

Bewertung klassischer Kfz-Fernlichtassistenten im Fahrversuch

*J.L. Foltin, Robert Bosch GmbH, Postfach 1661, 71226 Leonberg, Germany,
johannes.foltin@de.bosch.com*

*Ch. Schierz, Technische Universität Ilmenau, Postfach 100565, 98684 Ilmenau, Germany,
christoph.schierz@tu-ilmenau.de*

1 Kurzfassung

Die Gefahr eines schweren Auto-Unfalls steigt bei Nacht an, was unter anderem auf die Sichtverhältnisse bei Dunkelheit zurückzuführen ist. Der Fahrzeugführer nutzt Fernlicht relativ selten, weshalb der (klassische) Fernlichtassistent entwickelt wurde, der automatisch zwischen Abblendlicht und Fernlicht umschaltet.

Schnelle Wechsel zwischen den Lichtverteilungen können den Fahrer stören, weshalb vom Zeitpunkt des Verschwindens der Verkehrsteilnehmer bis zum Aufblenden eine bestimmte Zeit gewartet wird. Bei der Wahl der Dauer muss ein Kompromiss zwischen ruhigem Verhalten (lange Dauer) und hoher Sichtweite (kurze Dauer) gefunden werden, um eine hohe Kundenakzeptanz zu erreichen und dadurch die Unfallgefahr bei Nacht zu verringern.

Es wurde ein Feldversuch im realen Straßenverkehr durchgeführt, bei dem die Versuchspersonen das Aufblendverhalten von Fernlichtassistenten bewerteten. In dieser Veröffentlichung wird der Zusammenhang zwischen Sicht, Dynamik und Bewertung von klassischen Fernlichtassistenten vorgestellt.

Es wird gezeigt, dass aus der Verteilung der Wartezeiten nicht zwangsläufig auf die Bewertung des Fernlichtassistenten geschlossen werden kann. Weiterhin wird gezeigt, dass auf die Definition des Begriffs der „Dynamik“ in künftigen Untersuchungen detaillierter eingegangen werden muss.

2 Einführung

Trotz schlechter Sichtverhältnisse bei Nacht nutzt der Fahrer eines Fahrzeugs das Fernlicht nicht in allen Fällen. Fernlichtassistenten können für den Fahrer das Umschalten zwischen den Lichtverteilungen übernehmen, wodurch das Fahren bei Nacht komfortabler und vor allem auch sicherer werden kann [Sch+09].

Eine Kamera im Fahrzeug überwacht den Verkehrsraum und erkennt andere Verkehrsteilnehmer. Sobald ein anderer Verkehrsteilnehmer sichtbar ist, stellt der Fernlichtassistent Abblendlicht ein, um die Blendung anderer Verkehrsteilnehmer zu verhindern. Wenn kein Verkehrsteilnehmer mehr sichtbar ist, kann prinzipiell sofort in Fernlicht umgeschaltet werden. Taucht jedoch unmittelbar nach dem Aufblenden wieder ein Verkehrsteilnehmer auf (z.B. bei einer kurzzeitigen Verdeckung), muss sofort wieder in Abblendlicht umgeschaltet werden.

Schnelle Wechsel zwischen Lichtverteilungen können den Fahrer stören („Flicker“, [FoSc12]), weshalb zwischen dem Verschwinden der Verkehrsteilnehmer und dem Aufblenden eine bestimmte Zeit gewartet wird. Während dieser Wartezeit hat der Fahrer durch das Abblendlicht eine geringere Sichtweite als mit Fernlicht, weshalb die Wartezeit nicht beliebig lang sein sollte. Bei der Wahl der Dauer muss ein Kompromiss zwischen ruhigem Verhalten (lange Dauer) und hoher Sichtweite (kurze Dauer) gefunden werden, um eine hohe Kundenakzeptanz zu erreichen. Die Wartezeit stellt somit die einzige Einstellmöglichkeit für die beiden Parameter Sicht und Dynamik dar, die von der Kamera beeinflusst werden. Durch Situationsanalysen wird die Wartezeit – und damit auch die Parameter Sicht und Dynamik – an verschiedene Verkehrssituationen angepasst.

Neben der möglichst hohen Sichtweite und dem möglichst ruhigen Verhalten können weitere Einflussgrößen eine Rolle spielen. Beispielsweise könnte ein System, dessen Reaktion auf eine Verkehrssituation für den Fahrer nachvollziehbar ist, besser bewertet werden als ein System, das die Wartezeiten rein zufällig auswählt. Da der Fahrer sich auf den Fernlichtassistenten verlassen möchte, spielt ebenfalls die Detektionsleistung der Kamera eine Rolle, um andere Fahrzeuge nicht zu blenden.

Es wurde ein Feldversuch im realen Straßenverkehr durchgeführt, bei dem vorwiegend der Einfluss der Parameter „Sicht“ und „Dynamik“ auf die Bewertung eines Fernlichtassistenten untersucht wurde. Im Folgenden werden im Anschluss an die Untersuchungsmethode (Abschnitt 3) die Ergebnisse (Abschnitt 4), sowie deren Interpretation (Abschnitt 5) vorgestellt.

3 Methoden

3.1 Stichprobe

Es wurde eine Untersuchung im realen Straßenverkehr bei Dunkelheit mit 23 freiwilligen Versuchspersonen (5 Frauen, 18 Männer) im Alter¹ zwischen 21 und 60 Jahren durchgeführt (Median: 32 Jahre, Mittelwert 37 Jahre, Standardabweichung 11 Jahre). Die Fahrleistung wurde von den Teilnehmern mit 2.000 bis 35.000 Kilometern pro Jahr angegeben (Mittelwert 16.000 km/a, Standardabweichung ~8.000 km/a). Kontaktiert wurden die meisten Versuchspersonen über die Probanden-Datenbank der Robert Bosch GmbH, d.h. viele Teilnehmer übten einen technischen Beruf aus.

Die Fahrzeug-Scheinwerfer der Versuchspersonen sind mit folgenden Lichtquellen ausgestattet: Halogen-Glühlampe 74% („Halogen“), Hochdruck-Gasentladungslampe 17% („Xenon“), 9% unbekannt („weiß nicht“). Keiner der Versuchspersonen fuhr ein Fahrzeug mit Fernlichtassistenten.

Die Versuchspersonen erhielten für die Teilnahme an der Studie eine Aufwandsentschädigung, wobei ein Abbruch jederzeit und ohne Nachteile für die Versuchsperson möglich gewesen wäre.

¹ Ein Proband hat sein Alter mit „3“ angegeben. Diese Angabe wurde bei der Auswertung der Altersstruktur entfernt. Die Werte der Altersangabe beziehen sich daher auf 22 Versuchspersonen

3.2 Materialien

Apparatur

Der gesamte Versuch dauerte pro Person einschließlich Fragebögen ca. zwei Stunden.

Die Teststrecke wurde bei Dunkelheit gefahren (19-22 Uhr) und umfasste eine ca. 20km lange Strecke im Raum Stuttgart, die sich aus Landstraße (72%), Bundesstraße (15%) und Stadtgebiet (13%) zusammensetzte. Die Teststrecke führte durch mehrere Kurven, sowie Kuppen und Senken, damit andere (vor allem vorausfahrende) Verkehrsteilnehmer immer wieder verdeckt werden oder aus dem Erfassungsbereich der Kamera verschwinden.

Folgende Fernlichtassistenten wurden getestet:

- „echter“ seriennaher Fernlichtassistent mit Situationserkennung (FLA H)
- Fernlichtassistent mit Wartezeiten, die dem „echten“ Fernlichtassistenten entsprachen, jedoch in zufälliger Reihenfolge (FLA C)
- Fernlichtassistent mit kurzen Wartezeiten zwischen 0,3 und 0,5 Sekunden in zufälliger Reihenfolge (FLA A)
- Fernlichtassistent mit langen Wartezeiten zwischen 1,5 und 4,0 Sekunden in zufälliger Reihenfolge (FLA B)

Die Histogramme der Wartezeiten sind schematisch in Abbildung 1 zu sehen. Die Fernlichtassistenten FLA A, B und C wurden aus dem „echten“ Fernlichtassistenten FLA H erzeugt, indem eingestellte Wartezeiten aus einer Referenz-Fahrt für deren Entwicklung genutzt wurden: Der FLA A verwendet ausschließlich die kurzen Wartezeiten, was zu einem sehr dynamischen Verhalten führt. Der FLA B nutzt ausschließlich alle längeren Wartezeiten, was zu einem sehr ruhigen Verhalten führt. Der FLA C nutzt alle aufgezeichneten Wartezeiten, was sich aus ungefähr 50% kurzen Wartezeiten (FLA A) und 50% langen Wartezeiten (FLA B) zusammensetzt.

Durch eine echt zufällige Auswahl der Wartezeiten bei den Fernlichtassistenten FLA A, B und C wird die vorgegebene Verteilung erreicht (Inversionsmethode, siehe [Kol08]). Der „echte“ FLA H nutzt eine Situationsanalyse, was abhängig von der Verkehrssituation zu unterschiedlichen Wartezeiten und damit unterschiedlichen Verteilungen führt.

Die Fernlichtassistenten wurden ab einer Geschwindigkeit von 40km/h aktiviert (Fernlicht möglich) und unter 30km/h deaktiviert (aktives Abblenden; Hysterese). Innerhalb des Stadtgebiets (durchgehende Straßenbeleuchtung) wurde automatisch ausschließlich mit Abblendlicht gefahren. Dies entspricht dem Verhalten von aktuellen Fernlichtassistenten.

Die Apparatur entsprach im Wesentlichen einem serienreifen Fernlichtassistenten, um die Ergebnisse für kommende Produktgenerationen von Fernlichtassistenten nutzen zu können. Lediglich die Geschwindigkeitsschwellen wurden angepasst und die Wartezeiten wurden (außer bei FLA H) zufällig gewählt.

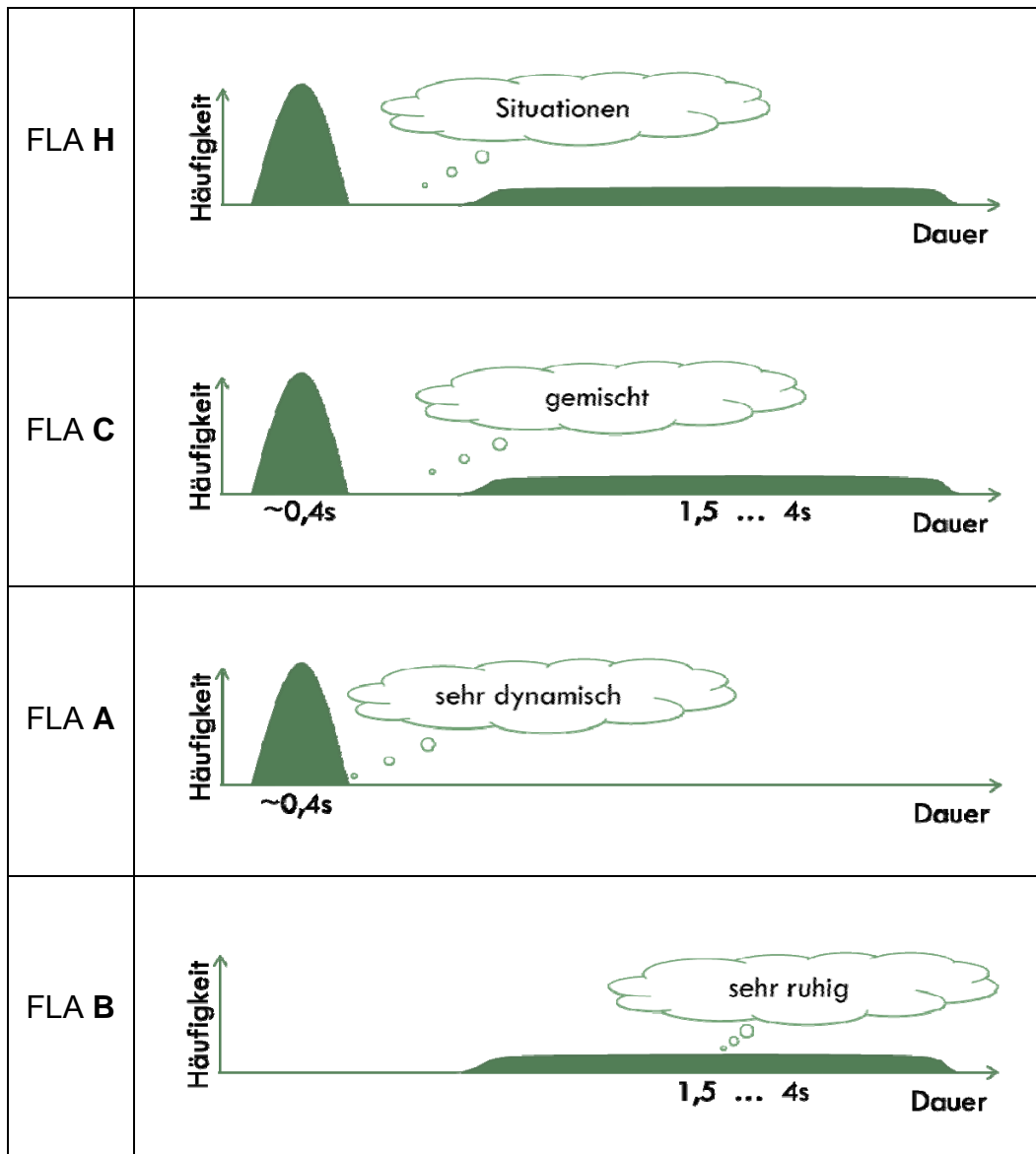


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Histogramme der verschiedenen Fernlichtassistenten

