistische Auswertung).
MERTENS, THACKRAY & TOUCHSTONE	Reaktionszeiten beim Erkennen von roten und grünen Symbolen auf einem Display	Protogestörte, deuterogestörte, und normalfarbsichtige Testpersonen	Anomaloskop	Bei den Protogestörten (n = 8) lag die durchschnittliche Zeit bis zum Entdecken von roten bzw. grünen Dreiecken bei 15,1 bzw. 13,1 Sekunden. Bei den Normalfarbsichtigen (n = 8) lag die durchschnittliche Zeit bis zum Entdecken von roten bzw. grünen Dreiecken bei 4,7 bzw. 11,8 Sekunden. Protogestörte waren durchschnittlich 10,4 Sekunden langsamer beim Entdecken von roten Dreiecken als Normalfarbsichtige.
PUN, BROWN & LUI (1986)	Reaktionszeiten auf das Signal einer roten LED mit Kontaktlinsen mit unterschiedlichen Tönungen	Protanope, protanomale, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Testpersonen	Anomaloskop	Im Durchschnitt haben Protanope (n = 2) eine 297 ms und Protanomale eine 138 ms längere Reaktionszeit als Normalfarbsichtige (n = 8) beim Signal mit der höchsten Leuchtdichte. Protanope und Protanomale hatten bei allen Leuchtdichten höhere Fehlerquoten als Normalfarbsichtige.
SCHOLZ et al. (1995)	Erkennen und Differenzieren von Objekten auf Sonarortungsgeräten in einer vorgegebenen Zeit	Protanope, protanomale, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Testpersonen	Anomaloskop	16,2 % der Protanopen (n = 21), 37,6 % der Protanomalen (n = 34) und 73,3 % der Normalfarbsichtigen (n = 46) erkannten die Objekte in der vorgegebenen Zeit.

Tab. 4-12: Zusammenfassung Ergebnisse Studien Reaktionszeiten

Autor, Jahr	Messparameter	Testpersonen	Diagnostik Farbsinnstörung	Ergebnis
BERGMAN & DUIJNHOUWER (1980)	Reaktionszeit und Fehlerquoten beim Identifizieren von Farben auf einem Display	Protanope, protanomale, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Männer	Anomaloskop	Protanope (n = 7): signifikant höhere ( $p < 0,05$ ) Fehlerquote (MW: 18.2 %) als Normalfarbsichtige (n = 28; MW: 7,1 %); signifikant längere ( $p < 0,05$ ) Reaktionszeiten (MW: 1,18 Sek.) als Normalfarbsichtige (n = 28; MW: 0,95 Sek.)
COLE & BROWN (1966)	Reaktionszeit und Fehlerquote beim Reagieren auf ein rotes Licht	Protanope und normalfarbsichtige Testpersonen	Anomaloskop	Protanope (n = 8): mit steigender Leuchtdichte des Signals nahm die Fehlerquote ab, benötigten etwa das Vierfache der Leuchtdichte für den verwendeten Rotfilter im Vergleich zu Normalfarbsichtigen (n = 11), längere Reaktionszeiten bei einigen Leuchtdichten im Vergleich zu Normalfarbsichtigen .
COLE & MACDONALD (1988)	Reaktionszeit und Anteil korrekter Antworten bei verschiedenen Aufgaben auf Fluginstrumentenanzeigen	Protanope, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Testpersonen	Anomaloskop	Protanope (n = 6): signifikant längere Reaktionszeiten bei Aufgabe 1, 2, 3 und 6 als bei Normalfarbsichtigen (n = 12), signifikant ( $p < 0,01$ ) höhere Fehlerquote bei Aufgabe 2, 3 und 4.
COLE, MADDOCKS & SHARPE (2004)	Reaktionszeit und Anteil korrekter Antworten beim Identifizieren von einer Raute zwischen anderen Formen	Protanope, protanomale, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Männer	Anomaloskop	Protanope (n = 7): signifikant langsamer als Normalfarbsichtige (n = 6) Protanomale (n = 7): signifikant langsamer als Normalfarbsichtige (n = 6) und signifikant schneller als Protanope.
DAIN, WOOD & ATCHISON (2009)	Reaktionszeit und Fehlerquoten beim Identifizieren von Verkehrszeichen mit unterschiedlichen Sonnenbrillentönungen	Protanope, protanomale, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Männer	Anomaloskop	Protanope (n = 9) und Protanomale (n = 15) hatten signifikant längere ( $p < 0,001$ ) Reaktionszeiten als Normalfarbsichtige (n = 20) mit allen Sonnenbrillentönungen. Protanope (n = 9) hatten signifikant höhere ( $p < 0,001$ ) Fehlerquoten als Normalfarbsichtige (n = 20) über alle Sonnenbrillentönungen hinweg.
GASKA et al. (2016)	Reaktionszeit und Anteil korrekter Antworten beim Identifizieren von farbigen Symbolen auf beleuchteten Cockpit Displays	Protogestörte, deuterogestörte und normalfarbsichtige Testpersonen	Rabin Cone Contrast Test (CCT)	Protogestörte (n = 18): langsamer ( $p = 0,013$ ) beim Identifizieren von farbigen Symbolen auf beleuchteten Cockpit Displays als Normalfarbsichtige (n = 45).
HUANG et al. (2003)	Reaktionszeit und Fehlerquote beim Identifizieren von Farben (rot und gelb) von Lichtsignalen	Protogestörte und normalfarbsichtige Männer	Ishihara Farbtafeln	Die Reaktionszeiten der Protogestörten (n = 3) waren länger als für die Normalfarbsichtigen (n = 3). Die Protogestörten (n = 3) machen mehr Fehler als die Normalfarbsichtigen (n = 3).
NATHAN, HENRY & COLE (1964)	Reaktionszeiten und Fehlerquote beim Erkennen von Verkehrslichtsignalen	Protanope, protanomale, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Männer	Anomaloskop	Protanope (n = 7) sind deutlich langsamer und machen bei mehreren Farben mehr Fehler als andere Farbsinngestörte und Normalfarbsichtige (n = 6).
RAMASWAMY & HOVIS (2009)	Reaktionszeit und Fehlerquote beim Identifizieren von Farben auf einem Display	Protanope, protanomale, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Testpersonen	Anomaloskop	Alle Protanopen (n = 5) haben mehr als zwei Fehler bei der ersten Session und mehr als einen Fehler bei der zweiten Session gemacht. Von den Protanomalen (n = 12) haben sechs mehr als zwei Fehler bei der ersten Session und mehr als einen Fehler bei der zweiten Session gemacht. Protanope (n = 5) brauchten durchschnittlich 10 % und Protanomale (n = 12) brauchten durchschnittlich 15 % länger als Normalfarbsichtige (n = 81).

Tab. 4-13: Zusammenfassung Ergebnisse Studien Reaktionszeiten und Fehlerquote



Autor, Jahr	Messparameter	Testpersonen	Diagnostik Farbsinnstörung	Ergebnis
HILLS (1972)	Erfassungs- und Lesbarkeitsabstand von Schildern und Leitposten	Protanomale und normalfarbsichtige Testpersonen	Anomaloskop	Bei dem Protanopen (n = 1) lag der mittlere Erfassungsabstand des Leitpostens ca. 20 % unteren dem von Normalfarbsichtigen (n = 4).
VERRIEST et al. (1978a)	Erfassungsabstand zu Verkehrszeichen (Teil 1)	Protogestörte, deuterogestörte und normalfarbsichtige Testfahrende	k. A.	Protogestörte (n = 9): haben signifikant ( $p < 0,01$ ) kürzere Erfassungsabstände zu Vorfahrtszeichen als Normalfarbsichtige (n = 20). Protogestörte (n = 9): haben signifikant ( $p < 0,001$ ) kürzere Erfassungsabstände zu Stoppzeichen als Normalfarbsichtige (n = 20). Protogestörte (n = 9): haben signifikant ( $p < 0,01$ ) kürzere Erfassungsabstände zu Warnzeichen als Normalfarbsichtige (n = 20).
VERRIEST et al. (1978b)	Erkennungsabstand und Fehlerquote beim Identifizieren der Signale von Verkehrsampeln und Rücklichtern (Teil 2)	Protanope, Protanomale, deuteranope, deuteranomale und normalfarbsichtige Testfahrende	k. A.	Protogestörte (n = 9): haben signifikant ( $p < 0,001$ ) durchschnittlich um 41 % kürzere Erfassungsabstände zu Verkehrsampeln (unabhängig ob rot, orange oder grün) als Normalfarbsichtige (n = 20). Protogestörte (n = 9): machen signifikant mehr Fehler beim Identifizieren des roten Ampellichts als Normalfarbsichtige (n = 20). Protogestörte (n = 9): haben signifikant ( $p < 0,001$ ) kürzere Erfassungsabstände zu Rücklichtern und machen signifikant mehr Fehler beim Identifizieren der Farbe der Rücklichter als Normalfarbsichtige (n = 20).

