

DRIVESAFE BRILLENGLÄSER VON ZEISS

Sicherheit und Komfort unter schwierigen Fahrbedingungen

Für viele Brillenträger ist Autofahren heutzutage eine Notwendigkeit und viele Fahrer fühlen sich unbehaglich und ängstlich bei schwierigen Lichtverhältnissen und schlechter Sicht. Diese Bedenken sind gerechtfertigt: Laut Statistik ist die Gefahr von tödlichen Unfällen in diesen Situationen deutlich höher. Die Ursachen sind hinreichend bekannt, deshalb wurde ein Brillenglas für Autofahrer entwickelt, das die Risiken von psychologischer Blendung durch Autoscheinwerfer und vermindertem temporalen und räumlichen Sehen im Zusammenhang mit Dämmerungssehen mildern sollte. ZEISS stellt die neuen *DriveSafe* Brillengläser als Einstärken- und Gleitsichtglas vor, die für Aktivitäten am Tag und insbesondere für das Fahren bei Dämmerung oder Nacht gut geeignet sind.

Autofahren ist ein grundlegendes aber anstrengendes Erfordernis des täglichen Lebens

Unsere Sehkraft wird im Laufe des Tages durch sich ändernde Umgebungen und Aufgaben beeinflusst. Aus diesem Grund wurden Spezialbrillengläser für die spezifischen Anforderungen beim Sport, als Sonnenschutz oder zur Verwendung bei der Arbeit mit dem Rechner entwickelt. Diese Gläser sind normalerweise besser als Zweit- oder Drittbrille geeignet, da sie nicht für alle Aktivitäten gleichermaßen tauglich sind. Das Autofahren stellt eine besonders große Herausforderung dar. Allerdings handelt es sich hierbei um keine hochspezielle Aufgabe mit sehr eng begrenzten Anforderungen, für die die Anschaffung einer Zweit- oder Drittbrille eher nicht infrage kommt. Eine vor Kurzem von ZEISS¹ durchgeführte Marktstudie, dass Autofahren für 83 % der fahrenden Brillenträger alles andere als ein pures Freizeitvergnügen ist. Die große Mehrheit (72 %) möchte im Alltag nur eine einzige Brille benutzen, die auch den besonderen Herausforderungen beim Autofahren gewachsen ist. Dieselbe Studie zeigte außerdem auf, dass Fahren bei Regen, Dunst oder Nebel sowie bei Dämmerung oder bei Nacht am häufigsten Unbehagen verursacht (Abb. 1)¹.

Herausforderung durch schlechte Beleuchtung

Autofahrer haben guten Grund, bei widrigen Lichtverhältnissen vorsichtig zu sein, denn eine unverhältnismäßig hohe Zahl tödlicher Unfälle ereignet sich bei Dunkelheit. Dreißig Prozent der tödlichen Autounfälle in Deutschland^{2,3} passieren bei widrigen Lichtverhältnissen und bei Nacht. Im Jahr 2010 starben in den USA 48 % der Autoinsassen bei Autounfällen in der Nacht⁴. Eine weitere Studie fand heraus, dass sich in Großbritannien mehr als die Hälfte aller tödlichen Unfälle bei Nacht ereignet, obwohl zu dieser Zeit weniger Verkehr herrscht. Die Wahrscheinlichkeit, bei einem Autounfall ums Leben zu kommen, ist bei Nacht also doppelt so hoch. Die letzte Studie kam zu dem Schluss, dass schlechte Beleuchtung der Hauptgrund für Verkehrsunfälle mit tödlichem Ausgang ist⁵. Eine andere Studie ergab, dass 50 % aller Befragten das Fahren bei Nacht wegen der widrigen Lichtverhältnisse als anstrengend empfinden und großes Interesse an einer Lösung besteht, welche die Sicht bei Dunkelheit verbessern könnte⁶.