Fragebögen

Die Fernlichtassistenten wurden in Fragebögen sowohl einzeln nach jeder Fahrt (Einzel-Fragebogen, Auszug in Abbildung 2), als auch im Vergleich miteinander am Versuchsende bewertet (Gruppen-Fragebogen, Auszug in Abbildung 3). Die Fragebögen enthalten Fragen zu verschiedenen Themengebieten, die bewertet wurden, beispielsweise:

- Sichtweite
- Dynamik
- Gesamtbewertung des Fernlichtassistenten

Unter der Sicht sollten die Versuchspersonen die zum sicheren Fahren benötigte Sichtweite verstehen. Die Dynamik wurde als Anzahl der Wechsel zwischen den Lichtverteilungen (Abblendlicht und Fernlicht) pro Zeit definiert.

In dieser Veröffentlichung liegt der Schwerpunkt auf dem Zusammenhang von Sichtweite, Dynamik und Empfehlung. Abbildung 2 zeigt auszugsweise Fragen des Einzel-Fragebogens, der für den getesteten Fernlichtassistenten nach jeder Fahrt beantwortet wurde:

a. Die Sicht mit dem Fernlichtassistenten war (bitte Bereich [...] mit Schwerpunkt X angeben):

zu niedrig	gerade noch akzeptabel	sehr hoch
----- -----		

b. Die Dynamik des Fernlichtassistenten war... (bitte Bereich [...] mit Schwerpunkt X angeben)

zu niedrig	genau richtig	zu hoch
----- -----		

c. Die Dynamik des Fernlichtassistenten war...

angenehm			gerade noch nicht störend			störend		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

d. Würden Sie diesen Fernlichtassistenten einem Bekannten empfehlen?

selbstverständlich		wahrscheinlich			eher nicht			auf keinen Fall	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Abbildung 2: Auszug des Fragebogens für einen einzelnen Fernlichtassistenten („Einzel-Fragebogen“ nach jeder Fahrt)

Die Versuchspersonen gaben an, wie gut ihre Sicht mit dem jeweiligen Fernlichtassistenten war (Abbildung 2). Die Bewertung erfolgte unter anderem auf einer kontinuierlichen Skala zwischen „zu niedrig“ und „sehr hoch“ mit Schwerpunkt und Streubereich, wobei die Akzeptanzschwelle in der Mitte markiert war (Abbildung 2a).

Die Dynamik wurde ebenfalls mit Schwerpunkt und Streubereich auf einer kontinuierlichen Skala zwischen „zu niedrig“ und „zu hoch“ angegeben (Abbildung 2b). Weiterhin wurde die Dynamik („Störschwelle“) auf einer symmetrischen neun-stufigen Skala bewertet, wobei die neun Auswahlmöglichkeiten den drei Klassen „angenehm“, „gerade noch nicht störend“ und „störend“ zugeordnet wurden (Abbildung 2c).

Die Versuchspersonen bewerteten auf einer symmetrischen acht-stufigen Skala den Gesamt-Eindruck des Fernlichtassistenten, indem sie angaben, ob sie den Fernlichtassistenten einem Bekannten empfehlen würden. Die acht Abstufungen wurden ungleich auf die Klassen „selbstverständlich“, „wahrscheinlich“, „eher nicht“ und „auf keinen Fall“ verteilt (siehe Abbildung 2d).

Der Gruppen-Fragebogen am Ende der Untersuchung enthielt neben den Angaben zur Person (z.B. Alter, Fahrleistung) unter anderem die in Abbildung 3 aufgelisteten Fragen.

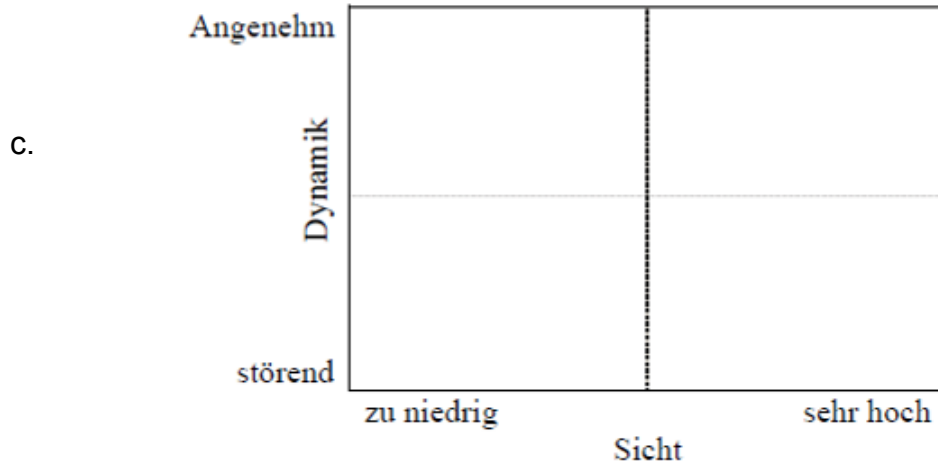
Sortieren Sie die Fernlichtassistenten A, B und C nach verschiedenen Kriterien. Platz 1 entspricht der besten Bewertung, Platz 3 der schlechtesten.

	1. Platz	2. Platz	3. Platz
a. Gesamteindruck			
Sicht			
Dynamik			

b. Welchen der Fernlichtassistenten würden Sie Ihrem Bekannten empfehlen? _____

Bitte bewerten Sie die Dynamik und die Sichtweite des Fernlichtassistenten in folgendem zweidimensionalen Diagramm mit einem **X**. Die gestrichelte Linie in der Mitte entspricht jeweils der Akzeptanzschwelle.

Fernlichtassistent A:



War bei der Untersuchung klar, was bewertet werden soll?

d.

	unklar					klar
Sicht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dynamik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 3: Auszug des Fragebogens für den Vergleich der Fernlichtassistenten miteinander („Gruppen-Fragebogen“ am Ende des Versuchs)

Die Versuchspersonen vergaben Platzierungen für die unterschiedlichen Aspekte eines Fernlichtassistenten, einschließlich der Gesamtbewertung (Abbildung 3a). Zusätzlich sollte angegeben werden, welcher Fernlichtassistent im Rückblick empfehlenswert ist, d.h. vom Probanden als gut empfunden wurde (Abbildung 3b).

In einem zweidimensionalen Diagramm (Abbildung 3c) gaben die Versuchspersonen für jeden Fernlichtassistenten separat eine Bewertung für Sicht und Dynamik ab, indem sie den Schwerpunkt des Fernlichtassistenten im Diagramm eintrugen. Das Diagramm ist zur Orientierung in vier Quadranten unterteilt, wobei die Akzeptanzschwelle durch eine Trennlinie zwischen den Quadranten angezeigt wird. Die Diagramme der drei getesteten Fernlichtassistenten lagen auf einer Seite des Fragebogens, sodass die Versuchs-

personen ihre Bewertungen der einzelnen Fernlichtassistenten aufeinander abstimmen konnten.

Am Schluss hatten die Versuchspersonen die Möglichkeit anzugeben, ob sie verstanden haben, was bewertet werden sollte (Abbildung 3d). Dadurch könnten einzelne Tests identifiziert werden, bei denen einzelne Aspekte nicht in die Auswertung übernommen werden sollen.

Erwartungen an das Ergebnis

Es wurde für die Bewertung der Fernlichtassistenten erwartet, dass die Sicht einen großen Einfluss hat, da über das Sehen die meisten Informationen zum Führen eines Fahrzeugs aufgenommen werden [Sch+09]. Zu wenig Information, beispielsweise hervorgerufen durch eine geringe Sicht, kann zu „Understimulation“ führen [Sal+97], was Diskomfort verursacht. Die Sicht spielt bei der Bewertung von Scheinwerfersystemen eine große Rolle (siehe z.B. [Man+07]). Es wurde vermutet, dass neben der Sicht auch die Dynamik eines Fernlichtassistenten bei der Bewertung eine Rolle spielt, da schnelle Wechsel zwischen den Lichtverteilungen stören können („Flicker“, [FoSc12]). Es wird erwartet, dass der Einfluss der Sicht größer ist als der Einfluss der Dynamik, da die Sicht beim Fahren essentiell ist.

Die Erwartungen an die Ergebnisse für die verschieden ausgeprägten Fernlichtassistenten kann man in Tabelle 1 sehen. Es wurde erwartet, dass der „echte“ Fernlichtassistent H am besten bewertet wird, da durch eine Umfeld-Analyse ein situationsabhängiger Kompromiss zwischen Sicht und Dynamik gefunden wird. Der „gemischte“ Fernlichtassistent C, dessen Wartezeiten auf dem FLA H basieren, wurde in Summe auf Platz 2 gesehen, da hier zufällig einmal eine hohe Sicht und einmal eine ruhige Dynamik hervorgerufen wird. Es wurde erwartet, dass der „sehr dynamische“ Fernlichtassistent A in der Bewertung der Sicht zwar am besten abschneidet, wegen einem hektischen Schaltverhalten (viele Wechsel pro Zeit) jedoch insgesamt auf dem dritten Platz eingestuft wird. Es wurde vermutet, dass der „sehr ruhige“ Fernlichtassistent B trotz der sehr ruhigen Dynamik wegen der (zu) niedrigen Sicht, bedingt durch die langen Wartezeiten, am schlechtesten abschneidet.

Tabelle 1: Erwartungen der Bewertung an die verschiedenen Fernlichtassistenten

	Sicht	Dynamik	Dynamik-Bewertung	Platzierung zueinander		
				Sicht	Dynamik	Gesamteindruck
FLA A	sehr hoch	Zu hoch	Störend	1.	4.	3.
FLA B	Zu niedrig	genau richtig oder zu niedrig	angenehm	4.	1.	4.
FLA C	grenzwertig	genau richtig	angenehm	3.	3.	2.
FLA H	hoch	genau richtig	angenehm	2.	2.	1.

3.3 Ablauf des Experiments

Die Versuchspersonen fuhren bei Dunkelheit selbstständig den Versuchsträger, der mit einem Fernlichtassistenten ausgestattet war. Die Witterung war meist trocken mit klarer Sicht. Der Versuchsleiter saß auf dem Beifahrersitz und wies der Versuchsperson den Weg. Zusätzlich lenkte er die Versuchspersonen durch ein Gespräch ab, damit sie sich nicht ausschließlich auf die Änderung der Lichtverteilung konzentrierten.

Die Teststrecke wurde von jeder Versuchsperson vier Mal gefahren, wobei bei jedem Durchgang der Fernlichtassistent ausgewechselt wurde. Der erste Durchlauf war eine Eingewöhnungsfahrt und wurde verworfen, die drei darauf folgenden Durchgänge wurden mit den im Unterabschnitt „Apparatur“ beschriebenen Fernlichtassistenten durchgeführt.