Tab. 4-14: Zusammenfassung Ergebnisse Studien Erfassungs-/Erkennungsabstand

Autor, Jahr	Messparameter	Testpersonen	Diagnostik Farbsinnstörung	Ergebnis
STEWART & COLE (1989b)	Einschätzung von Schwierigkeiten bei der Bewältigung von Alltagsaufgaben	Protogestörte, deuterogestörte und normalfarbsichtige Testpersonen	Anomaloskop	78 % der Protogestörten (n = 36) und kein Normalfarbsichtiger (n = 102) gaben an Schwierigkeiten bei der Farbauswahl von Sachen (z.B. Bekleidung, Möbel, Autos etc.) zu haben. 31 % der Protogestörten (n = 36) und kein Normalfarbsichtiger (n = 102) gaben an, Schwierigkeiten bei der Reifebestimmung von Früchten anhand ihrer Farbe zu haben. 33 % der Protogestörten (n = 36) und kein Normalfarbsichtiger (n = 102) gaben an, Schwierigkeiten bei Entscheidung ob Fleisch gar gekocht ist zu haben.

Tab. 4-15: Zusammenfassung Ergebnisse Studie Selbsteinschätzung

## 5 Fazit und Empfehlung

### 5.1 Prävalenz von Protanopie und Protanomalie bei Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen

Für diese Studie nutzbare Daten zu Farbsinnstörungen liegen weder Behörden, Versicherern, Berufsgenossenschaften, Krankenkassen oder Fachgesellschaften vor. Auch den Verkehrsbetrieben liegen Informationen zur Farbsichtigkeit der Mitarbeitenden nicht vor, da nach den rechtlichen Vorgaben jeder Bewerbende mit gültiger Fahrerlaubnis eingestellt werden kann. Gegebenenfalls haben Verkehrsunternehmen interne betriebliche Regeln oder sie beurteilen die Tätigkeitseignung nach dem Grundsatz G25 (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung 2010), wodurch protogestörten Personen vom Führen bestimmter Fahrzeuge (z. B. U-Bahnen) ausgeschlossen werden.

Zuverlässige Kenntnis über das Vorliegen einer Protanopie/Protanomalie liegen nur bei den betroffenen Personen selbst und bei dem ärztlichen Personal, das nach Anlage 5 und 6 der FeV untersucht, vor. Fahrerlaubnisbehörde oder Verkehrsunternehmen können lediglich Kenntnis durch Vorlage ärztlicher Bescheinigungen, in denen Protanopie/Protanomalie vermerkt wurde, erlangen. Umfassende, verwertbare Daten könnten nur bei den Kraftfahrern selbst erhoben oder von dem untersuchenden ärztlichen Personal (aufgrund der ärztlichen Schweigepflicht nur mit Zustimmung der untersuchten Person) weitergegeben werden.

In der Literatur wurden Studien zur Ermittlung der Prävalenz von Protanopie/Protanomalie in verschiedenen europäischen Ländern identifiziert und in einer Metaanalyse zusammengefasst. Die ermittelten durchschnittlichen Prävalenzwerte aus Kapitel 4.3 bestätigen die allgemein in der Literatur angegebenen Prävalenzen. Innerhalb der männlichen europäischen Bevölkerung sind ca. 1 % protanop und ca. 2 % protogestört, wohingegen die Prävalenzen bei Frauen in Europa deutlich unter 0,1 % liegen.

Diese Daten geben allerdings keinen expliziten Einblick in die Prävalenz unter Berufskraftfahrern. Lediglich zwei der Studien hatten „fast ausschließlich“ Berufskraftfahrer (GRAMBERG-DANIELSEN 1961) bzw. „Fahrer der Feuerwehr“ (GRAMBERG-DANIELSEN 1972b) untersucht. Zwar handelt es sich dabei um Studien aus Deutschland, jedoch liegen die Untersuchungen etwa 50 Jahre zurück.

Somit konnten keine abweichenden Prävalenzen von Protostörungen unter Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen nachgewiesen werden. Für die Hypothese, dass die Prävalenzen von Protostörungen unter Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen in Deutschland durch die vor 2011 geltenden Zulassungseinschränkungen gegebenenfalls niedriger sind als in der Allgemeinbevölkerung, existieren keine Daten. Zwar konnten Überlegungen zu Fragen der Berufswahl für Personen mit Farbsehstörungen identifiziert werden (CHAKRA-BARTI 2018), aber keine Untersuchungen dazu, ob Personen sich wegen ihrer Protostörung gegebenenfalls gegen die Laufbahn zum Berufskraftfahrer bzw. Berufskraftfahrerinnen entscheiden.

### 5.2 Unfallrisiko von protanopen/protanomalen Kfz-Führenden

Zahlen zu Unfallarten von Lkw- und Busführenden stehen über die amtliche Straßenverkehrsunfallstatistik zur Verfügung. Es liegen dort jedoch keine personenbezogenen Daten, die mit anderen Daten dieser Personen (insbesondere einer vorliegenden Farbsinnstörung) verknüpft werden könnten, vor. Daten zum Farbsehvermögen liegen auch nicht beim KBA vor. Über die Literaturrecherche wurden sechs Studien identifiziert, in denen Daten zum Unfallrisiko von Kfz-Führenden mit Protanopie/Protanomalie/Protostörung erhoben wurden.

Übergreifend lässt sich aus den gefundenen und betrachteten Studien zum Unfallrisiko eine Erhöhung des Unfallrisikos bei oder durch protanope, protanomale oder protogestörte Kfz-Führende statistisch nicht nachweisen.

#### 5.2.1 Anmerkungen zu den identifizierten Studien

In CASHELL (1970) konnte keine einzige Kfz-führende Person mit Protostörung identifiziert werden (weder unter den Verunfallten, noch in der Kontrollgruppe), sodass hier das *OR* auf 0 geschätzt wurde und eine Schätzung der *KI* nicht möglich war. Es ist bei den vorliegenden Prävalenzen auch zu erwarten, dass in einer solch kleinen Stichprobe von insgesamt 60 Kfz-Führenden nicht unbedingt ein Defekt auftritt. Die Ergebnisse der Studie blieben daher bei der Schätzung der gewichteten Mittelwerte im Rahmen der Metaanalyse unberücksichtigt.

Es sei angemerkt, dass in HAGER (1963) 81,0 % der Kfz-Führenden ohne Unfall und 68,1 % der Kfz-Führenden mit Unfall eingestuft wurden als „Alle Sehfunktionen intakt. Personen mit leichten Brechungsfehlern zugelassen.“ Außerdem fanden sich 5,4 % bzw. 8,5 % Einäugige in den beiden Gruppen.

Bei LACHENMAYR, BUSER & KELLER (1997) fällt auf, dass insgesamt 9 protanope Kfz-Führende unter den 754 Verunfallten, aber keine einzige protanope Person im Kontrollkollektiv aus 250 Personen ohne Unfall war.

MEYER (1976) hat als einzige der selektierten Studien keine Unfälle, sondern lediglich das Überfahren einer roten Ampel als Outcome gemessen. Sie wurde dennoch eingeschlossen, da das Outcome Unfall begünstigend ist.

In der „Dresdner Studie“ in NEUBAUER (1979), die im Rahmen eines Forschungsauftrages „Kompensationsmöglichkeiten der Rotblinden als Lenker von Kraftfahrzeugen im Straßenverkehr“ entstand, wurden die Unfälle neben den oben dargestellten Ergebnissen noch in ca. 30 weiteren Tabellen (nach beispielsweise Art oder Umständen differenziert) aufbereitet (immer mit Einteilung nach protanopen und protanomalen Unfallverursachern).

Hinsichtlich der Studie von GRAMBERG-DANIELSEN (1961) sei angemerkt, dass eine Kontrollgruppe normalfarbsichtiger Kfz-Führender zu Vergleichszwecken herangezogen wurde, jedoch in keiner Weise Daten zur Unfallhäufigkeit dieser Kontrollgruppe angegeben werden. Außerdem muss klar sein, dass dies keine Kontrollgruppe bezüglich des Outcomes, also Kfz-Führende ohne Unfall, ist, sondern eine Kontrollgruppe hinsichtlich der Exposition gemeint ist. Eine genauere Betrachtung der insgesamt 5 Unfälle, die in GRAMBERG-DANIELSEN (1961) genannt werden, zeigt:

- Bei einem der Unfälle „fuhr ein Protanoper bei Rot auf die Kreuzung und verursachte dort einen schweren Sachschaden“, allerdings heißt es dann weiter, dass sich „bei einem Lokaltermin zeigte, dass die Protanopie hierbei keine Rolle gespielt hatte“. Nichtsdestotrotz wurde dieser Unfall in der hiesigen Auswertung als Kraftfahrender mit Defekt und mit Unfall gezählt.
- Bei den verbleibenden 4 Unfällen (1 protanope Person, 3 protanomale Personen) handelt es sich um Auffahrunfälle, von denen sich aber 3

„statistisch nicht verwerten lassen“, da sie sich außerhalb des Studienrahmens ereigneten. Demnach wurde in der hiesigen Auswertung auch nur der eine verbleibende Unfall als Kraftfahrender mit Defekt und mit Unfall gezählt.

Im Übrigen stechen die Studien von HAGER (1963) und NEUBAUER (1979) aus den selektierten Studien heraus, da es sich bei ihrer jeweiligen Gruppe von Verunfallten um Unfallverursacher und nicht, wie in den anderen Studien, um Unfallbeteiligte handelt.