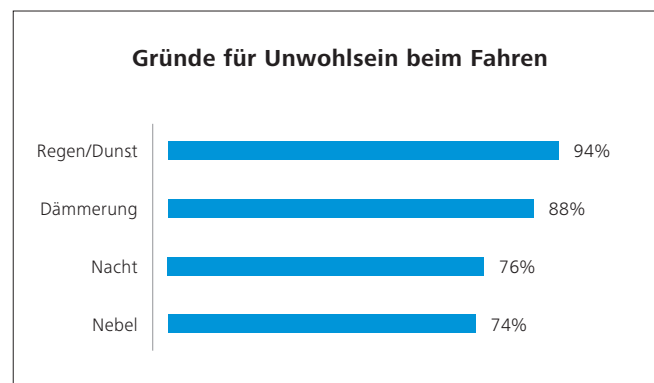


Abb. 1 Gründe für Unwohlsein bei Fahrern mit Brille

Herausforderung durch Blendung

Viele Länder haben auf dieses Beleuchtungsproblem reagiert, indem sie die Anzahl und Intensität der Fahrbahnbeleuchtung erhöhten. Dieser Ansatz lässt sich allerdings nicht in allen Regionen umsetzen und führt zu anderen Problemen wie einem erhöhten Energieverbrauch. Anbieter von Fahrzeugbeleuchtungslösungen haben HID-/Xenon- und LED-Scheinwerfer entwickelt, die heller sind und die Straße besser ausleuchten. Die Fahrer schätzen die bessere Erkennbarkeit der Außenumgebung, die diese Scheinwerfer bieten. Doch die zunehmende Zahl der Fahrzeuge mit diesen neuen Scheinwerfern führt auch zu mehr Klagen über Blendung durch den entgegenkommenden Verkehr. Die gesteigerte Helligkeit kann zur physiologischen Blendung führen, durch die Objekte in der Nähe der Lichtquelle schlechter erkannt werden. Darüber hinaus strahlen moderne Scheinwerfer einen größeren Anteil an bläulichem Licht aus. Diese Farbveränderung hat zu vermehrten und heftigen Beschwerden bezüglich psychologischer Blendung geführt, bei der der Blick in helles Licht als unangenehm und stressig empfunden wird (Abb. 2). Der Schweregrad dieser Beschwerden nimmt mit der Helligkeit der Lichtquellen und deren Einfluss auf das Auge zu und scheint mit der Verschiebung zum blauen Farbspektrum⁷ zusammenzuhängen. Ältere Autofahrer mit vorhandenen aber unbehandelten Trübungen im Auge, z. B. Katarakten, beklagen sich häufig über Blendungserscheinungen. Die Lichtstreuung in einer getrübbten Augenlinse gilt als eine der wichtigsten Ursachen für diese Symptome⁸.



Abb. 2 Blendung im Straßenverkehr

Komplexe Sehanforderungen beim Autofahren

Das Fahren stellt bei Tag oder Nacht komplexe Anforderungen. Autofahrer müssen sich auf immer neue Situationen einstellen und ihre Aufmerksamkeit darauf lenken. Das ist beispielsweise der Blick auf die vorausliegende Straße, um nahende Kurven zu erkennen und entsprechend beschleunigen oder bremsen zu können. Oder die Wahrnehmung der Umgebung und der eigenen Position im Verkehrsfluss sowie die Erkennung möglicher Gefahren, die vom übrigen Verkehr oder den Straßenverhältnissen ausgehen⁹. Auch die vielen Informationen auf den verschiedenen Anzeigen der Instrumententafel vorne und auf der Seite sind problematisch. Zu diesen Anforderungen kommt noch, dass mehrere Spiegel kontrolliert werden müssen, um den nachfolgenden Verkehr zu beobachten. Für eine verbesserte Sicherheit erhöhen die Automobilhersteller weiterhin die Anzahl von Informationsquellen in ihren Fahrzeugen und integrieren Funktionen wie Annäherungswarnsysteme und Totwinkel-Assistenten an den Seitenspiegeln. Die Komplexität dieser Aufgaben zwingt den Fahrer zu häufigen Augen- und Kopfbewegungen und damit zur Änderung der Blickrichtung, des Fixationsorts und zur Akkommodation¹⁰. Bei alterssichtigen Gleitsichtglasträgern wurde beobachtet, dass in diesen Situationen ihre volle Aufmerksamkeit gefragt ist, und sich die Reaktionszeit verlangsamt, weil sie verstärkt Augen und Kopf bewegen müssen¹¹. Reaktionszeiten nehmen insbesondere unter anstrengenden Bedingungen mit widrigen Sichtverhältnissen zu und die Zeit zur Änderung der Fixation wird immer kritischer.