Der erste Durchlauf diente der Eingewöhnung der Versuchspersonen an das Fahrzeug, an die Fahrstrecke und an die Bewertungsaufgabe. Die Wartezeiten zwischen dem Verschwinden eines Fahrzeugs und dem Wiederaufblenden lagen bei der Eingewöhnungsfahrt zwischen 0,4 und vier Sekunden², um den Versuchspersonen den Bereich der im Versuch vorkommenden Dauern der Wartezeiten eines Fernlichtassistenten vorzustellen. Um mit den Bewertungskriterien vertraut zu werden, sollten die Versuchspersonen nach dem ersten Durchlauf den Einzel-Fragebogen durchlesen³. An Hand des Fragebogens wurden der Versuchsperson vom Versuchsleiter die einzelnen Kriterien wie beispielsweise Sicht und Dynamik erläutert.

Die darauf folgenden drei Testdurchläufe wurden in zufälliger Reihenfolge aus den vier verschiedenen Fernlichtassistenten FLA A (sehr dynamisch), FLA B (sehr ruhig), FLA C (gemischt) und FLA H („echter“ Fernlichtassistent) gewählt. Es gab zwei Versuchskollektive: Das erste Probanden-Kollektiv (12 Personen) fuhr die Fernlichtassistenten A, B und C. Der Fernlichtassistent B wurde beim zweiten Kollektiv (8 Personen) durch den „echten“ Fernlichtassistenten FLA H ersetzt, da der FLA B meist sehr negativ bewertet wurde: Das zweite Probanden-Kollektiv fuhr mit den Fernlichtassistenten FLA A, C und H. Durch technische Schwierigkeiten wurden drei Versuchspersonen (Kollektiv 3) ausschließlich mit dem „echten“ Fernlichtassistenten FLA H getestet (einschließlich Eingewöhnungsfahrt).

Eine Übersicht der drei Kollektive ist in Tabelle 2 zu sehen. Die Anzahl vorliegenden Bewertungen der einzelnen Fernlichtassistenten ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht der Fernlichtassistenten der verschiedenen Probanden-Kollektive

	Fernlichtassistenten Reihenfolge wurde gemischt			Anzahl Tests
Kollektiv 1	A	B	C	12
Kollektiv 2	A	C	H	8
Kollektiv 3	H	H	H	3

² feste Werte der Wartezeiten: 0,4 Sekunden, eine, zwei, drei und vier Sekunden. Modi bei 0,4 und vier Sekunden

³ auf das Ausfüllen des Fragebogens wurde verzichtet, um die Versuchsdauer zu begrenzen

Tabelle 3: Anzahl Tests der jeweiligen Fernlichtassistenten

Fernlichtassistent	A	B	C	H (ohne HHH)
Anzahl Bewertungen	20	12	20	17 (8)

Sobald der Fernlichtassistent aufgeblendet hatte, bewerteten die Versuchspersonen den Aufblendzeitpunkt, deren Ergebnisse nicht Gegenstand der vorliegenden Veröffentlichung sind.

Nach jedem Testdurchlauf bewerteten die Versuchspersonen den zuletzt gefahrenen Fernlichtassistenten mit Hilfe des Einzel-Fragebogens, der in Abbildung 2 ausschnittsweise abgebildet ist.

Am Ende der Untersuchung bewerteten die Versuchspersonen die drei getesteten Fernlichtassistenten mit Hilfe des Gesamt-Fragebogens, der ausschnittsweise in Abbildung 3 zu sehen ist. Auf dem Gesamt-Fragebogen konnten die Versuchspersonen ihre Bewertungen der einzelnen Fernlichtassistenten abgleichen.

3.4 Datenanalyse

Der exakte Fisher-Test kann auf Vier-Felder-Tafeln angewandt werden, wenn beispielsweise wegen einer geringen Anzahl an Beobachtungen vorliegt [HEK09] und beispielsweise ein Chi-Quadrat-Test nicht angewandt werden kann.

Die Dynamik (Abbildung 2b) wird teilweise in eine „niedrige“ Dynamik (linker Skalen-Bereich) und eine „hohe“ Dynamik (rechter Bereich) eingeteilt, wobei die Mitte („genau richtig“) zu gleichen Anteilen in „hohe“ und „niedrige“ Dynamik aufgeteilt wird.

Die Sicht (Abbildung 2a) kann in der Mitte der Skala in eine „geringe“ und eine „hohe“ Sicht unterteilt werden. Die Störschwelle in der Mitte („gerade noch nicht störend“) wird der Klasse „hohe Sicht“ zugeteilt.

Die Dynamik-Störschwelle (Abbildung 2c) wird teilweise binarisiert, indem die Ergebnisse in der Mitte getrennt werden. Der rechte Teilbereich wird einer „störenden“ Dynamik zugeordnet, der linke Teilbereich (einschließlich Mitte) der „angenehmen“ Dynamik.

Die Werte der Dynamik-Störschwelle (Ordinalskala) werden bei manchen Tests als äquidistant angenommen (Intervall-Skala). Bei Korrelationstests wurde in diesen Fällen die Berechnung von Kendalls Tau [HEK09] genutzt, bei dem die Korrelation wiederum über (relative) Ränge ermittelt wird und die Größe der Abstände zwischen den Bewertungen daher keine Rolle spielt.

Die Empfehlung eines Fernlichtassistenten (Abbildung 2d) wird in zwei Klassen eingeteilt, wobei die Werte aus der Einzel-Bewertung wie folgt zusammengefasst wurden: Werte im linken Bereich („selbstverständlich“ und „wahrscheinlich“) werden zu „Empfehlung“ zusammengefasst, Werte im rechten Bereich („eher nicht“ und „auf keinen Fall“) werden zu „keiner Empfehlung“ zusammengefasst.

Die Angabe des Verständnisses der Attribute (Abbildung 3d) wird in der Mitte in „klar“ (rechte Seite) und „unklar“ (linke Seite) aufgeteilt.

4 Resultate

Bei den Fragebögen wurden Daten zu verschiedenen Eigenschaften erhoben. Im Folgenden werden die Daten hinsichtlich Gesamt-Bewertung (Empfehlung), sowie Sicht und Dynamik ausgewertet. Die Ergebnisse sind aufgeteilt nach Gesamt-Fragebogen (Abschnitt 4.1), der am Ende der Untersuchung beantwortet wurde und den Einzel-Fragebögen (Abschnitt 4.2), die nach jedem einzelnen Durchlauf bzw. Fernlichtassistent ausgefüllt wurden.

4.1 Ergebnisse des Gesamt-Fragebogens

Empfehlung und Platzierungen der Fernlichtassistenten

Die Versuchspersonen gaben im Gesamt-Fragebogen an, welchen Fernlichtassistenten sie empfehlen würden (Abbildung 3b). Bei der Auswertung von Empfehlung und Platzierungen wurde das Kollektiv 3 entfernt, da diese ausschließlich mit dem „echten“ Fernlichtassistenten FLA H fahren und somit kein Vergleich möglich ist. In Tabelle 4 sind die Empfehlungen aufgeschlüsselt nach Fernlichtassistent und Kollektiv zu sehen.

Tabelle 4: Anzahl an Empfehlungen der Fernlichtassistenten (Mehrfach-Empfehlungen wurden auf die empfohlenen Fernlichtassistenten verteilt). Die Test-Anzahl ist als kleine Ziffer angegeben.

	FLA A	FLA B	FLA C	FLA H
Kollektiv 1 (ABC)	8,8 / 12	1,8 / 12	1,3 / 12	nicht getestet
Kollektiv 2 (ACH)	1 / 8	nicht getestet	3 / 8	4 / 8
Gesamt (Summe)	9,8 / 20	1,8 / 12	4,3 / 20	4 / 8

Neben der Empfehlung gaben die Versuchspersonen über eine Platzierung an, welcher Fernlichtassistent bei einem bestimmten Kriterium am besten und welcher am schlechtesten abgeschnitten hat (Abbildung 3a). In Tabelle 5 ist die Platzierung des Gesamt-Eindrucks, sowohl über die gesamte Studie (siehe auch Abbildung 4), als auch nach den Probanden-Kollektiven aufgeteilt, zu sehen. Der Platz 1 der Gesamt-Bewertung spiegelt sich auch in der Empfehlung wieder (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 5: Platzierungen der Fernlichtassistenten in der Gesamt-Bewertung aufgeschlüsselt nach Probanden-Kollektiven

Platzierungen Gesamt-Bewertung	Fernlichtassistent A			Fernlichtassistent B			Fernlichtassistent C			Fernlichtassistent H		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
Kollektiv 1	8	4	0	2	1	9	2	7	3	N/A		
Kollektiv 2	1	1	6	N/A			3	4	1	4	3	1
Summe	9	5	6	2	1	9	5	11	4	4	3	1

Das Kollektiv 1 schätzt den „sehr dynamischen“ Fernlichtassistenten A als am besten ein, wobei Kollektiv 2 diesen meist am schlechtesten einschätzt. Der „gemischte“ Fernlichtassistent C wird häufig mittig platziert. Der „sehr ruhige“ Fernlichtassistent B wird überwiegend als am schlechtesten eingeschätzt, der „echte“ Fernlichtassistent H mehrheitlich am besten oder mittig platziert. Nur FLA B und FLA H entsprechen in der Gesamt-Platzierung den Erwartungen, FLA A und C wurden anders als erwartet bewertet.

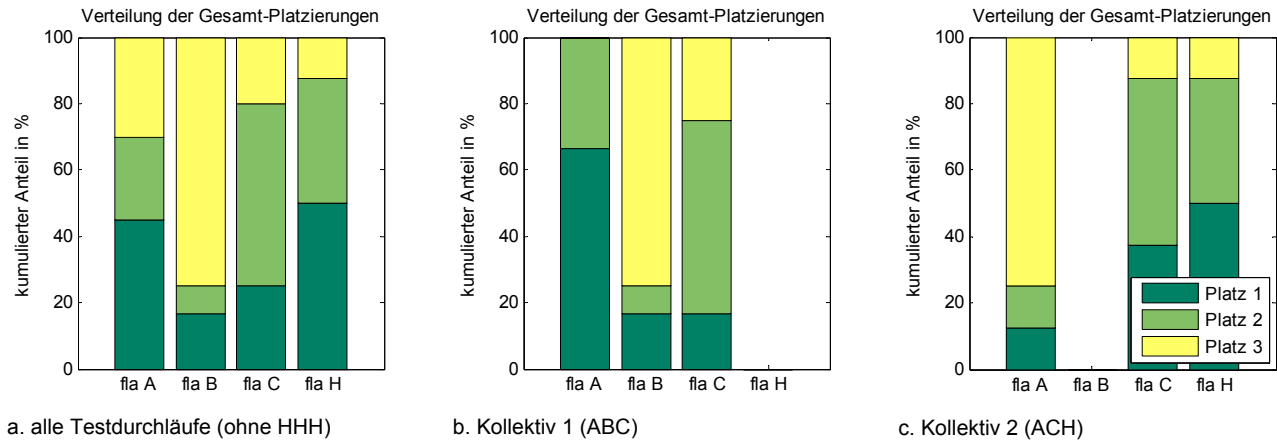


Abbildung 4: Verteilung von Platzierungen der Fernlichtassistenten – Gesamt-Eindruck

Neben der Gesamtbewertung gaben die Versuchspersonen die Platzierung der Fernlichtassistenten für das Kriterium „Sicht“ an (Abbildung 3a). Tabelle 6 zeigt die Platzierungen der Fernlichtassistenten, Abbildung 5 stellt diese auf die jeweilige Test-Anzahl normiert dar. Der „sehr dynamische“ Fernlichtassistent A wird hinsichtlich der Sicht wie erwartet meist am besten oder mittig bewertet, was durch das Kollektiv 1 (ABC) dominiert wird. Das Kollektiv 2 (ACH) scheint keine eindeutige Präferenz einer Platzierung des FLA A bzgl. des Sicht-Kriteriums zu haben. Der „sehr ruhige“ Fernlichtassistent B wird hinsichtlich der Sicht meist als am schlechtesten eingeschätzt, was den Erwartungen entspricht. Der „gemischte“ Fernlichtassistent C wird häufig am besten oder mittig eingeschätzt, wobei er vom Kollektiv 2 besser eingestuft wird als vom Kollektiv 1. Für den „echten“ Fernlichtassistenten H scheint es keine Präferenz einer Platzierung hinsichtlich der Einschätzung der Sicht zu geben.