## 5.2.2 Einordnung der Ergebnisse

Daten bzw. Evidenz zur Beantwortung der Fragestellung II sind zum einen nur spärlich vorhanden und zum anderen schwer auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen. So konnte beispielsweise das mittlere Chancenverhältnis (Odds Ratio) nur für den Defekt Protostörung und lediglich über zwei Studien hinweg geschätzt werden. Das wiederum auch nur für die Population Kfz-Führende und nicht für Berufskraftfahrer/Berufskraftfahrerin. Analog zur Argumentation in Kapitel 5.1 kann demnach auch hier die Hypothese, dass explizit protanope Berufskraftfahrer bzw. Berufskraftfahrerinnen ein erhöhtes Unfallrisiko aufweisen, weder bestärkt noch entkräftigt werden.

Ein relatives Risiko (Risk Ratio), welches das zielführende Maß für die Beantwortung der Fragestellung gewesen wäre, konnte nicht berechnet werden (siehe Kapitel 3.3.3). Es sei jedoch angemerkt, dass im Falle seltener Ereignisse, das Chancenverhältnis als ein approximativer Schätzwert für das relative Risiko angesehen werden kann, weil sich die Nenner dann unwesentlich voneinander unterscheiden.

Die identifizierten Studien wurden zwischen 1961–1996 veröffentlicht und es ist zweifelhaft, ob die damaligen Bedingungen (z. B. Straßenverhältnisse, Verkehrsaufkommen, lichttechnische Ausstattung der Kfz, lichttechnische Anforderungen an die Verkehrszeichen usw.) mit heutigen Verhältnisse vergleichbar sind.

Zwei Querschnittsstudien aus den Jahren 2011 und 2016, die genau das Unfallrisiko von protogestörten Berufskraftfahrern untersucht haben, seien hier noch erwähnt. Diese wurden aufgrund ihres Durchführungsortes außerhalb Europas ausgeschlossen, könnten aber prinzipiell zielführend für weiterfüh-

rende Untersuchungen sein. ISAWUMI et al. (2011) ermittelten die Unfallhistorie und Prävalenz von Protanopie bei 99 männlichen Berufskraftfahrern in Nigeria und stellten keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Farbsehvermögen und Verwicklung in Verkehrsunfälle fest (Anzahlen gemäß Kreuztabelle in Bild 4-5: a = 2, b = 18, c = 3, d = 75). BOADI-KUSI et al. (2016) untersuchten 520 männliche Berufskraftfahrer in Ghana auf ihr Farbsehvermögen und befragten sie zu ihrer Unfallhistorie. In dieser Studie wurde ein Zusammenhang zwischen vorliegender Protostörung und erhöhtem Unfallrisiko festgestellt (Anzahlen gemäß Kreuztabelle in Bild 4-5: a = 9, b = 104, c = 8, d = 379). Es bleibt allerdings offen, inwieweit die örtlichen Bedingungen mit den europäischen bzw. deutschen Verhältnissen vergleichbar sind.

### 5.2.3 Kommentar zur scheinbaren Evidenz

Die Literatur vermittelt, insbesondere in ihren Schlussfolgerungen und Empfehlungen, die These, dass ein wissenschaftlicher Konsens zum erhöhten Unfallrisiko von Menschen mit Protostörungen existiert, welcher auf starken und reproduzierbaren bzw. reproduzierten wissenschaftlichen Ergebnissen basiert. Letztlich wurden in der Vergangenheit einschränkende Regelungen für Protogestörte zum Führen von Bussen und Lkw (z. B. Deutschland, Australien) erlassen. Tatsächlich wurde im Rahmen dieser Studie mit dem Evidenzgrad III (BURNS, ROHRICH & CHUNG (2011) gezeigt, dass kein erhöhtes Unfallrisiko nachweisbar ist. Es stellt sich also die Frage nach Herkunft der Diskrepanz zwischen der These, dass protogestörte Personen ein erhöhtes Unfallrisiko haben und ihrer Evidenzgrundlage.

Ein Beitrag dazu kommt von GRAMBERG-DANIELSEN (1961). Wie in Kapitel 5.2 hervorgehoben, wird von lediglich 4 Auffahrunfällen von protogestörten Kfz-Führenden berichtet, von denen sich allerdings 3 „statistisch nicht verwerten lassen“, da sie sich außerhalb des Studienrahmens ereigneten. Allerdings schreibt GRAMBERG-DANIELSEN (1961) in seiner Diskussion: „Die Auffahrunfälle der Protogestörten überraschen nicht, sie waren zu erwarten“. Die Ergebnisse werden trotz des eigenen Vermerks bezüglich der Nicht-Verwertbarkeit der 3 Auffahrunfälle und ohne weitergehende Erläuterungen diskutiert. In ihrem Review schreiben VINGRYS & COLE (1988) in Bezug auf diese Publikation:

„Diese Studie basiert auf kleinen Unfallstichproben und ergab keinen Unterschied in den für beide Gruppen gemeldeten Unfallhäufigkeiten. Trotzdem bemerkte GRAMBERG-DANIELSEN (1961), dass Protogestörte in der Straßenverkehrsbranche aufgrund ihrer verringerten Empfindlichkeit gegenüber rotem Licht stärker benachteiligt sind. Der Autor scheint diese Schlussfolgerung nicht auf seine Unfallanalyse zu stützen, sondern auf eine Reihe anderer Unfälle, auf die er im Verlauf seiner Untersuchung aufmerksam geworden ist und die in der Veröffentlichung anekdotisch wiedergegeben werden.“

Einen weiteren Beitrag liefert das Argument, dass protanope Kfz-Führende nahezu doppelt so viele Auffahrunfälle hätten wie Normalfarbsichtige. Dieses Argument wird in Reviews häufig angeführt. So schreibt beispielsweise CHARMAN (1997) „Protogestörte Personen scheinen fast doppelt so viele Auffahrunfälle zu haben wie Normalsichtige und Deuterogestörte“ und bezieht sich dabei auf zwei Publikationen.

Die erste dieser beiden Publikationen ist VERRIEST et al. (1980), welche sich wiederum hinsichtlich der zugrundeliegenden Daten direkt auf die „Dresdner Studie“ aus NEUBAUER (1979) bezieht. Bemerkenswert ist, dass in VERRIEST et al. (1980) zuerst geschlussfolgert wird:

„Das Hauptergebnis der Studie war, dass unter den 2.058 verfolgten Unfallfahrern (alle sorgfältig auf Farbsehen untersucht) die Farbsinnstörungen fast genau die gleichen Häufigkeiten aufwiesen, wie die, die unter der gesamten männlichen kaukasischen Bevölkerung von vielen Autoren ermittelt wurden. Mit anderen Worten, wir haben jetzt den endgültigen Beweis, dass farbdefekte Fahrer, entweder protogestört oder deuterogestört, nicht mehr Verkehrsunfälle haben als Menschen mit normalem Farbsehen.“

Das kongruiert mit dem Schluss, den wir aus der Auswertung der aus der „Dresdener Studie“ (NEUBAUER 1979) extrahierten Daten (siehe Kapitel 4.4.1) folgern. Erst in einem folgenden Abschnitt wird postuliert, dass unter den „14 verschiedene Arten von Unfällen [...] Protogestörte signifikant mehr Auffahrunfälle und Kollisionen zeigten als Normalfarbsichtige, da sie rote Heck-, Stopp- und Warnlichter übersahen“.

Die zweite dieser beiden Publikationen (VINGRYS & COLE 1988) beruft sich bezüglich der angeführ-

ten Verdopplung der Auffahrtsunfälle wiederum auf VERRIEST et al. (1980) und ist demnach hinsichtlich der Datengrundlage redundant. Am Rande sei angemerkt, dass in VINGRYS & COLE (1988) noch ein weiteres Mal von Auffahrunfällen die Rede ist, allerdings bezogen auf die Studie von ZEHNDER (1971), welche farbsinniggestörte (nicht nur protogestörte) mit normalfarbsichtigen Kfz-Führenden hinsichtlich der Häufigkeit 17 verschiedener Verkehrsverstöße je 100.000 km vergleicht und keinen signifikanten Unterschied fand.

Somit lässt sich argumentieren, dass CHARMAN (1997) hier ein verzerrtes Bild übermittelt durch die Argumentationstechnik des Rosinenpickens, also dem Anführen von Belegen, die eine Schlussfolgerung stützen und dem Weglassen von Belegen, die der Schlussfolgerung widersprechen. Er steht damit jedoch nicht allein, auch COLE (1993) stellt die Ergebnisse der „Dresdner Studie“ auf vergleichbare Weise dar und im Review von DOBBS (2005) wird ebenfalls VINGRYS & COLE (1988) als scheinbare zusätzliche, aber tatsächlich redundante Quelle genannt.