Drei visuelle Herausforderungen. Drei Lösungen. Ein Brillenglas.

Die ZEISS Studie bestätigt, dass widrige Lichtverhältnisse, Blendung und anstrengende Seh- und Akkommodationsaufgaben für den Fahrer einen großen Einfluss auf die Sehqualität beim Fahren haben. Untersuchungen haben außerdem ergeben, dass eine nicht korrigierte Nachtmyopie beim Fahrer (-0,50 dpt bis -1.00 dpt) und ein subkritisches Blendungsniveau von 0,4 lx bei Nacht zu einer höheren Kontrastschwellenleistung führt als mit Korrektionsgläsern und blendenden LED-Scheinwerfern mit 1,2 lx¹². Die verschiedenen Ergebnisse liefern eindeutige Gründe für die Entwicklung geeigneter Brillengläser, die die Sicht beim Fahren in kritischen Lichtverhältnissen verbessern. Für die Entwicklung der *DriveSafe* Brillengläser wurden drei visuelle Herausforderungen berücksichtigt und eine Komplettlösung erarbeitet, die auf die Akkommodationsanforderungen des Trägers

abgestimmt ist und entweder als Einstärken- oder Gleitsichtglas verfügbar sein sollte.

I. Herausforderung durch Beleuchtung

Beim Fahren muss sich das Auge schnell auf verschiedene Lichtverhältnisse einstellen. Die Pupillenlichtreaktion erfolgt bei Beleuchtungsänderung am schnellsten und wirkt sich deutlich auf die Leistung von Brillengläsern aus. Es ist hinreichend bekannt, dass die Pupille bei heller Umgebungsbeleuchtung, bei der sich der Fahrer am sichersten fühlt, am kleinsten ist. Die gefährlichste Zeit für das Fahren ist nach der Dämmerung oder bei Dunkelheit, wenn die Lichtintensität gering und die Pupillen am weitesten sind.

Im Allgemeinen wird zwischen drei Helligkeitsgraden unterschieden: photopisch, skotopisch und mesopisch (Abb. 3).

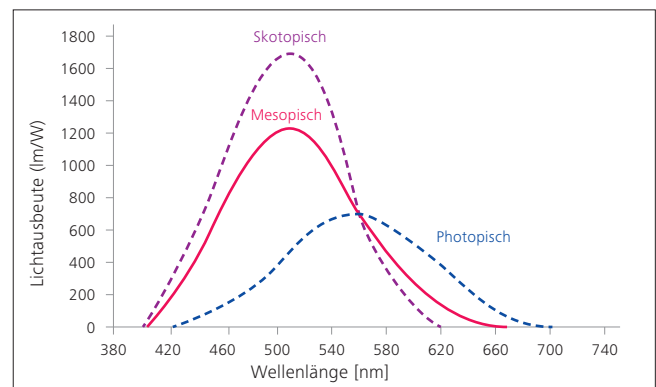


Abb. 3 Die Empfindlichkeit des menschlichen Auges gegenüber der Leuchtdichte verlagert sich bei geringer Beleuchtungsstärke vom grünen zum blauen Spektrum