Tabelle 6: Platzierungen der Fernlichtassistenten für das Kriterium „Sicht“, aufgeschlüsselt nach Probanden-Kollektiven

Platzierungen Sicht	Fernlichtassistent A			Fernlichtassistent B			Fernlichtassistent C			Fernlichtassistent H		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
Kollektiv 1	7	5	0	1	1	10	4	6	2	N/A		
Kollektiv 2	2	3	3	N/A			4	2	2	2	3	3
Summe	9	8	3	1	1	10	8	8	4	2	3	3

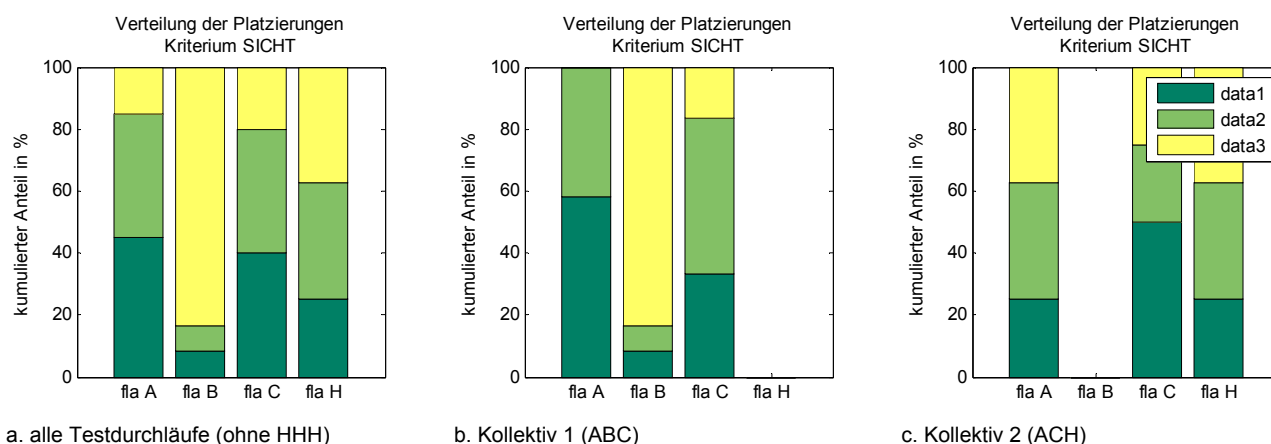


Abbildung 5: Verteilung von Platzierungen der Fernlichtassistenten – Kriterium Sicht

In Abbildung 3a gaben die Versuchspersonen die Platzierung der Fernlichtassistenten hinsichtlich der Dynamik an. Tabelle 7 zeigt die Anzahl⁴ an Nennungen der einzelnen Plätze aufgeschlüsselt nach Fernlichtassistent und Probanden-Kollektiv, Abbildung 6 stellt diese Daten normiert auf die Test-Anzahl der jeweiligen Fernlichtassistenten dar. Die Dynamik des „sehr dynamischen“ Fernlichtassistenten A wird meist am besten platziert, unabhängig der Probanden-Kollektive. Die Dynamik-Einschätzung des FLA A entspricht damit nicht den Erwartungen. Der „sehr ruhige“ Fernlichtassistent B wird meistens als am schlechtesten eingeschätzt, wobei 25% der Versuchspersonen (3/12) ihn am besten hinsichtlich der Dynamik einschätzten. Der Fernlichtassistent B erhielt nur ein einziges Mal den zweiten Platz. Die Dynamikbewertung des FLA B entspricht demnach nicht den Erwartungen. Der gemischte Fernlichtassistent C wird häufig mittig platziert, was vorwiegend durch das erste Probanden-Kollektiv beeinflusst wird. Das zweite Probanden-Kollektiv weist keine Präferenz in der Platzierung des FLA C auf. Die Dynamik des „echten“ Fernlichtassistenten H wird im Vergleich zu den anderen Fernlichtassistenten meist schlechter eingeschätzt. Die Bewertung der Dynamik weist insbesondere bei den Fernlichtassistenten A und B sehr große Abweichungen von den erwarteten Dynamik-Bewertungen auf (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 7: Platzierungen der Fernlichtassistenten für das Kriterium „Dynamik“, aufgeschlüsselt nach Probanden-Kollektiven

Platzierungen Dynamik	Fernlichtassistent A			Fernlichtassistent B			Fernlichtassistent C			Fernlichtassistent H		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
Kollektiv 1	8	3	1	3	1	8	2	7	3	N/A		
Kollektiv 2	5	2	1	N/A			2	3	3	1	3	4
Summe	13	5	2	3	1	8	4	10	6	1	3	4

⁴ Die Anzahl der Plätze ist nicht gleich verteilt, da ein Proband zwei Fernlichtassistenten gleich gut eingeschätzt hatte und beiden der erste Platz zugewiesen wurde.

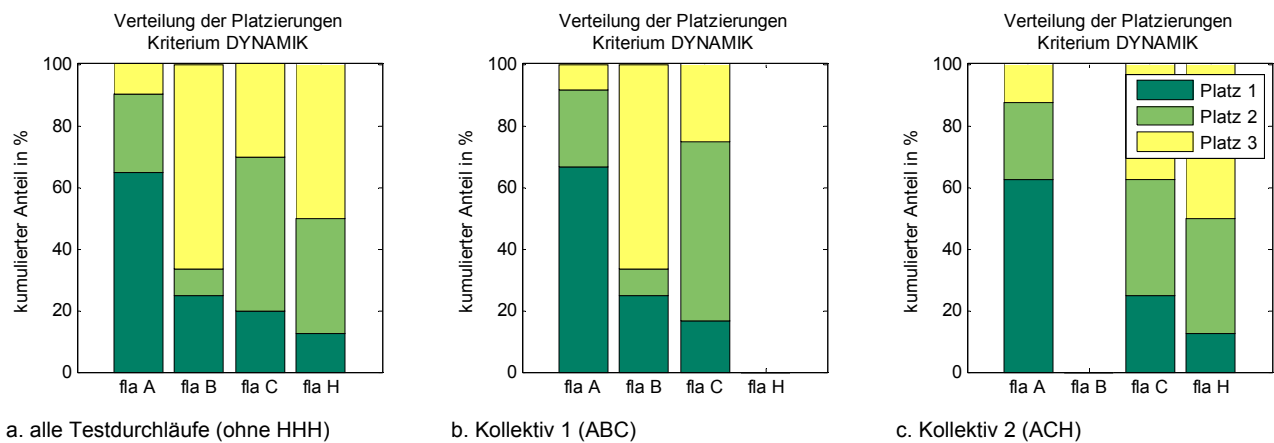


Abbildung 6: Verteilung von Platzierungen der Fernlichtassistenten – Kriterium Dynamik

Zusammenhang von Sicht und Dynamik

Die Versuchspersonen gaben auf dem Gesamt-Fragebogen in einem direkten Vergleich die Sicht und Dynamik der Fernlichtassistenten an (Abbildung 3c). Die Bewertungen der Fernlichtassistenten für alle Testpersonen (einschließlich des Kollektivs 3) sind in Abbildung 7 zu sehen.

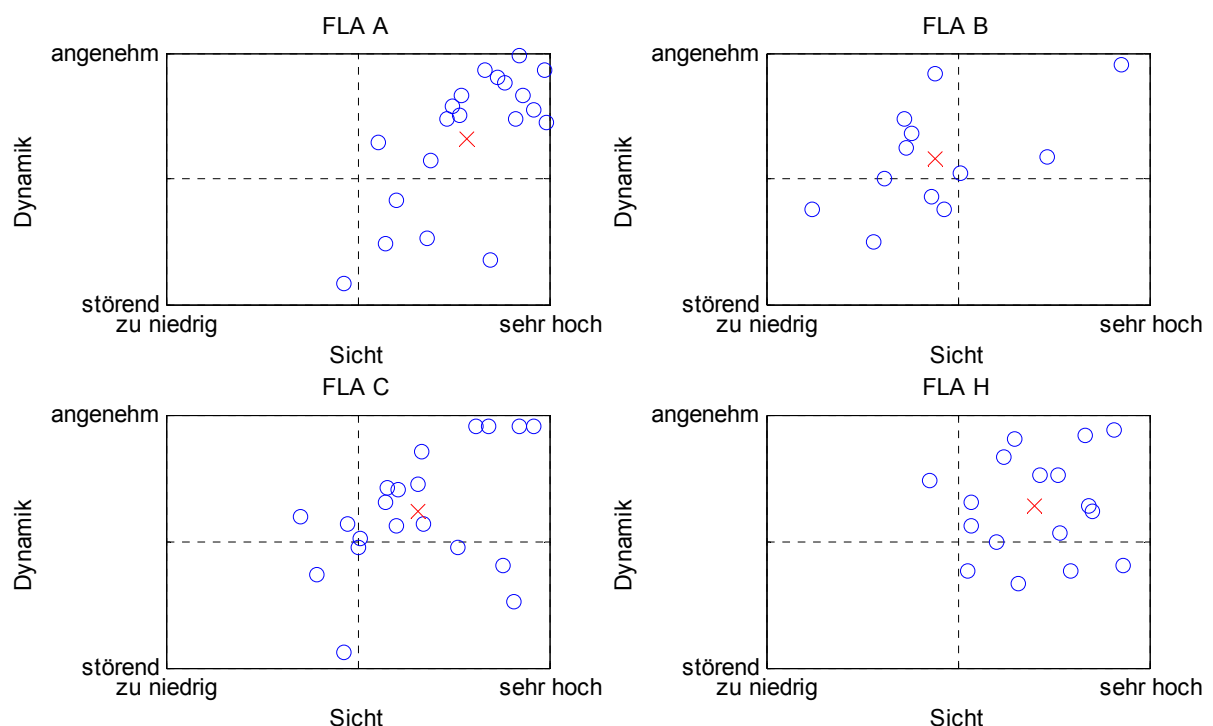


Abbildung 7: Gemeinsame Bewertung von Sicht und Dynamik der einzelnen Fernlichtassistenten (alle Testpersonen) als Streudiagramm; Bewertung = blauer Kreis; Schwerpunkt = rotes Kreuz

Betrachtet man die Fernlichtassistenten A, C und H, kann man feststellen, dass diese häufig im rechten oberen Quadranten bewertet wurden. Sowohl die Sicht, als auch die Dynamik werden dort als gut eingestuft. Die Kollektive haben die Fernlichtassistenten teilweise unterschiedlich eingeschätzt, was sich in der Verschiebung des Schwerpunkts äußern kann. In Tabelle 8 sind die normierten Schwerpunkte der Bewertung angegeben.

Die Streudiagramme der Fernlichtassistenten lassen sich wie folgt charakterisieren:

- Die Bewertungen des „sehr dynamischen“ Fernlichtassistenten A liegen vorwiegend auf der rechten Seite, was bedeutet, dass die Versuchspersonen mit der Sicht bei diesem Fernlichtassistenten zufrieden waren. Der Großteil der Bewertungen liegt im oberen Bereich, was auf eine angenehme Dynamik hinweist. Dies entspricht nicht den Erwartungen. Fünf Personen befanden die Dynamik als störend.
- Der „sehr ruhige“ Fernlichtassistent B tendiert, anders als die anderen Fernlichtassistenten, zur linken Seite, was auf zu geringe Sicht hinweist (entspricht Erwartung). Die Bewertung der Dynamik umfasst insgesamt einen weiten Bereich. Es gibt mehrere Bewertungen im positiven, wie auch im negativen Bereich der Dynamik.
- Der „gemischte“ Fernlichtassistent C weist einen großen Streubereich zwischen den Quadranten auf.
- Beim „echten“ Fernlichtassistenten H sind die Bewertungen⁵ vorwiegend im rechten oberen Quadranten oder nahe um ihn verteilt. Fünf Tests-Durchläufe wurden als störend bewertet, einer als grenzwertig.

Tabelle 8: normierte Position der Schwerpunkte der Fernlichtassistenten hinsichtlich Sicht und Dynamik abhängig vom Probanden-Kollektiv; +1 = „angenehm“ oder „sehr hoch“, -1 = „störend“ oder „zu niedrig“, 0 = Störschwelle

FLA	A		B		C		H	
Kriterium	Sicht	Dyn.	Sicht	Dyn.	Sicht	Dyn.	Sicht	Dyn.
Kollektiv 1	0,6	0,6	-0,1	0,2	0,3	0,1	N/A	
Kollektiv 2	0,6	-0,0	N/A		0,4	0,4	0,4	0,3
alle (1+2+3)	0,6	0,3	-0,1	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3

Der Schwerpunkt der Bewertungen des „sehr dynamischen“ Fernlichtassistenten A verschiebt sich vom Probanden-Kollektiv 1 zum Kollektiv 2 verhältnismäßig stark: während das Kollektiv 1 die Dynamik als gut einstufte, stuft das Kollektiv 2 die Dynamik im Schnitt als grenzwertig schlecht ein (Abbildung 8). Die Bewertung durch das zweite Kollektiv entspricht damit eher den Erwartungen, wobei die Bewertungen insbesondere bei der Dynamik bimodal zwischen einer positiven und negativen Bewertung verteilt sind.