Eine durch mitgelieferten Kontext vertretbarere Darstellung der Ergebnisse zu den Auffahrunfällen aus der „Dresdner Studie“ finden sich auch, beispielsweise in den Reviews von New Zealand Health Technology Assessment (1998), RAMACHANDRAN, WILSON & WILSON (2014) und CHAN, GOH & TAN (2014). Letztere schreiben hierzu:

„Bezogen auf die Unfallraten berichteten Studien, dass Fahrer mit Farbsehschwäche nicht mehr Verkehrsunfälle hatten als normalfarbsichtige Fahrer (CUMBERLAND, RAHI & PECKHAM 2004; NORMAN 1960; TAGARELLI et al. 2004; VERRIEST et al. 1980). Protogestörte zeigten jedoch deutlich mehr Auffahrunfälle und Kollisionen als Normalfarbsichtige, wenn sie die roten Heck-, Stopp- und Warnlichter übersahen (VERRIEST et al. 1980). Kollisionen mit dem Heck eines vorausfahrenden Fahrzeuges schienen unter Protogestörten häufiger zu sein, da die roten Lichter des hinteren Endes für sie dunkler zu sein schienen, was zu einer verzögerten Wahrnehmung in schlecht beleuchteten Bereichen führte“ (CHAN, GOH & TAN 2014).

Es bleibt die Frage offen, was für eine praktische Relevanz es hat, ob protogestörte Kfz-Führende mehr Unfälle einer speziellen Unfallart verursachen, wenn die Gesamtanzahl aller Unfälle vergleich-

bar ist mit denen von Normalfarbsichtigen. Ein Argument für solch eine Relevanz wäre wohl, wenn es sich um eine Unfallart mit besonders fatalen Folgen handelte. In diesem Zusammenhang kann auch folgende Aussage von HAGER (1963) angebracht werden:

„Wir weisen an dieser Stelle besonders darauf hin, dass bei unseren Untersuchungen keine intensive Ursachenforschung angestellt wurde, da es u. E. nicht von ausschlaggebender Bedeutung ist, ob z. B. ein Farbenuntüchtiger im Straßenverkehr im einzelnen Falle tatsächlich eine Verkehrssampel verkannt hat und dadurch einen Unfall verursacht hat [...], sondern die Beantwortung der Frage wichtig erschien, ob im Straßenverkehr ein farbenuntüchtiger dem farhentüchtigen Kraftfahrzeugführer unterlegen ist.“

### 5.3 Erkennen/Reagieren protogestörter Personen auf rote Signale

Die Laborstudien zeigen eine Benachteiligung protogestörter gegenüber normalfarbsichtigen Personen sowohl für die spektrale Empfindlichkeit, für das Erkennen der roten Farbe, für die Reaktionszeit auf rote Signale, für den Erkennungsabstand und für die selbsteingeschätzte Bewältigung von Alltagsaufgaben. Die Laborstudien zeigen allerdings ebenfalls, dass es deutliche Tendenzen bezogen auf die Schwere der Rotsichtschwäche gibt. Zudem zeigen die Studienergebnisse, dass eine klare Trennung anhand ihrer Performance zwischen Protogestörten und Normalsichtigen nicht immer möglich ist.

Eine direkte Schlussfolgerung auf ein erhöhtes Unfallrisiko erscheint fraglich, da die Laborbedingungen nicht mit der Realität vergleichbar sind. Im Labor erfolgt einzig die Konzentration auf das rote Signal, während im Straßenverkehr diverse Informationsquellen und Signale ein umfassenderes Bild der Lage liefern. Zudem geben die Studien keinen Aufschluss darüber, inwieweit protogestörte Personen in der Lage sind, die Beeinträchtigung ihres Farbsehvermögens im Straßenverkehr zu kompensieren.

## 5.4 Bewertung der Relevanz für die Verkehrssicherheit

Die durchgeführten Forschungsarbeiten verfolgten das Ziel, eine Einschätzung zu Ausmaß und Relevanz von Protanopie und Protanomalie bei Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen für die Verkehrssicherheit zu erlangen. Für die Bearbeitung dieser Fragestellung wurden in Deutschland verfügbare Daten sowie Studien, die unter vergleichbaren Bedingungen durchgeführt wurden, recherchiert.

Es konnte keine Datengrundlage geschaffen werden, um eventuell abweichende Prävalenzen von Protostörungen unter Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen nachzuweisen. Die in verschiedenen europäischen Ländern in unterschiedlichen Bevölkerungsgruppen identifizierten Prävalenzen von Protanopie/Protanomalie bestätigen die allgemein verwendeten Werte von ca. 1 % protanoper und ca. 2 % protogestörter Männer sowie von deutlich unter 0,1 % für beide Protostörungen bei Frauen.

In einer übergreifenden Analyse von Studien zum Unfallrisiko protogestörter Personen und einer Bewertung der praktischen Relevanz der Studienergebnisse konnte statistisch keine Erhöhung des Unfallrisikos bei oder durch protanope oder protanomale Personen nachgewiesen werden, weder für das Unfallrisiko allgemein noch für das Risiko eines Auffahrunfalls, der als typisch für protogestörte Personen angesehen wird. Bis auf eine Studie, die 1996 veröffentlicht wurde, wurden die identifizierten Studien vor 1980 publiziert und sind gegebenenfalls nicht auf heutige Verhältnisse übertragbar. Die auf Basis dieser Studie ermittelten Daten bieten keine Grundlage für eine Rücknahme der im Rahmen der Harmonisierung des europäischen Rechts zum 01.07.2011 erfolgten Änderung der Anlage 6 FeV.

Es ist deutlich hervorzuheben, dass eine anerkannte Definition eines praktisch relevanten erhöhten Unfallrisikos fehlt, um ein solches im Falle einer Erhöhung abschließend zu bewerten. Außerdem weisen die geringen Prävalenzen von Protanopie und Protanomalie und der Anteil der Auffahrunfälle mit Personenschaden an den Gesamtunfällen mit Personenschaden (13,2 % bei Bussen und 23,4 % bei Lkw) auf die Relevanz der Problematik hin. Aus der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik für 2018 lässt sich ableiten, dass es unter der Annahme, dass Protanope kein erhöhtes Risiko eines Auffahrunfalls haben, geschätzt und aufgerundet 4 durch

protanope Busführende und 44 durch protanope Lkw-Führende verursachte Auffahrunfälle mit Personenschaden gegeben hat. Würde eine Verdoppelung des Unfallrisikos als praktisch relevant definiert sein, würde man demnach von etwa 7 Bus- bzw. 87 Lkw-Unfällen mit Personenschaden in Deutschland pro Jahr sprechen bei 2.628 von Bussen und 18.594 von Lkw insgesamt verursachten Unfällen mit Personenschaden.

Resümierend stellt sich eine Diskrepanz zwischen Schwere der Bedenken und entsprechender umfassender Untersuchung des Unfall- und/oder Verkehrsauffälligkeitsrisikos dar. Unabhängig von der schwierigen statistischen Absicherung eines erhöhten Unfallrisikos fehlen neuere Studien, die das weitere Umfeld und die heutigen technischen Standards berücksichtigen. Hier würde es sich anbieten, die Datenerhebung bei laufenden Forschungsvorhaben wie z. B. GIDAS (<https://gidas.org/willkommen/>) zu erweitern, um langfristig eine Datenbasis, die auch Wechselwirkungen mit anderen Faktoren analysieren lässt, zu schaffen.

## Literatur

- ADAMS, A. J. und TAGUE, M. K. (1985): Performance of Air Traffic Control Tasks by Protanopic Color Defectives. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 62(11), 744-750
- ATCHISON, D. A. et al. (2003): Traffic Signal Color Recognition Is a Problem for Both Protan and Deutan Color-Vision Deficients. *Human Factors*, 45(3), 495-503
- AUSTROADS (2016): Assessing Fitness to Drive for Commercial and Private Vehicle Drivers. Medical Standards for Licensing and Clinical Management Guidelines. Sydney, Australien. Abgerufen am 10. November 2020, von [https://austroads.com.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0022/104197/AP-G56-17\\_Assessing\\_fitness\\_to\\_drive\\_2016\\_amended\\_Aug2017.pdf](https://austroads.com.au/__data/assets/pdf_file/0022/104197/AP-G56-17_Assessing_fitness_to_drive_2016_amended_Aug2017.pdf)
- BARBUR, J. L. et al. (2009): Minimum Color Vision Requirements for Professional Flight Crew, Part III: Recommendations for New Color Vision Standards. Abgerufen am 09. November 2020, von [http://www.faa.gov/data\\_research/research/med\\_humanfacs/oamtechreports/2000s/media/200911.pdf](http://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2000s/media/200911.pdf)