Die Dynamik des „gemischten“ Fernlichtassistenten C wird vom Kollektiv 1 (ABC) im Schnitt schlechter (nahezu grenzwertig) eingestuft, das Kollektiv 2 (ACH) befand den Fernlichtassistenten als insgesamt gut. Die Streubreite der Bewertung ist beim ersten Kollektiv groß (Abbildung 9). Die Dynamik-Bewertung durch das zweite Kollektiv scheint bimodal auf einer angenehmen und einer grenzwertigen Dynamik aufgeteilt zu sein.

⁵ In der in Abbildung 7 dargestellten Verteilung sind alle Bewertungen enthalten, einschließlich der Bewertungen des Kollektivs 3, bei dem die Testpersonen drei Mal mit dem „echten“ Fernlichtassistenten gefahren sind. Die Einschätzung des FLA H durch das Kollektivs 2 (ACH) entspricht im Wesentlichen der Gesamtbewertung

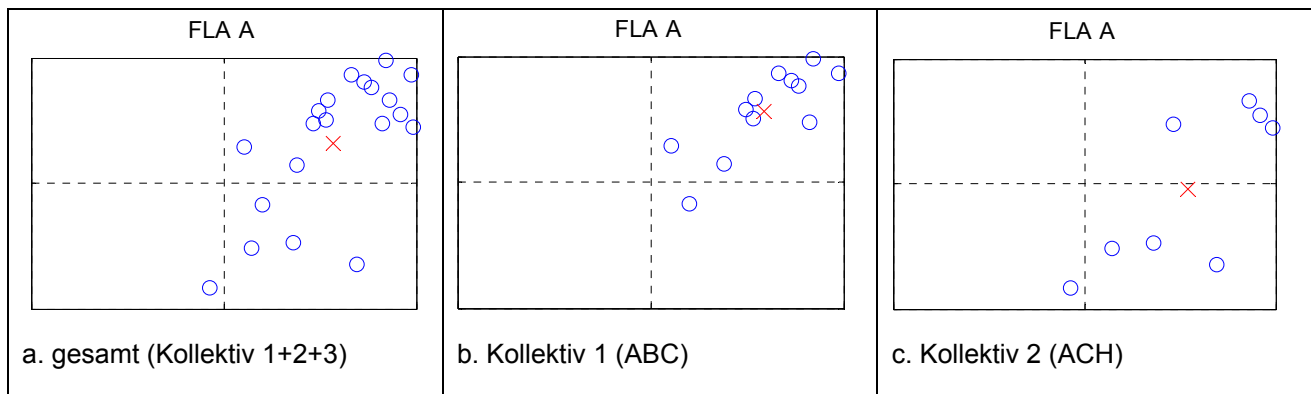


Abbildung 8: Vergleich der Streudiagramme des FLA A zwischen den Kollektiven 1 & 2: Abszisse: Sicht von „zu niedrig“ (links) bis „sehr hoch“ (rechts); Ordinate: Dynamik von „störend“ (unten) bis „angenehm“ (oben); Bewertungen: O, Schwerpunkt: X

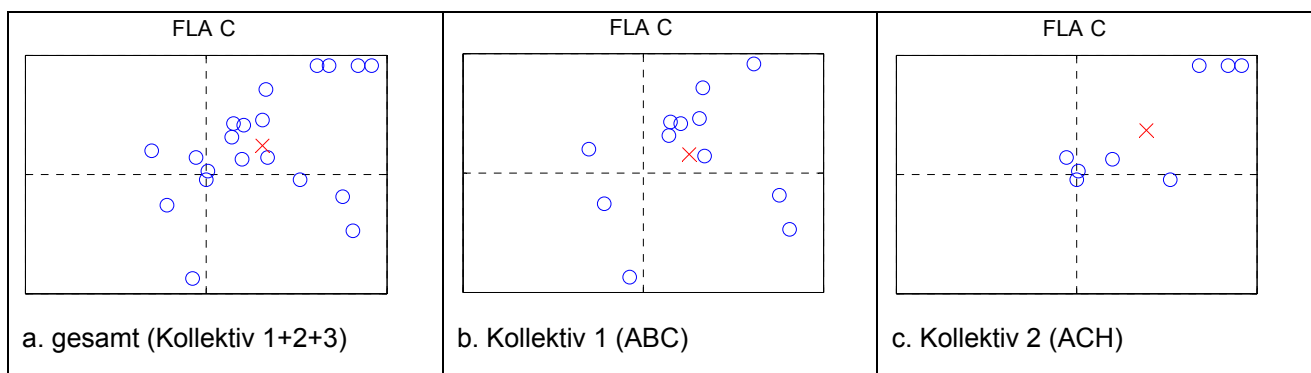


Abbildung 9: Vergleich der Streudiagramme des FLA C zwischen den Kollektiven 1 & 2: Abszisse: Sicht von „zu niedrig“ (links) bis „sehr hoch“ (rechts); Ordinate: Dynamik von „störend“ (unten) bis „angenehm“ (oben); Bewertungen: O, Schwerpunkt: X

Die in Abbildung 7 gezeigten Bewertungen können für die jeweiligen Kriterien separat betrachtet werden, wodurch Unterschiede deutlicher dargestellt werden können. Abbildung 10 zeigt die Verteilung der Sicht und der Dynamik der verschiedenen Fernlichtassistenten als Boxplot. Im Bereich der Sicht wird der „sehr dynamische“ Fernlichtassistent A im Schnitt am besten bewertet, der „sehr ruhige“ Fernlichtassistent B am schlechtesten (entspricht den Erwartungen). Die Dynamik weist geringere Schwankungen als die Sicht auf, wobei auch hier der Fernlichtassistent A im Schnitt etwas besser bewertet wird als die anderen Fernlichtassistenten. Der Fernlichtassistent B schneidet im Bereich der Dynamik etwas schlechter ab als die anderen Fernlichtassistenten.

Zwischen den Kollektiven weist die Dynamik eine größere Schwankung auf, was in Abbildung 11 dargestellt ist. Die Dynamik des „sehr dynamischen“ Fernlichtassistenten A wird vom Kollektiv 1 (ABC) entgegen der Erwartungen positiv bewertet. Die Bewertung durch das Kollektiv 2 verschiebt sich in den negativen Bereich und weist eine große Streubreite auf (Inter-Quartils-Abstand), was durch die bi-modale Verteilung hervorgerufen wird (vgl. Abbildung 8c). Zeichnet man die Boxplots in einer „gekerbten“ (engl. „notched“) Darstellung⁶ (hier nicht dargestellt), überlappen sich die Kerben der Kollektive bei allen Fernlichtassistenten.

⁶ Die gekerbte Darstellung wurde nicht abgebildet, da die Kerben teilweise über den inneren Teil des Boxplots herausragten und die Grafik dadurch unübersichtlich wurde

Bei der Sicht gibt es in der Boxplot-Darstellung zwischen den Auswertungen von allen 23 Versuchspersonen (Kollektive 1, 2 und 3), Kollektiv 1 (ABC) und Kollektiv 2 (ACH) nur geringe Unterschiede (vgl. Tabelle 8; nicht dargestellt).

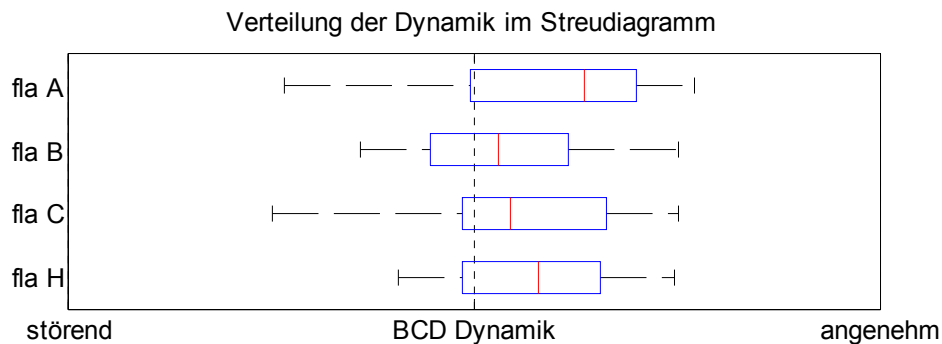
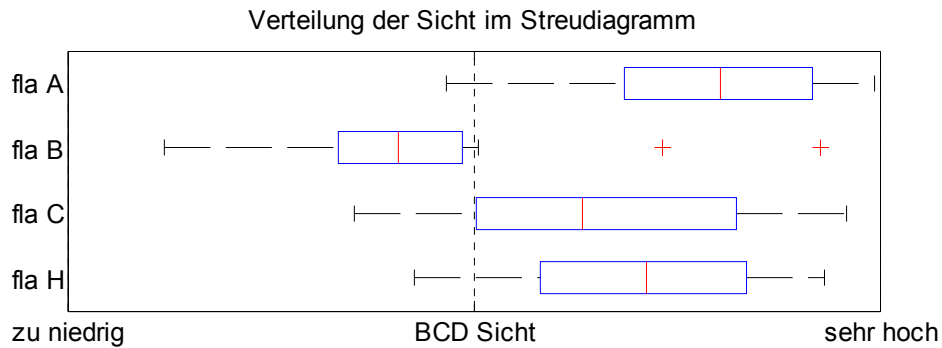
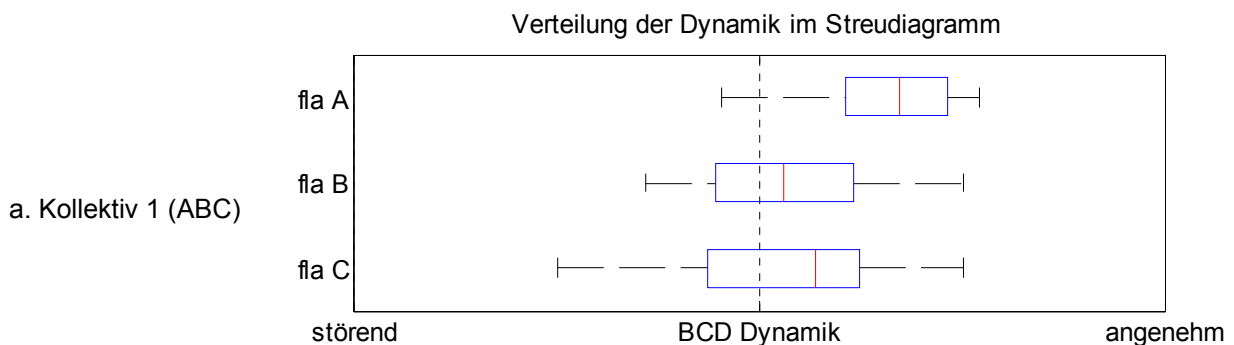


Abbildung 10: Verteilung von Sicht und Dynamik im Streudiagramm aus Abbildung 7 (alle Probanden); die Störschwelle wurde mit BCD (Borderline between Comfort and Discomfort) beschriftet



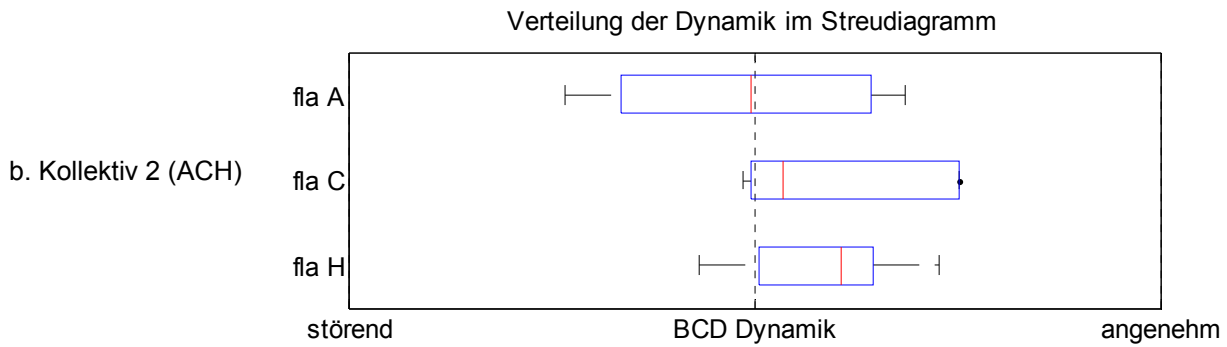


Abbildung 11: Verteilung der Dynamik-Bewertung zwischen den Fernlichtassistenten

Der Fahrer soll ein Assistenzsystem als hilfreich und insbesondere als nicht störend erfahren. Die gemeinsame Bewertung von Sicht und Dynamik wird daher an den Störschwellen in vier Quadranten eingeteilt. Die Unterschiede zwischen den Kollektiven ist beim „sehr dynamischen“ Fernlichtassistenten A am größten. Zählt man die Bewertungen Abbildung 8 in den einzelnen Quadranten, erhält man die in Tabelle 9 gezeigten Häufigkeiten. Mit Hilfe des exakten Fisher-Tests kann zum Testniveau $\alpha=0,05$ *nicht* gezeigt werden, dass die Sicht- und Dynamik-Bewertung von den Kollektiven abhängt.

Tabelle 9: Summen der Häufigkeiten für Sicht und Dynamik des "sehr dynamischen" Fernlichtassistenten A

	Sicht		Dynamik	
	zu niedrig	sehr hoch	störend	angenehm
alle (1+2+3)	1	19	5	15
Kollektiv 1 (ABC)	0	12	1	11
Kollektiv 2 (ACH)	1	7	4	4

4.2 Ergebnisse der Einzel-Fragebögen

Verteilung von Sicht und Dynamik

Die Versuchspersonen gaben für jedem Fernlichtassistenten die Sicht als Schwerpunkt mit Schwankungs-Bereich an (Abbildung 2a). Erzeugt man aus Schwerpunkt und Bereich eine Sicht-Verteilung in Form eines Dreiecks (Flächeninhalt = 1), kann man durch Mittelung aller Bewertungen die durchschnittliche Verteilung der Sicht der jeweiligen Fernlichtassistenten darstellen (Abbildung 12).

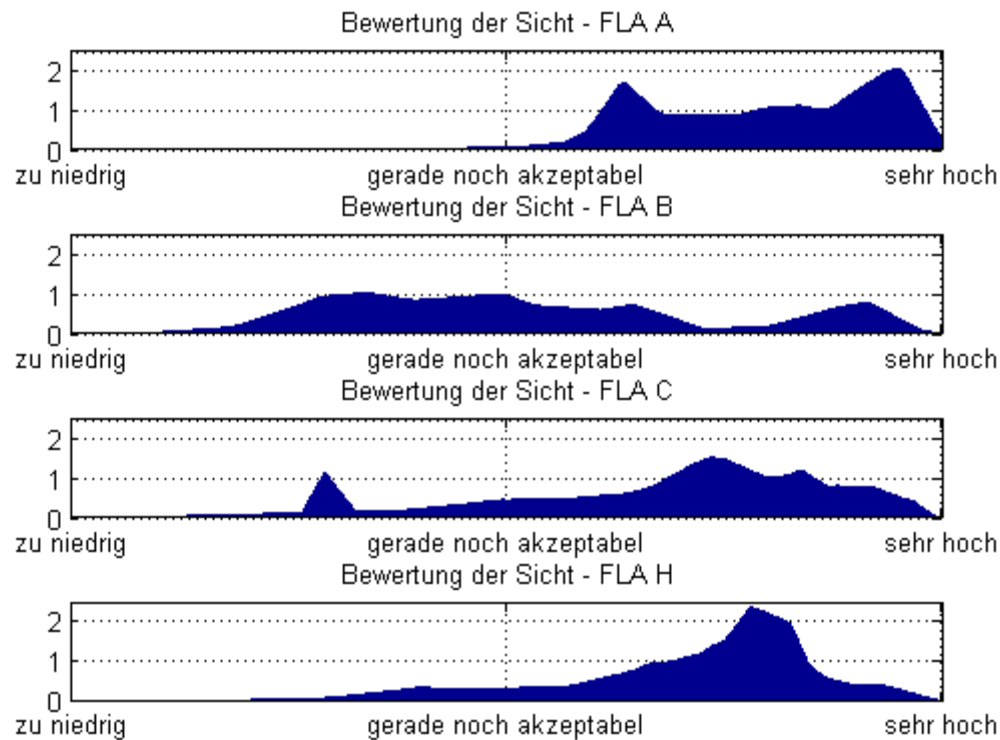


Abbildung 12: Verteilung der Sicht mit verschiedenen Fernlichtassistenten; Mittelung über alle Versuchspersonen

Die Versuchspersonen gaben für jeden Fernlichtassistenten neben der Sicht auch die Dynamik als Schwerpunkt mit Bereich an (Abbildung 2b). Die Verteilung der Dynamik-Bewertung ist in Abbildung 13 zu sehen (Berechnung wie bei Verteilung der Sicht-Bewertung). Die Bewertungen aller Fernlichtassistenten sind nahezu symmetrisch um die Mitte verteilt (Bewertung „genau richtig“), wobei es bei den Fernlichtassistenten A und B leichte Verschiebungen in Richtung „zu hoch“ (FLA A) und „zu niedrig“ (FLA B) gibt.

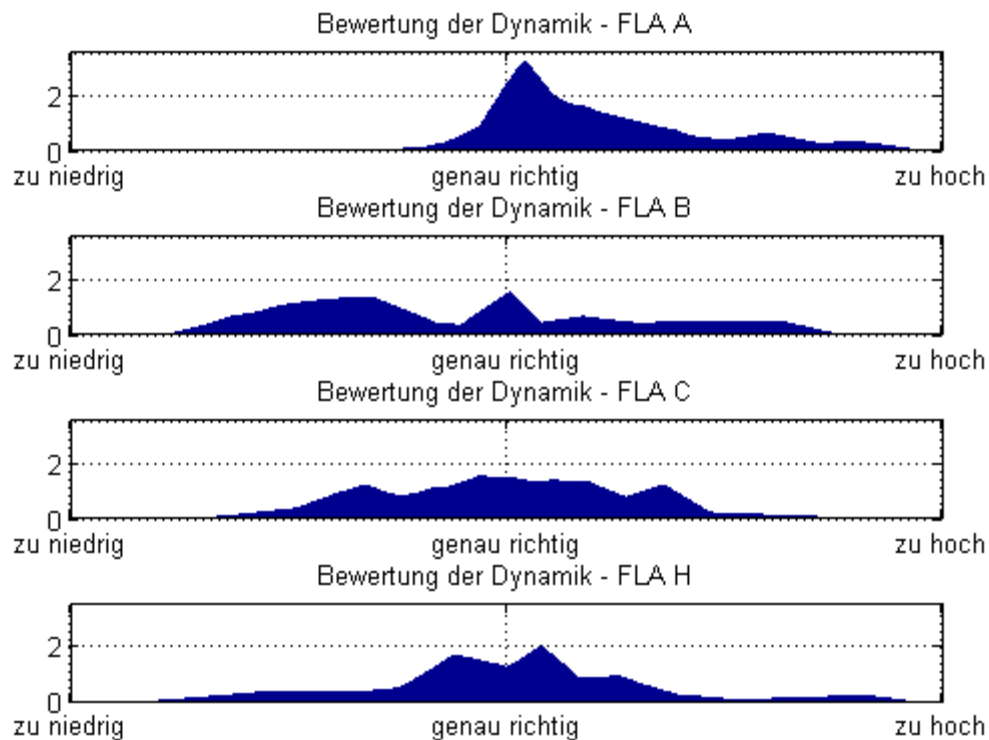


Abbildung 13: Verteilung der Dynamik mit verschiedenen Fernlichtassistenten; Mittelung über alle Versuchspersonen

Dynamik- & Sicht-Bewertung und Empfehlung

Die Versuchspersonen gaben neben einer Einschätzung der Dynamik auf einer kontinuierlichen Skala („zu niedrig“ ... „zu hoch“, Abbildung 2b) auch eine Bewertung auf einer neunstufigen Skala an, die in drei Abschnitte („angenehm“, „gerade noch nicht störend“ und „störend“) unterteilt war (Abbildung 2c). Weiterhin gaben die Versuchspersonen an, ob sie den Fernlichtassistenten einem Bekannten empfehlen würden (Abbildung 2d).

Trägt man die binarisierten Empfehlungen und die Dynamik-Bewertung (Störschwelle) gegeneinander auf, erhält man die in Tabelle 10 dargestellten Häufigkeiten. Wenn ein Fernlichtassistent empfohlen wurde, war die Dynamik meistens als angenehm eingestuft. Seltener war die Dynamik grenzwertig und sehr selten hatte ein empfohlener Fernlichtassistent eine störende Dynamik. Bei Fernlichtassistenten, die nicht empfohlen wurden, war die Dynamik sehr selten angenehm, am häufigsten gerade noch nicht störend und störend.

Tabelle 10: Häufigkeiten von Empfehlungen in Abhängigkeit der Dynamik

	Dynamik angenehm	gerade noch nicht störend	Dynamik störend
Empfehlung	31	15	2
keine Empfehlung	3	11	7

Teilt man die Bewertung der Dynamik in zwei Gruppen auf, erhält man Häufigkeiten, wie sie in Tabelle 11 dargestellt sind. Mit einem exakten Fisher-Test kann man zum Testniveau $\alpha=0,05$ zeigen, dass die Empfehlung von der Dynamik-Störschwelle abhängt.

Tabelle 11: Häufigkeiten von Empfehlungen in Abhängigkeit der Dynamik (beides binarisiert)

	Dynamik: angenehm	Dynamik: störend
Empfehlung	41	7
Keine Empfehlung	9	12

Teilt man die Sicht aus Abbildung 2a ebenfalls in der Mitte (an der Störschwelle) und trägt die Sicht gegenüber der Empfehlung auf, erhält man die in Tabelle 12 gezeigten Häufigkeiten. Insgesamt wurde die Sicht bei den meisten Fernlichtassistenten als hoch bewertet. Daher ist die Sicht sowohl bei den empfohlenen, als auch bei den Fernlichtassistenten ohne Empfehlung meist als hoch eingestuft. Mit einem exakten Fisher-Test kann man zum Testniveau $\alpha=0,05$ zeigen, dass die Empfehlung von der Sicht abhängt. Wendet man den Test ausschließlich am Kollektiv 2 an, ist es *nicht* möglich, die Abhängigkeit zu zeigen.

Tabelle 12: Häufigkeiten von Empfehlungen in Abhängigkeit der Sicht (binarisiert an Störschwelle); alle Testpersonen

	alle (1+2+3)		Kollektiv 2 (ACH)	
	Sicht: niedrig	Sicht: hoch	Sicht: niedrig	Sicht: hoch
Empfehlung	4	44	1	15
Keine Empfehlung	8	13	2	6

Zwischen der Bewertung der Sicht und der Dynamik („zu niedrig“ ... „zu hoch“) kann weder über Kendalls Tau ($\tau = -0,0064$; $p=0,47$), noch über den exakten Fisher-Test auf binarisierten Daten ein Zusammenhang gezeigt werden.

Trägt man die Sicht-Bewertung (Abbildung 2a) über der Dynamik-Störschwelle (Abbildung 2c) auf, erhält man die in Abbildung 14 gezeigte Verteilung. In blau sind die einzelnen Messwerte aufgetragen, die rot gestrichelte Linie entspricht der Regressionsgeraden⁷. Das Vorzeichen der Steigung der Regressionsgeraden entspricht *nicht* den Erwartungen.

⁷ Annahme: die ordinal skalierten Dynamik-Einschätzungsmöglichkeiten besitzen den gleichen Abstand zueinander. Berechnet man eine Parabel durch die Messpunkte, so erhält man ein sehr ähnliches Ergebnis, da der quadratische Anteil gegen Null geht.

Berechnet man die Korrelation der Dynamik-Einschätzung mit der Sicht-Bewertung mittels Kendalls Tau [HEK09], so erhält man einen Korrelationskoeffizienten von $\tau = -0,3503$ mit dem dazugehörigen p-Wert $p = 0,000$. Betrachtet man ausschließlich die Fernlichtassistenten A und B (nicht dargestellt), beträgt Kendalls Tau $\tau = -0,3312$ mit einem p-Wert von 0,006.