- BAUMANN, W. und LACHENMAYR, B. (1995): Wahrnehmungsvermögen von Verkehrsteilnehmern mit Farbfehlsichtigkeit für rote Signallichter. Bericht zum Forschungsprojekt FP2.9133 der Bundesanstalt für Straßenwesen: Augenklinik der Universität München
- BERGMAN, H. und DUIJNHOUWER, F. (1980): Recognition of VDU Presented Colors by Color Defective Observers. *Human Factors*, 611-615
- BIRCH, J. (2012): Worldwide Prevalence of Red-Green Color Deficiency. *Journal of the Optical Society of America*, 29(3), 313-320
- BOADI-KUSI, S. B. et al. (2016): Visual Function among Commercial Vehicle Drivers in the Central Region of Ghana. *Journal of Optometry*, 9(1), 54-63
- BURNS, P. B., ROHRICH, R. J. und CHUNG, K. C. (2011): The Levels of Evidence and Their Role in Evidence-Based Medicine. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 128(1), 305-310
- CASHELL, G. T. (1970): Visual Function in Relation to Road Accidents. *Injury*, 2(1), 8-10
- CHAKRABARTI, S. (2018): Psychosocial Aspects of Colour Vision Deficiency: Implications for a Career in Medicine. *National Medical Journal of India*, 31(2), 86-96
- CHAN, X. B. V., GOH, S. M. S. und TAN, N. C. (2014): Subjects with Colour Vision Deficiency in the Community: What Do Primary Care Physicians Need to Know? *Asia Pacific Family Medicine*, 13(1), 10
- CHARMAN, W. N. (1997): Vision and Driving – a Literature Review and Commentary. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 17(5), 371-391
- COLE, B. L. (1972): The Handicap of Abnormal Colour Vision. *The Australian Journal of Optometry*, 55(8), 304-310
- COLE, B. L. (1993): Does Defective Colour Vision Really Matter? In: DRUM, B. (Hrsg.). *Colour Vision Deficiencies XI. Documenta Ophthalmologica Proceedings Series*. Dordrecht, Niederlande: Springer
- COLE, B. L. (2002): Protan Colour Vision Deficiency and Road Accidents. *Clinical & Experimental Optometry*, 85(4), 246-253
- COLE, B. L. (2004): The Handicap of Abnormal Colour Vision. *Clinical & Experimental Optometry*, 87(4-5), 258-275
- COLE, B. L. (2016): Colour Blindness and Driving. *Clinical & Experimental Optometry*, 99(5), 484-487
- COLE, B. L. und BROWN, B. (1966): Optimum Intensity of Red Road-Traffic Signal Lights for Normal and Protanopic Observers. *Journal of the Optical Society of America*, 56(4), 516-522
- COLE, B. L. und MACDONALD, W. A. (1988): Defective Colour Vision Can Impede Information Acquisition from Redundantly Colour-Coded Video Displays. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 8(2), 198-210
- COLE, B. L. und MADDOCKS, J. D. (1995): Protans and PAPI: Recognition of a two colour code by persons with defective colour vision. In: DRUM, B. et al. (Hrsg.). *Colour Vision Deficiencies XII. Documenta Ophthalmologica Proceedings Series*. Dordrecht, Niederlande: Springer
- COLE, B. L., MADDOCKS, J. D. und SHARPE, K. (2004): Visual Search and the Conspicuity of Coloured Targets for Colour Vision Normal and Colour Vision Deficient Observers. *Clinical & Experimental Optometry*, 87(4-5), 294-304
- COLE, B. L. und VINGRYS, A. J. (1982): A Survey and Evaluation of Lantern Tests of Color Vision. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 59(4), 346-374
- COLE, B. L. und VINGRYS, A. J. (1983): Do Protanomals Have Difficulty Seeing Red Lights? *Proc CIE 20th Session, Amsterdam, 1983. Guideline 56, E04, CIE Paris*, 1, 3
- CRONE, R. A. (1968): Incidence of Known and Unknown Colour Vision Defects. A Study of 6526 Secondary School Pupils in Amsterdam. *Ophthalmologica*, 155(1), 37-55
- CUMBERLAND, P., RAHI, J. S. und PECKHAM, C. S. (2004): Impact of Congenital Colour Vision Deficiency on Education and Unintentional Injuries: Findings From the 1958 British Birth Cohort. *British Medical Journal*, 329(7474), 1074-1075
- DAIN, S. J., WOOD, J. M. und ATCHISON, D. A. (2009): Sunglasses, Traffic Signals, and Color Vision Deficiencies. *Optometry and Vision Science*, 86(4), E296-E305

- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2010): Leitfaden für Betriebsärzte zur Anwendung des G 25. DGUV-Grundsatz „Fahr-, Steuer und Überwachungstätigkeiten“. Abgerufen am 10. November 2020, von <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/2092>
- DOBBS, B. M. (2005): Medical Conditions and Driving: A Review of the Literature (1960-2000). U.S. Department of Transportation. Abgerufen am 09. November 2020, von [https://icsw.nhtsa.gov/people/injury/research/medical\\_condition\\_driving/pages/Sec1-Intro.htm](https://icsw.nhtsa.gov/people/injury/research/medical_condition_driving/pages/Sec1-Intro.htm)
- DOG (2019): Fahreignungsbegutachtung für den Straßenverkehr. Empfehlung der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft (DOG) und des Berufsverbandes der Augenärzte Deutschlands (BVA) Anleitung für die augenärztliche Untersuchung und Beurteilung der Eignung zum Führen von Kraftfahrzeugen. Abgerufen am 09. November 2020, von [https://www.dog.org/wp-content/uploads/2019/03/DOG-BVA\\_Fahreignungsbegutachtung\\_2019\\_web.pdf](https://www.dog.org/wp-content/uploads/2019/03/DOG-BVA_Fahreignungsbegutachtung_2019_web.pdf)
- Driver & Vehicle Licensing Agency (2020): Assessing Fitness to Drive. A Guide for Medical Professionals. Swansea, UK. Abgerufen am 10. November 2020, von [www.gov.uk/dvla/fitness-to-drive](http://www.gov.uk/dvla/fitness-to-drive)
- FEIG, K. und ROPERS, H.-H. (1978): On the Incidence of Unilateral and Bilateral Colour Blindness in Heterozygous Females. *Human Genetics*, 41(3), 313-323
- FREY, R. (1977): Farbenuntüchtigkeit und Kraftfahreignung. 3. Internationaler Verkehrs- und Kraftfahrtmedizinischer Kongress
- GASKA, J. P. et al. (2016): Color Vision and Performance on Color-Coded Cockpit Displays. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 87(11), 921-927
- GODIN, K. et al. (2015): Applying Systematic Review Search Methods to the Grey Literature. A Case Study Examining Guidelines for School-Based Breakfast Programs in Canada. *Systematic Reviews*, 4, 138
- GRAMBERG-DANIELSEN, B. (1961): Untersuchungen über die Unfallhäufigkeit von Farbenuntüchtigen im Straßenverkehr. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 139, 677-682
- GRAMBERG-DANIELSEN, B. (1966): Die Farbpfindungszeitschwelle der Farbsinn-gestörten im Verkehr. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 149(5), 745-750
- GRAMBERG-DANIELSEN, B. (1967): Die Abhängigkeit der Sehschärfe der Farbsinn-gestörten von der Lichtfarbe. *Albrecht von Graefes Archiv für klinische und experimentelle Ophthalmologie*, 173(3), 256-260
- GRAMBERG-DANIELSEN, B. (1972a): Die Beeinflussung der optischen Information des Kraftfahrers durch Wärmedämmgläser. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 18(3), 175-181
- GRAMBERG-DANIELSEN, B. (1972b): Zur Bedeutung der Farbenuntüchtigkeit im Straßenverkehr. *Deutsche medizinische Wochenschrift* (1946), 97(6), 206-208
- GRAMBERG-DANIELSEN, B. (1974): Die Spektrumsverkürzung als Kriterium der Fahreignung. Beschreibung einer neuen Methode. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 20(3), 198-202
- HAGER, G. (1963): Das Sehorgan und das Unfallgeschehen im Straßenverkehr. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 142, 427-433
- HARTMANN, E. (1977): Sehleistung und Verkehrssicherheit. *Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Präventivmedizin*, 12(9), 193-195
- HEATH, G. G. und SCHMIDT, I. (1959): Signal Color Recognition by Color Defective Observers. *American Journal of Optometry and Archives of American Academy of Optometry*, 36, 421-427
- HEINSIUS, E. (1975): Die Grenzen zwischen den drei Formen der Trichromasie bei der Untersuchung am Anomaloskop. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 166(1), 87-94
- HIGGINS, J.; J. Thomas (2020): *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Version 6.1. Cochrane. Abgerufen am 10. November 2020, von <https://training.cochrane.org/handbook/current>
- HILLS, B. L. (1972): Measurements of the Night-Time Visibility of Signs and Delineators on an Australian Rural Road. *Australian Road Research*, 4(10), 39-56