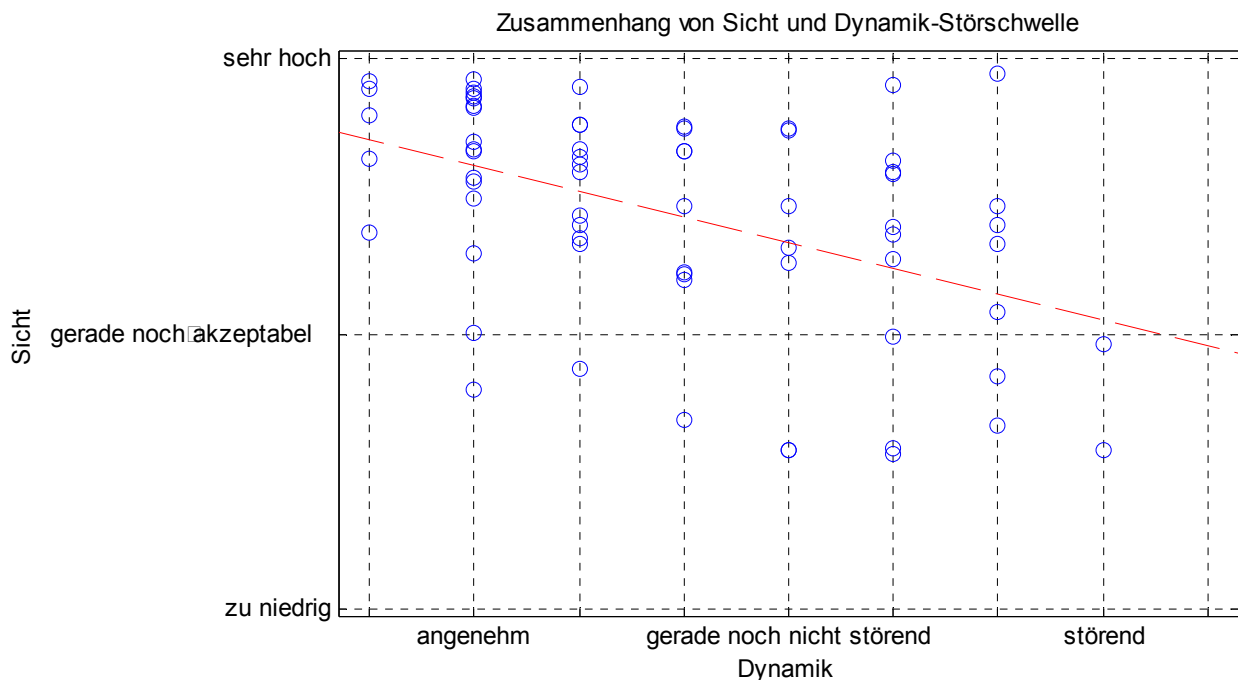


Abbildung 14: Zusammenhang von Sicht und Dynamik (Störschwelle); Messpunkte (Kreise) und Regressionsgerade (Linie)

Binärisiert man die Dynamik-Einschätzung und die Sicht-Bewertung aller Tests, so erhält die in Tabelle 13 auf der linken Seite dargestellte Vier-Felder-Tafel. Bei einer als hoch eingeschätzten Sicht wurde die Dynamik häufig als angenehm bewertet. Bei einer als niedrig eingeschätzten Sicht war die Bewertung der Dynamik häufiger störend als angenehm. Mit Hilfe des exakten Fisher-Tests kann man zeigen, dass zum Testniveau $\alpha = 0,05$ Sicht und Dynamik miteinander zusammenhängen.

Betrachtet man ausschließlich die Bewertungen des „sehr dynamischen“ Fernlichtassistenten A und des „sehr ruhigen“ Fernlichtassistenten B, so erhält man die in Tabelle 13 auf der rechten Seite dargestellte Vier-Felder-Tafel. Bei einer hohen Sicht wurde auch hier die Dynamik häufiger als angenehm bewertet als bei einer niedrigen Sicht. Es kann mit einem exakten Fisher-Test *nicht* gezeigt werden, dass die Sicht- und Dynamik-Bewertung bei den Fernlichtassistenten A und B einen Zusammenhang haben.

Tabelle 13: Vier-Felder-Tafel für Zusammenhang von Sicht und Dynamik

	alle Tests (1+2+3)		FLA A und B	
	Dynamik angenehm	Dynamik störend	Dynamik angenehm	Dynamik störend
Sicht hoch	45	12	19	6
Sicht niedrig	5	7	3	4

Vergleicht man die Bewertungen des „sehr dynamischen“ Fernlichtassistenten A mit den Bewertungen des „sehr ruhigen“ Fernlichtassistenten B, so stellt man fest, dass die Sicht mit dem Fernlichtassistenten A immer höher eingeschätzt wurde als die Sicht mit B (entspricht Erwartung). Die Dynamik (Störschwelle) des „sehr dynamischen“ Fernlichtassistenten A wurde häufig als angenehmer als der „sehr ruhige“ FLA B bewertet (sieben Mal war die Dynamik von A angenehmer als die von B, einmal gleich und vier Mal A weniger angenehm B). Die Dynamik des Fernlichtassistenten A wurde häufig höher als FLA B eingestuft (neun Mal Dynamik A höher B, drei Mal Dynamik B ist höher). Die Dynamik des „sehr dynamischen“ Fernlichtassistenten A wurde sowohl als dynamischer (=erwartet), als auch als angenehmer eingeschätzt als beim „sehr ruhigen“ Fernlichtassistenten B (=nicht erwartet).

Die Versuchspersonen gaben auf dem Fragebogen sowohl die Einschätzung der Dynamik (Abbildung 2b), als auch die Bewertung an Hand der Störschwelle an (Abbildung 2c). Trägt man beide gegeneinander auf, erhält man den in Abbildung 15 dargestellten Zusammenhang. In der Mitte der Abszisse, in der die Dynamik mit „genau richtig“ gekennzeichnet ist, wird die Dynamik meist als „angenehm“ bewertet. Je höher die Dynamik wird, desto häufiger wird die Dynamik oberhalb der Störschwelle (BCD) bewertet („störend“). Je niedriger die Dynamik wird, desto häufiger wird auch sie als „störend“ eingestuft. Die Korrelation⁸ im Bereich der niedrigen Dynamik auf der linken Seite hat einen Wert von Kendalls Tau von $\tau = -0,512$ ($p=0,000$), die positive Dynamik auf der rechten Seite einen Korrelations-Wert von $\tau = +0,607$ ($p=0,000$). Die Korrelationskoeffizienten besitzen unterschiedliche Vorzeichen, d.h. der Zusammenhang ist umgekehrt.

Die Abbildung 15 zeigt für den niedrigen und den hohen Bereich der Dynamik-Bewertung die jeweilige Regressionsgeraden. Beide Geraden besitzen bei der Dynamik-Bewertung „genau richtig“ den ähnlichen Störschwellen-Wert. Die Regressionsgeraden wirken als ob sie an der Marke „genau richtig“ gespiegelt seien.

Am Ende hatten die Versuchspersonen die Möglichkeit in Abbildung 3d anzugeben, ob die Begrifflichkeiten, die in den Fragebögen vorkommen, für sie verständlich waren. Alle Versuchspersonen gaben an, dass der Dynamik-Begriff klar war (d.h. auf der rechten Seite von Abbildung 3d). Außer einer Versuchsperson gaben alle Versuchspersonen an, dass der Begriff „Sicht“ ebenfalls klar war.

⁸ Es wurde Kendalls Tau berechnet, da die Bewertung der Dynamik in „angenehm“...„störend“ nicht zwangsläufig äquidistant sind. Der lineare Korrelationskoeffizient nach Pearson zeigt ebenfalls eine hohe Korrelation.

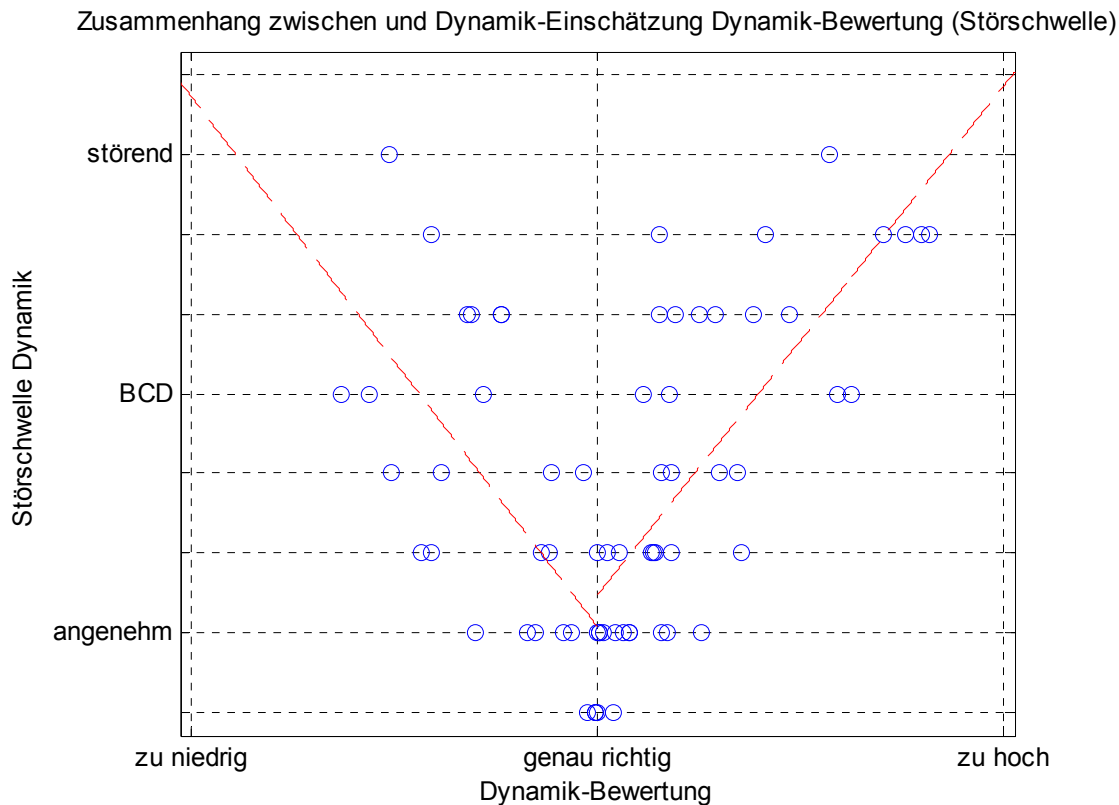


Abbildung 15: Zusammenhang zwischen Dynamik-Bewertung und Kennzeichnung auf Störschwelle (BCD = Bewertung „gerade noch nicht störend“); blau = Messpunkte, rot = Regressionsgeraden (für niedrige und hohe Dynamik separat)

5 Diskussion

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse aus dem vorherigen Abschnitt 4 diskutiert. In Abschnitt 5.1 wird der Zusammenhang zwischen dem Histogramm der Wartezeiten und den Bewertungen diskutiert, in Abschnitt 5.2 werden die Unterschiede in der Bewertung zwischen Kollektiv 1 und 2, sowie in Abschnitt 5.3 der Zusammenhang zwischen Sicht und Dynamik-Bewertung erörtert.

5.1 Histogramm und Bewertung

An Hand der Histogramme der Fernlichtassistenten (Abbildung 1) wurden Erwartungen an die Bewertung der Fernlichtassistenten gestellt (siehe Unterabschnitt „Erwartungen an das Ergebnis“). Teilweise wurden diese erfüllt (z.B. Sicht der Fernlichtassistenten A und B, Abbildung 5), teilweise jedoch auch nicht (z.B. Dynamik der Fernlichtassistenten A und B, Abbildung 6). Die unterschiedlichen Bewertungen finden sich nicht nur in der Platzierung wieder (Abschnitt „Empfehlung und Platzierungen der Fernlichtassistenten“), auch die Bewertung von Sicht und Dynamik in den Streudiagrammen entspricht nicht immer den Erwartungen (Abschnitt „Zusammenhang von Sicht und Dynamik“).

Zwischen dem ersten und zweiten Kollektiv gibt es große Unterschiede in der Sicht-Bewertung des „sehr dynamischen“ Fernlichtassistenten A. Wenn die Bewertung der Sicht ausschließlich von der Wartezeit abhängt, müsste der FLA A *immer* auf dem ersten Platz der Sichtbewertung sein, da er von *allen* getesteten Fernlichtassistenten die kürzesten

Wartezeiten hat. Die Verschlechterung der Sicht-Bewertung bei Kollektiv 2 widerspricht dem und weist darauf hin, dass die Versuchspersonen die Sicht teilweise anders verstanden haben können als angenommen (eine Person gab an, dass das Bewertungskriterium „Sicht“ unklar war).