- HOVIS, J. K., MILBURN, N. J. und NESTHUS, T. E. (2014): Protan Response Times to Red Lights in a Mildly Hypoxic Environment. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 85(11), 1078-1085
- HUANG, M. K. et al. (2003): Detection and Identification of Light-Emitting Diode Traffic Signals by Protan Observers. *Transportation Research Record*, 1844(1), 52-58
- International Commission on Illumination (2001): *International Recommendations for Colour Vision Requirements for Transport*. Wien, Österreich. (CIE 143-2001)
- ISAWUMI, M. A. et al. (2011): Ocular Status of Commercial Drivers in Osun State, Nigeria. *African Journal of Medicine & Medical Sciences*, 40(4), 405-411
- KALBERER, M. (1971): Zur Bedeutung von Farbensinnstörungen im Strassenverkehr. *Ophthalmologica*, 163(3), 171-177
- KINNEAR, P. R. (1986): Spectral Sensitivity for Observers with Protanomalous, Extreme Protanomalous and Protanopic Colour Vision. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 6(2), 197-200
- KINNEY, J. A., PAULSON, H. M. und BEARE, A. N. (1979): The Ability of Color Defectives to Judge Signal Lights at Sea. *Journal of the Optical Society of America*, 69(1), 106-110
- KOLIOPOULOS, J. et al. (1976): Data Concerning Colour Vision Deficiencies Amongst 29,985 Young Greeks. *Modern Problems in Ophthalmology*, 17, 161-164
- KUYK, T. K. et al. (1986): The Ability of Protan Color Defectives to Perform Color-Dependent Air Traffic Control Tasks. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 63(7), 582-586
- LACHENMAYR, B. (2008): *Begutachtung in der Augenheilkunde*. 1. Aufl. Heidelberg: Springer Medizin Verlag
- LACHENMAYR, B. (2012): Zulassung von Protanopen und hochgradig Protanomalen zur Fahrgastbeförderung: Ein Schnellschuss des Gesetzgebers. *Zeitschrift für Praktische Augenheilkunde*, 33, 116-118
- LACHENMAYR, B., BUSER, A. und KELLER, O. (1997): *Sehstörungen als Unfallursache*. 2. Aufl. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, M 65. Bergisch Gladbach
- LACHENMAYR, B. und FREISSLER, G. (2011): Stellungnahme der DOG und des BVA zur Änderung der Fahrerlaubnisverordnung (FeV) vom Dezember 2010. *Der Ophthalmologe*, 108(3), 296-298
- MANTYJÄRVI, M. (1991): Velhagen Pflügertrident Pseudoisochromatic Plates in Screening Congenital Red-Green Vision Defects. *Albrecht von Graefes Archiv für klinische und experimentelle Ophthalmologie*, 229(2), 145-146
- MERTENS, H. W. (1990): Evaluation of Functional Color Vision Requirements and Current Color Vision Screening Tests for Air Traffic Control Specialists. Final Report: Federal Aviation Administration. Abgerufen am 10. November 2020, von <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/21312>
- MERTENS, H. W. und MILBURN, N. J. (1992): Performance of Color-Dependent Tasks of Air Traffic Control Specialists as a Function of Type and Degree of Color Vision Deficiency. Final Report: Federal Aviation Administration. Abgerufen am 10. November 2020, von <https://trove.nla.gov.au/work/5708222?q&versionId=6637385>
- MERTENS, H. W., THACKRAY, R. I. und TOUCHSTONE, M.: Effects of Color Vision Deficiency on Detection of Color-Highlighted Targets in a Simulated Air Traffic Control Display. Final Report: Federal Aviation Administration. Abgerufen am 10. November 2020, von <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/21358>
- MEYER, P. (1976): *Farbensinn und Verkehrsampel*. Schweizerische Rundschau für Medizin Praxis, 65(37), 1123-1129
- MILBURN, N. J. et al. (2014): Usability of Light-Emitting Diodes in Precision Approach Path Indicator Systems by Individuals With Marginal Color Vision. Final Report: Federal Aviation Administration, von <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/27427>
- MIYAO, M. et al. (1993): Color-Blindness and Recognition of Traffic Signals. *Archives Public Health*, 51, 517-528
- MOHER, D. et al. (2015): Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols (PRISMA-P) 2015 Statement. *Systematic Reviews*, 4(1), 1-9

- NATHAN, J., HENRY, G. H. und COLE, B. L. (1964): Recognition of Colored Road Traffic Light Signals by Normal and Color-Vision-Defective Observers. *Journal of the Optical Society of America*, 54(8), 1041-1045
- NELSON, J. H. (1938): Anomalous Trichromatism and Its Relation to Normal Trichromatism. *Proceedings of the Physical Society*, 50(5), 661-702
- NEUBAUER, O. (1979): *Kompensationsmöglichkeiten der Rotblinden als Lenker von Kraftfahrzeugen im Straßenverkehr*. Wien, Österreich: Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz
- New Zealand Health Technology Assessment (1998): *Colour Vision Screening. A Critical Appraisal of the Literature*. NZHTA Report 7. Abgerufen am 10. November 2020, von <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK67394/>
- NORMAN, L. G. (1960): Medical Aspects of Road Safety. *The Lancet*, 275(7133), 1039-1045
- NZ Transport Agency (2018): *Vision and Driving. Factsheet 25*. Palmerston North, Neuseeland. Abgerufen am 10. November 2020, von <https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/factsheets/25/docs/25-vision.pdf>
- PLANTA, P. von (1928): Die Häufigkeit der angeborenen Farbensinnstörungen bei Knaben und Mädchen und ihre Feststellung durch die üblichen klinischen Proben. *Albrecht von Graefes Archiv für klinische und experimentelle Ophthalmologie*(120), 253-281
- POOLE, C. J. et al. (1997): Deficient Colour Vision and Interpretation of Histopathology Slides: Cross Sectional Study. *British Medical Journal*, 315(7118), 1279-1281
- PUN, H. W., BROWN, M. und LUI, R. (1986): Tinted Contact Lenses Slow Reaction Time in Colour Defective Observers. *Clinical & Experimental Optometry*, 69(6), 213-218
- RAMACHANDRAN, N., WILSON, G. A. und WILSON, N. (2014): Is Screening for Congenital Colour Vision Deficiency in School Students Worthwhile? A Review. *Clinical & Experimental Optometry*, 97(6), 499-506
- RAMASWAMY, S. und HOVIS, J. K. (2009): Do Color-Deficient Observers Take Longer to Complete a Color-Related Task? *Optometry and Vision Science*, 86(8), 964-970
- ROGOSIĆ, V. et al. (2003): Frequency of Congenital Dyschromatopsias in Male Population of the Split-Dalmatian County in Croatia. *Arhiv Za Higijenu Rada I Toksikologiju*, 54(1), 1-4
- SCHOLZ, R. et al. (1995): Recognition Performance of Subjects with Color-Vision Deficiencies on a Polychromatic Sonar Screen for Ship Navigation. *German Journal of Ophthalmology*, 4(2), 103-106
- SHARPE, L. T. et al. (2001): *Opsin Genes, Cone Photopigments, Color Vision, and Color Blindness*. In: GEGENFURTNER, K. R. and SHARPE, L. T. (Hrsg.). *Color Vision: From Genes to Perception*. Cambridge: University Press
- SLOAN, L. L. und HABEL, A. (1955): Color Signal Systems for the Red-Green Color Blind. An Experimental Test of the Three-Color Signal System Proposed by Judd. *Journal of the Optical Society of America*, 45(8), 592-598
- STEEN, J. A., COLLINS, W. E. und LEWIS, M. F. (1973): Utility of Several Clinical Tests of Color-Defective Vision in Predicting Daytime and Nighttime Performance With the Aviation Signal Light Gun. *Aerospace Medicine*, 45(5), 467-472
- STEWART, J. M. und COLE, B. L. (1989a): Incidence of Congenital Colour Vision Defects in an Australian Optometric Population. In: DRUM, B. and VERRIEST, G. (Hrsg.). *Colour Vision Deficiencies IX*. Dordrecht, Niederlande: Springer
- STEWART, J. M. und COLE, B. L. (1989b): What Do Color Vision Defectives Say About Everyday Tasks? *Optometry and Vision Science*, 66(5), 288-295
- Swiss Academic Software, 2020: *Citavi Version 6.6 [Software]*: Swiss Academic Software
- TAGARELLI, A. et al. (2004): Colour Blindness in Everyday Life and Car Driving. *Acta Ophthalmologica*, 82(4), 436-442
- TAKAYANAGI, Y., FURUTA, M. und MIYAO, M. (2014): Color Sense Test for Job and Learning Ability. *Forma*(29), S3-S15
- TAYLOR, W. O. (1971): Effects on Employment of Defects in Colour Vision. *The British Journal of Ophthalmology*, 55(11), 753-760