Die schlechte Dynamik-Bewertung des „sehr ruhigen“ Fernlichtassistenten B (Abbildung 6) kann darauf zurückgeführt werden, dass auch bei langen Wartezeiten Situationen auftreten, bei denen man direkt nach dem Aufblenden wieder auf Abblendlicht umschalten muss. Trotz reduzierter Sicht durch die lange Wartezeit konnte die dynamische Situation nicht verhindert werden, was an Hand der Äußerungen der Versuchspersonen als sehr negativ empfunden wurde. Möglicherweise hängt dies auch mit der störend eingestuften Bewertung von niedriger Dynamik zusammen (Abbildung 15)

Der „gemischte“ Fernlichtassistent kann an Hand der Verteilung der Wartezeiten kaum eingeschätzt werden, da die zufällig gewählte Wartezeit große Unterschiede im Verhalten hervorrufen kann. Die scheinbar bimodale Verteilung im Streudiagramm (Abbildung 9c) kann auf diese Weise entstanden sein.

Der „echte“ Fernlichtassistent H schneidet sowohl in der Platzierung der Sicht, als auch in der Platzierung der Dynamik *nicht* am besten ab (Abbildung 5, Abbildung 6), wird jedoch am häufigsten empfohlen (Abbildung 4). Dies kann darauf hinweisen, dass die Situationserkennung, die bei den anderen „zufälligen“ Fernlichtassistenten nicht vorhanden ist, eine Rolle in der Bewertung spielt. Ein direkter Vergleich mit dem „gemischten“ Fernlichtassistenten C kann nicht vorgenommen werden, da nicht ausgeschlossen ist, dass sich die Histogramme durch die Situationsabhängigkeit stark voneinander unterscheiden.

Eine Einschätzung eines Fernlichtassistenten ausschließlich an Hand des Histogramms der Wartezeiten liefert demnach keine verlässlichen Ergebnisse. Eine Auswertung der einzelnen Fahrten und Fahrsituationen ist daher empfehlenswert.

5.2 Unterschiede zwischen den Kollektiven

Zwischen den Kollektiven 1 und 2 gibt es bei der Bewertung der Fernlichtassistenten A und C teilweise recht große Unterschiede (Abbildung 4 - Abbildung 9; vgl. Schwerpunkte Tabelle 8). Die Vermutung, dass die Bewertung der Fernlichtassistenten von der Wahl der Kollektive abhängt, konnte an Hand der Streudiagramm-Daten des Fernlichtassistenten A (größte Schwankungen, Tabelle 9) mit Hilfe des exakten Fisher-Tests auf den Quadranten nicht gezeigt werden. Die Boxplots von Sicht und Dynamik des Streudiagramms (Abbildung 10 und Abbildung 11) weisen in einer gekerbten Darstellung („notched“; nicht dargestellt) Überlappungen der Kerben auf, das ebenfalls darauf hinweist, dass die Unterschiede in den Kollektiven zufallsbedingt sein könnten.

Falls die Schwankungen nicht zufällig entstanden sein sollten (z.B. Ergebnis bedingt durch zu geringe Anzahl Personen im Kollektiv), könnte die Änderung durch die unterschiedliche Startzeit oder durch die Zusammensetzung der Fernlichtassistenten im Test hervorgerufen worden sein.

- Die Startzeit war am Anfang der Studie (~Kollektiv 1) später als am Ende (~Kollektiv 2), was sich auf die Verkehrsdichte auswirkt. Je geringer die Verkehrsdichte ist, desto geringer ist das Risiko, nach dem Aufblenden sofort wieder abblenden zu müssen. Das Kollektiv 1 müsste demnach die Dynamik des

„sehr dynamischen“ Fernlichtassistenten A bevorzugen. Die Veränderung der Dynamik-Bewertung im Streudiagramm (Abbildung 8) des FLA A, der immer sehr früh aufgeblendet hat (kaum zufällige Schwankungen), widerspricht dieser Argumentation.

- Die unterschiedliche Bewertung des „gemischten“ Fernlichtassistenten C kann zufallsbedingt sein, wenn der Assistent beim ersten Kollektiv zufällig meistens die falsche Wartezeit gewählt hat (z.B. kurze Wartezeit, wenn lange besser gewesen wäre) und beim zweiten Kollektiv die passende Wartezeit gewählt hat. Ohne eine detaillierte Auswertung der einzelnen Testfahrten kann man daher keine Aussage treffen.
- Das erste Kollektiv fuhr mit dem „sehr ruhigen“ Fernlichtassistenten B, das zweite Kollektiv mit dem „echten“ Fernlichtassistenten H. Ob der „sehr ruhige“ Fernlichtassistent B die Bewertung der Versuchspersonen zum „sehr dynamischen“ Fernlichtassistenten hin verschoben hat, ist unklar.

5.3 Sicht und Dynamik

Mit Hilfe des exakten Fisher-Tests kann man zum Testniveau $\alpha=0,05$ zeigen, dass die Empfehlung eines Fernlichtassistenten (Abbildung 2d) sowohl von der Sicht (Abbildung 2a), als auch von der Dynamik-Störschwelle (Abbildung 2c) abhängt. Die Abhängigkeit von der Dynamik („zu niedrig“ ... „zu hoch“, Abbildung 2b) konnte damit nicht gezeigt werden, was am Fehlen einer Störschwelle in der Skala begründet sein kann.

Betrachtet man ausschließlich das Kollektiv 2 (ACH), so kann nur die Abhängigkeit der Empfehlung von der Dynamik-Störschwelle gezeigt werden, jedoch nicht von der Sicht. Es könnte sein, dass die Versuchspersonen durch die überwiegend als gut eingeschätzte Sicht (nur 3/24 ~13% als niedrig eingestuft) die Empfehlung überwiegend von der Dynamik-Störschwelle abhängig machten.

Der „echte“ Fernlichtassistent H wird sowohl bei der Sicht (Abbildung 5), als auch bei der Dynamik-Störschwelle (Abbildung 6) insgesamt schlechter bewertet als in der Gesamtbewertung (Abbildung 4). Das lässt darauf schließen, dass neben Sicht und Dynamik-Bewertung weitere Eigenschaften eines Fernlichtassistenten ausschlaggebend für dessen Empfehlung sind.

Bei den Erwartungen an die Bewertung (vgl. Tabelle 1) wurde davon ausgegangen, dass bei einem zufälligen Fernlichtassistenten mit besserer Sicht die Dynamik-Bewertung schlechter wird. Vergleicht man den „sehr dynamischen“ Fernlichtassistenten A mit dem „sehr ruhigen“ Fernlichtassistenten B, kann man wie erwartet feststellen, dass die Sicht mit dem FLA A immer besser eingestuft wurde als die vom FLA B (relativer Vergleich der Einzel-Bewertungen). In den meisten Fällen (3/12=75%) wurde die Dynamik des FLA A wie erwartet höher eingestuft als die von FLA B. Der Zusammenhang zwischen Sicht und Dynamik scheint wie erwartet zu sein.

Es kann über die Korrelations-Tests⁹ gezeigt werden, dass die Dynamik-Störschwelle und die Bewertung der Sicht ebenfalls miteinander zusammenhängen, allerdings ist der

⁹ Über den exakten Fisher-Test auf den Quadranten und Kendalls Tau auf den Roh-Bewertungen kann man zeigen, dass die Sicht und die Dynamik-Störschwelle zusammenhängen. Über Kendalls Tau kann man den Zusammenhang auch für die Fernlichtassistenten A und B zeigen.

Zusammenhang anders herum als erwartet (Vorzeichen des Korrelationskoeffizienten; siehe auch Regressionsgerade in Abbildung 14): je höher die Sicht ist, desto angenehmer wird die Dynamik eingestuft. Dies mag darin begründet sein, dass auch eine niedrige Dynamik entgegen der beim Versuchsentwurf gewollten Bewertungsweise als störend eingestuft wurde (Abbildung 15). Der Wunsch nach einem Mindestmaß an Änderungen pro Zeit (was eine schlechte Bewertung von niedriger Dynamik erklären könnte) ist unwahrscheinlich, da der Fahrer ohne Assistenzsystem sonst wahrscheinlich häufiger Fernlicht nutzen würden.

Über den nicht-monotonen Zusammenhang von Dynamik und Dynamik-Störschwelle (Abbildung 15) kann begründet werden, dass kein Zusammenhang von Dynamik und Sicht gezeigt werden konnte: zwischen Dynamik-Störschwelle und Sicht besteht ein monotoner Zusammenhang, weshalb der Zusammenhang zwischen Dynamik-Bewertung und Sicht ebenfalls nicht-monoton sein muss und mit dem genutzten Korrelationstest nicht entdeckt werden konnte.

Ursprünglich wurde erwartet, dass die Sicht-Bewertung einen stärkeren Einfluss auf die Bewertung hat, als die Dynamik. Die Auswertung der Zusammenhänge von Sicht, Dynamik und Empfehlung (Tabelle 11 und Tabelle 12) hat gezeigt, dass der Zusammenhang von Sicht und Empfehlung etwas geringer ist als der Zusammenhang zwischen Dynamik-Störschwelle und Empfehlung. Man kann daraus schließen, dass die Sicht bei Nutzung eines Fernlichtassistenten häufig als ausreichend hoch erachtet wurde. Alternativ kann man daraus schließen, dass die Versuchspersonen die Dynamik-Störschwelle als Bewertung für den Gesamt-Eindruck genutzt haben, was durch Abbildung 15 gestützt wird, wenn man den ursprünglich angenommenen Zusammenhang von Sicht und Dynamik voraussetzt (mit steigender Dynamik steigt Sicht). Unter diesem Aspekt scheinen die Unterschiede in der Dynamik-Bewertung des immer „sehr dynamischen“ Fernlichtassistenten A (mit eigentlich konstant hoher Dynamik) in Abbildung 8c dafür zu sprechen, dass die Versuchspersonen unterschiedliche Auffassungen der Dynamik-Bewertung hatten. Das hätte auch Einfluss auf die Ergebnisse, die in Abschnitt 5.1 diskutiert wurden.

Obwohl die Versuchspersonen der Ansicht waren, dass sie die Bewertungskriterien verstanden haben (außer einer Person bei „Sicht“), muss bei künftigen Tests das Bewertungskriterium „Dynamik“ genauer spezifiziert werden (z.B. durch wiederholte Erläuterung von Dynamik und Sicht vor dem Ausfüllen der Fragebögen), mit Hilfe von mehreren unterschiedlichen Fragen robuster geprüft werden und/oder der Begriff „Dynamik“ durch einen anderen Begriff ersetzt werden (z.B. „Ruhe“): Eine Versuchsperson äußerte, dass der „sehr dynamische“ Fernlichtassistent A durch das schnelle Aufblenden eine sehr angenehme Dynamik habe.

6 Referenzen

- [FoS12] J. Foltin, Ch. Schierz, *Flickerempfindung bei Veränderung der Lichtverteilung von Kfz-Scheinwerfern*, Tagung LICHT 2012, Berlin, Tagungsband S. 158-165
- [HEK09] J. Hartung, B. Elpelt, K.-H. Klösener, *Statistik – Lehr und Handbuch der angewandten Statistik*, 15. Auflage, Oldenbourg Verlag, München
- [Kol08] M. Kolonko, *Stochastische Simulation – Grundlagen, Algorithmen und Anwendungen*, Vieweg+Teubner, 2008

- [Man+07] K. Manz, D. Kooß, K. Klinger, S. Schellinger, *Entwicklung von Kriterien zur Bewertung der Fahrzeugbeleuchtung im Hinblick auf ein NCAP für aktive Fahrzeugsicherheit*, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, F 65, 2007
- [Sal+97] Salvendy, G. (Hrsg.), Boyce, P. R., *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, Kapitel *Illumination*, Wiley & Sons, 1997
- [Sch+09] B. Schlag (Hrsg.), I. Petermann, G. Weller, Ch. Schulze, *Mehr Licht – mehr Sicht – mehr Sicherheit? Zur Wirkung verbesserter Licht- und Sichtbedingungen auf das Fahrverhalten*, VS Verl. für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2009