- TREGGAR, S. et al. (2008): Vision and Commercial Motor Vehicle Driver Safety. Volume 1: Evidence Report
- van RIJN, L. J.: New Standards for the Visual Functions of Drivers. Report of the Eyesight Working Group. Brüssel, Belgien. Abgerufen am 09. November 2020, von [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/pdf/behavior/new\\_standards\\_final\\_version\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/behavior/new_standards_final_version_en.pdf)
- VERBEEK, J., RUOTSALAINEN, J. und HOVING, J. L. (2012): Synthesizing Study Results in a Systematic Review. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 38(3), 282-290
- VERRIEST, G. et al. (1978a): An Experimental Study Comparing the Visual Performances of Normal and Congenitally Colour Defective Drivers in the Recognition of Road Safety Targets. Part I. Introduction and First (1977) Series of Experiments. *Aspects Techniques de la Securite Routiere*, 12(70), 2-10
- VERRIEST, G. et al. (1978b): An Experimental Study Comparing the Visual Performances of Normal and Congenitally Colour Defective Drivers in the Recognition of Road Safety Targets. Part II. Second (1978) Series of Experiments. *Aspects Techniques de la Securite Routiere*, 12(70), 11-26
- VERRIEST, G. et al. (1980): New Investigations Concerning the Relationships Between Congenital Colour Vision Defects and Road Traffic Security. *International Ophthalmology*, 2(2), 87-99
- VINGRYS, A. J. und COLE, B. L. (1988): Are Colour Vision Standards Justified for the Transport Industry? *Ophthalmic & Physiological Optics*, 8(3), 257-274
- VINGRYS, A. J. und COLE, B. L. (1993): The Ability of Colour Defective Observers to Recognise an Optimised Set of Red, Green and White Signal Lights. In: DRUM, B. (Hrsg.). *Colour Vision Deficiencies XI. Documenta Ophthalmologica Proceedings Series*. Dordrecht, Niederlande: Springer
- VRIES-DE MOL, E. C. und WENT, L. N. (1978): Frequencies of Different Types of Colour Vision Defects in the Netherlands. *Human Heredity*, 28(4), 301-316
- WAALER, G. H. M. (1927): Über die Erblichkeitsverhältnisse der verschiedenen Arten von angeborener Rotgrünblindheit. *Zeitschrift für induktive Abstammungs- und Vererbungslehre*, 45(1), 279-333
- WALRAVEN, P. L. und LEEBEEK, H. L. (1960): Recognition of Color Code by Normals and Color Defectives at Several Illumination Levels. An Evaluation Study of the H.R.R. Plates. *American Journal of Optometry and Archives of American Academy of Optometry*, 37, 82-92
- WANG, Z. et al. (2019): A Systematic Review: Tools for Assessing Methodological Quality of Human Observational Studies (Entwurf). Abgerufen am 10. November 2020, von [https://www.nhmrc.gov.au/sites/default/files/documents/attachments/DRAFT%20Tools%20for%20assessing%20methodological%20quality%20of%20observational%20studies\\_1.pdf](https://www.nhmrc.gov.au/sites/default/files/documents/attachments/DRAFT%20Tools%20for%20assessing%20methodological%20quality%20of%20observational%20studies_1.pdf)
- WHILLANS, M. G. (1979): Colour-Blind Drivers of Motor Vehicles. *Canadian Medical Association Journal*, 121(4), 406
- WHILLANS, M. G. (1983): Colour-Blind Drivers' Perception of Traffic Signals. *Canadian Medical Association Journal*, 128(10), 1187-1189
- WHILLANS, M. G. (1989): False Dogma About Drivers With Poor Colour Vision. *Canadian Medical Association Journal*, 140(1), 12-13
- WHILLANS, M. G. (1993): Colour-Blind Drivers and Traffic Signals. *Canadian Medical Association Journal*, 149(11), 1630
- WHILLANS, M. G. und ALLEN, M. J. (1992): Color Defective Drivers and Safety. *Optometry and Vision Science*, 69(6), 463-466
- WIELAND, M. (1933): Untersuchungen über Farbenschwäche bei Konduktorinnen. *Albrecht von Graefes Archiv für klinische und experimentelle Ophthalmologie*, 130(4), 441-462
- ZEHNDER, E. (1971): Die Bewährung farbensinn-gestörter Motorfahrzeuglenker im Verkehr. *Schweizerische medizinische Wochenschrift*, 101(15), 530-537
- Zentrales Fahrerlaubnisregister (2016): Anzahl der Personen im ZFER mit eingetragener Auflage 95 am 1. Januar 2016 nach Fahrerlaubnisklassen und Ablauf des Befähigungsnachweises. Abgerufen am 22. September 2020, von [https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftfahrer/Fahrerlaubnisse/Berufskraftfahrer/bkf\\_thema\\_im\\_Ueberblick/fe\\_berufskraftfahrer\\_tabelle2.html?nn=2525894](https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftfahrer/Fahrerlaubnisse/Berufskraftfahrer/bkf_thema_im_Ueberblick/fe_berufskraftfahrer_tabelle2.html?nn=2525894)

## Bilder

- Bild 3-1: Absolute Häufigkeiten der unterschiedlichen Kontaktquellen
- Bild 3-2: Absolute Häufigkeiten der unterschiedlichen Arten des Erstkontakts
- Bild 3-3: Absolute Häufigkeiten der Reaktion auf den Erstkontakt
- Bild 3-4: Absolute Häufigkeiten der unterschiedlichen Arten der Antworten
- Bild 3-5: Kreuztabelle mit visueller Darstellung der Exposition und des Outcomes
- Bild 4-1: Flow-Chart mit Angaben zur Anzahl der identifizierten Publikationen
- Bild 4-2: Schematische Darstellung über Kenntnis/Dokumentation einer Farbsinnstörung
- Bild 4-3: Ergebnisübersicht Prävalenz bei Männern (\*aus BIRCH [2012], \*\*aus NELSON [1938])
- Bild 4-4: Ergebnisübersicht Prävalenz bei Frauen
- Bild 4-5: Anteil Personen mit Defekt unter männlichen Kfz-Führenden mit Unfall samt 95%-KI
- Bild 4-6: Anteil Personen mit Defekt unter Kfz-Führenden mit Unfall samt 95%-KI
- Bild 4-7: Unfallrisiko von männlichen Kfz-Führenden mit Defekt samt 95%-KI
- Bild 4-8: Unfallchancenverhältnis von Kfz-Führenden mit Defekt vs. ohne Defekt samt 95%-KI

## Tabellen

- Tab. 2-1: Klassifizierung der angeborenen Farbsinnstörungen
- Tab. 2-2: Definition der Fahrzeugklassen (vgl. § 6 Abs. 1 FeV)
- Tab. 2-3: Anzahl der Personen mit eingetragener Schlüsselzahl 95 am 1. Januar 2016 (ZFER)
- Tab. 3-1: Schlüsselemente und Kriterien zur Definition der Suchfrage
- Tab. 3-2: Übersicht über die durchsuchten Literatur-Datenbanken
- Tab. 3-3: Definition der Suchgleichungen bzw. Suchbegriffe für Suchbereich 1
- Tab. 3-4: Kombination der Sets in den einzelnen Abfragen
- Tab. 3-5: Definition der Suchbegriffe für Suchbereich 2
- Tab. 3-6: Kombination der Suchbegriffe in den einzelnen Abfragen
- Tab. 3-7: Übersicht über die Institutionen, deren Webseiten systematisch durchsucht wurden.
- Tab. 3-8: Einschlusskriterien
- Tab. 3-9: Ausschlussgründe
- Tab. 3-10: Extrahierte Daten aus den eingeschlossenen Studien
- Tab. 3-11: Bewertungskriterien für die Studien zum Unfallrisiko
- Tab. 4-1: Eingeschlossene Studien zur Prävalenz
- Tab. 4-2: Eingeschlossene Studien zum Unfallrisiko
- Tab. 4-3: Ergebnisse der Studienbewertung
- Tab. 4-4: Eingeschlossenen Studien zum Erkennen/Reagieren auf rote Objekte/Signale
- Tab. 4-5: Zusammenfassung der Ergebnisse der Datenrecherche
- Tab. 4-6: Unfallrisiko geschätzt aus Gesamtanzahl (BA) und Anzahl mit Unfall (BASt)

- Tab. 4-7: Ergebnis der Metaanalyse zur Prävalenz von Protanopie/Protanomalie/Protostörung
- Tab. 4-8: Übersicht zu den selektierten Publikationen zur Unfallhäufigkeit bei Kz-Führenden
- Tab. 4-9: Messparameter eingeschlossener Studien zum Erkennen/Reagieren
- Tab. 4-10: Zusammenfassung Ergebnisse Studien spektrale Empfindlichkeit
- Tab. 4-11: Zusammenfassung Ergebnisse Studien Fehlerquote
- Tab. 4-12: Zusammenfassung Ergebnisse Studien Reaktionszeiten
- Tab. 4-13: Zusammenfassung Ergebnisse Studien Reaktionszeiten und Fehlerquote
- Tab. 4-14: Zusammenfassung Ergebnisse Studien Erfassungs-/Erkennungsabstand
- Tab. 4-15: Zusammenfassung Ergebnisse Studie Selbsteinschätzung

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Mensch und Sicherheit“

#### 2017

M 271: **Evaluation der Kampagnenfortsetzung 2013/2014 „Runter vom Gas!“**  
Klimmt, Geber, Maurer, Oschatz, Sülflow € 14,50

M 272: **Marktdurchdringung von Fahrzeugsicherheitssystemen 2015**  
Gruschwitz, Hölscher, Raudszus, Zlocki € 15,00

M 273: **Verkehrswahrnehmung und Gefahrenvermeidung – Grundlagen und Umsetzungsmöglichkeiten in der Fahranfängervorbereitung**  
TÜV | DEKRA arge tp 21 € 22,00

M 273b: **Traffic perception and hazard avoidance – Foundations and possibilities for implementation in novice driver preparation**  
Bredow, Brünken, Dressler, Friedel, Genschow, Kaufmann, Malone, Mörl, Rüdell, Schubert, Sturzbecher, Teichert, Wagner, Weiße  
Dieser Bericht ist die englische Fassung von M 273 und liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 274: **Fahrschulüberwachung in Deutschland – Gutachten im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen**  
Sturzbecher, Bredow  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 275: **Reform der Fahrlehrerausbildung**  
Teil 1: **Weiterentwicklung der Fahrlehrerausbildung in Deutschland**  
Teil 2: **Kompetenzorientierte Neugestaltung der Qualifizierung von Inhabern/verantwortlichen Leitern von Ausbildungsfahrschulen und Ausbildungsfahrlehrern**  
Brünken, Leutner, Sturzbecher  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 276: **Zeitreihenmodelle mit meteorologischen Variablen zur Prognose von Unfallzahlen**  
Martensen, Diependaele € 14,50

#### 2018

M 277: **Unfallgeschehen schwerer Güterkraftfahrzeuge**  
Panwinkler € 18,50

M 278: **Alternative Antriebstechnologien: Marktdurchdringung und Konsequenzen für die Straßenverkehrssicherheit**  
Schleh, Bierbach, Piasecki, Pöppel-Decker, Schönebeck  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 279: **Psychologische Aspekte des Einsatzes von Lang-Lkw – Zweite Erhebungsphase**  
Glaser, Glaser, Schmid, Waschulewski  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 280: **Entwicklung der Fahr- und Verkehrskompetenz mit zunehmender Fahrerfahrung**  
Jürgensohn, Böhm, Gardas, Stephani € 19,50

M 281: **Rad-Schulwegpläne in Baden-Württemberg – Begleit-evaluation zu deren Erstellung mithilfe des WebGIS-Tools**  
Neumann-Opitz € 16,50

M 282: **Fahrverhaltensbeobachtung mit Senioren im Fahrsimulator der BASt Machbarkeitsstudie**  
Schumacher, Schubert € 15,50

M 283: **Demografischer Wandel – Kenntnisstand und Maßnahmenempfehlungen zur Sicherung der Mobilität älterer Verkehrsteilnehmer**  
Schubert, Gräcman, Bartmann € 18,50

M 284: **Fahranfängerbefragung 2014: 17-jährige Teilnehmer und 18-jährige Nichtteilnehmer am Begleiteten Fahren – Ansatzpunkte zur Optimierung des Maßnahmenansatzes „Begleitetes Fahren ab 17“**  
Funk, Schrauth € 15,50

M 285: **Seniorinnen und Senioren im Straßenverkehr – Bedarfsanalysen im Kontext von Lebenslagen, Lebensstilen und verkehrssicherheitsrelevanten Erwartungen**  
Holte € 20,50

M 286: **Evaluation des Modellversuchs AM 15**  
Teil 1: **Verkehrsbewährungsstudie**  
Kühne, Dombrowski  
Teil 2: **Befragungsstudie**  
Funk, Schrauth, Roßnagel € 29,00

M 287: **Konzept für eine regelmäßige Erhebung der Nutzungshäufigkeit von Smartphones bei Pkw-Fahrern**  
Kathmann, Scotti, Huemer, Mennecke, Vollrath  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 288: **Anforderungen an die Evaluation der Kurse zur Wiederherstellung der Kraftfahreignung gemäß § 70 FeV**  
Klipp, Brieler, Frenzel, Kühne, Hundertmark, Kollbach, Labitzke, Uhle, Albrecht, Buchardt € 14,50

#### 2019

M 289: **Entwicklung und Überprüfung eines Instruments zur kontinuierlichen Erfassung des Verkehrsklimas**  
Schade, Rößger, Schlag, Follmer, Eggs  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 290: **Leistungen des Rettungsdienstes 2016/17 – Analyse des Leistungsniveaus im Rettungsdienst für die Jahre 2016 und 2017**  
Schmiedel, Behrendt € 18,50

M 291: **Versorgung psychischer Unfallfolgen**  
Auerbach, Surges € 15,50

M 292: **Einfluss gleichaltriger Bezugspersonen (Peers) auf das Mobilitäts- und Fahrverhalten junger Fahrerinnen und Fahrer**  
Baumann, Geber, Klimmt, Czerwinski € 18,00

M 293: **Fahranfänger – Weiterführende Maßnahmen nach dem Fahrerlaubniserwerb – Abschlussbericht**  
Projektgruppe „Hochrisikophase Fahranfänger“ € 17,50

#### 2020

M 294: **Förderung eigenständiger Mobilität von Erwachsenen mit geistiger Behinderung**  
Markowetz, Wolf, Schwaferts, Luginger, Mayer, Rosin, Buchberger  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

- M 295: **Marktdurchdringung von Fahrzeugsicherheitssystemen in Pkw 2017**  
Gruschwitz, Hölscher, Raudszus, Schulz € 14,50
- M 296: **Leichte Sprache in der theoretischen Fahrerlaubnisprüfung**  
Schrauth, Zielinski, Mederer  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 297: **Häufigkeit von Ablenkung beim Autofahren**  
Kreuzlein, Schleinitz, Krems € 17,50
- M 298: **Zahlungsbereitschaft für Verkehrssicherheit**  
Obermeyer, Hirte, Korneli, Schade, Friebel € 18,00
- M 299: **Systematische Untersuchung sicherheitsrelevanter Fußgängerverhaltens**  
Schüller, Niestegge, Roßmerkel, Schade, Rößger, Rehberg, Maier € 24,50
- M 300: **Nutzungshäufigkeit von Smartphones durch Pkw-Fahrer Erhebung 2019**  
Kathmann, Johannsen, von Heel, Hermes, Vollrath, Huemer € 18,00
- M 301: **Motorräder – Mobilitätsstrukturen und Expositionsgrößen**  
Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer € 16,00
- M 302: **Zielgruppengerechte Ansprache in der Verkehrssicherheitskommunikation über Influencer in den sozialen Medien**  
Duckwitz, Funk, Schliebs, Hermanns € 22,00
- M 303: **Kognitive Störungen und Verkehrssicherheit**  
Surges  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 305: **Re-Evaluation des Alkoholverbots für Fahranfängerinnen und Fahranfänger**  
Evers, Straßgüt € 15,50

**AKTUALISIERTE NEUAUFLAGE VON:**

- M 115: **Begutachtungsleitlinien zur Kraftfahrerngung – gültig ab 31.12.2019**  
Gräcman, Albrecht € 17,50

**2021**

- M 304: **Zum Unfallgeschehen von Motorrädern**  
Pöppel-Decker  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 306: **Stand der Wissenschaft: Kinder im Straßenverkehr**  
Schmidt, Funk, Duderstadt, Schreiter, Sinner, Bahlmann  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 307: **Evaluation des Zielgruppenprogramms „Aktion junge Fahrer“ (DVW) – Phase II**  
Funk, Rossnagel, Bender, Barth, Bochert, Detert, Erhardt, Hellwagner, Hummel, Karg, Kondrasch, Schubert, Zens  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 308: **Evaluation der Zielgruppenprogramme „Kind und Verkehr“ (DVR, DVW) und „Kinder im Straßenverkehr“ (DVW) – Phase II**  
Funk, Bender, Rossnagel, Barth, Bochert, Detert, Erhardt, Hellwagner, Hummel, Karg, Kondrasch, Schubert, Zens  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

- M 309: **Entwicklung und Evaluation effizienter Trainingsmaßnahmen für ältere Verkehrsteilnehmer zur Förderung ihrer Fahrkompetenz**  
Schoch, Julier, Kenntner-Mabiala, Kaussner € 16,00
- M 310: **Erfassung der subjektiven Wahrnehmung und Bewertung verkehrssicherheitsrelevanter Leistungsmerkmale und Verhaltensweisen älterer Autofahrer – Entwicklung und Prüfung eines Selbsttests**  
Horn € 18,50
- M 311: **Safety Performance Indicators im Straßenverkehr – Überblick und Erfahrungen aus der internationalen Praxis**  
Funk, Orłowski, Braun, Rücker € 20,50
- M 312: **Konzept für eine regelmäßige Erhebung der Nutzungshäufigkeit von Smartphones bei Radfahrern und Fußgängern**  
Funk, Roßnagel, Maier, Crvelin, Kurz, Mohamed, Ott, Stamer, Stößel, Tomaselli  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 313: **Analyse der Merkmale und des Unfallgeschehens von Pedelec-Fahrern**  
Platho, Horn, Jänsch, Johannsen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 314: **SENIORWALK**  
Holte € 19,00
- M 315: **Untersuchungen zur wissenschaftlichen Begleitung des reformierten Fahrlehrerrechts**  
Bredow, Ewald, Thüs, Malone, Brünken  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 316: **VERKEHRSKLIMA 2020**  
Holte € 16,50
- M 317: **Alternative Antriebstechnologien – Marktdurchdringung und Konsequenzen für die Straßenverkehrssicherheit**  
Pöppel-Decker, Bierbach, Piasecki, Schönebeck  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 318: **Verkehrssicherheitsberatung älterer Kraftfahrerinnen und -fahrer in der hausärztlichen Praxis – Bestandsaufnahme**  
Schoch, Kenntner-Mabiala  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

- M 319: **Protanopie und Protanomalie bei Berufskraftfahrern und Berufskraftfahrerinnen – Prävalenz und Unfallrisiko**  
Friedrichs, Schmidt, Schmidt  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG  
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen  
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.