Beim **photopischen Sehen** (Tagessehen) ist die temporale und räumliche Kontrastempfindlichkeit und Sehschärfe am besten und bei einer Beleuchtungsstärke von 1 lx und höher vollständig wirksam. Das verbesserte temporale und räumliche Sehen wird durch Zapfen-Fotorezeptoren unterstützt, deren kombinierte Lichtempfindlichkeit bei einer Wellenlänge von etwa 555 nm ihren Höhepunkt erreicht. Es gibt drei Zapfentypen (S-Zapfen für kurze, M-Zapfen für mittlere und L-Zapfen für lange Wellenlängen), die für das Farbsehen verantwortlich sind. Daher können beim Tagessehen Farbunterschiede am besten wahrgenommen werden. Beim Tagessehen sind die Stäbchen der Retina saturiert und reaktionsträge, weshalb sie am Sehvorgang kaum beteiligt sind.

Vom **skotopischen Sehen** (Nachtsehen) wird bei Beleuchtungsstärken von 0,01 lx oder weniger gesprochen, es kommt beim Autofahren aber eher nicht vor. Die Umstellung auf das skotopische Sehen erfolgt an besonders dunklen Orten ohne künstliche Beleuchtung, beispielsweise in einer mondlosen Nacht mit bedecktem Himmel. Das Nachtsehen wird durch die Stäbchen-Fotorezeptoren ermöglicht; da es nur einen Stäbchentyp gibt, werden dabei keine Farb-, sondern lediglich Helligkeitseindrücke wahrgenommen. Die Lichtempfindlichkeit ist beim skotopischen Sehen bei einer Wellenlänge zwischen 505 und 510 nm am höchsten. Die Stäbchen tragen nicht zur Sehschärfe bei und sind außerdem reaktionsträge. Tatsächlich

muss das Auge dieser Beleuchtungsstärke mindestens 20 Minuten lang ausgesetzt sein, um sich an die Lichtverhältnisse beim Nachtsehen anpassen zu können. Das Nachtsehen ist daran erkennbar, dass sämtliche Formen unscharf und keine Farben erkennbar sind. Typische Autoscheinwerfer verfügen über eine Beleuchtungsstärke von etwa 0,3 lx auf 150 m in den USA und über 0,4 lx auf 50 m in Europa (bezogen auf die verschiedenen Standards und Normen), was den photopischen Bedingungen ziemlich nahe kommt^{13,14}. Allerdings kann das periphere Sehen des Fahrers eingeschränkt sein. Schlecht beleuchtete Gefahrenstellen außerhalb des Scheinwerferlichtkegels werden dabei nicht erkannt, selbst wenn sich diese nicht im skotopischen Bereich befinden.

Das **mesopische Sehen** (Dämmerungssehen) findet zwischen dem photopischen und skotopischen Bereich bei Beleuchtungsstärken zwischen 0,01 und ca. 1 lx statt. An diesem Sehvorgang sind sowohl Stäbchen als auch Zapfen beteiligt. Beim Fahren bei Nacht oder Dämmerung liegt die Beleuchtungsstärke im mesopischen Bereich. Das ist genau der Bereich, bei dem sich Fahrer am häufigsten über widrige Lichtverhältnisse beschweren. Im mesopischen Bereich sind sowohl Sehschärfe als auch Farbwahrnehmung reduziert. Außerdem reagiert das Auge hier langsamer als im photopischen Bereich.

Die Pupillenlichtreaktion sorgt bei photopischer Beleuchtungsstärke für eine Pupillenverengung (Miosis) und bei skotopischer Beleuchtungsintensität für eine Pupillenerweiterung (Mydriasis). Allerdings ist die Pupillenerweiterung im mesopischen Bereich immer noch ziemlich ausgeprägt, was zu verstärkten Aberrationen und einer verminderten Sehschärfe führt (Abb. 4 und 5). Dies hat beispielsweise zur Folge, dass bei einer vergrößerten Pupille Aberrationen höherer Ordnung (AHO) eine verstärkte Wirkung zeigen. Das Netzhautbild ist weniger kontrastreich und der effektive Refraktionsfehler wird so verändert, dass andere Brechwerte nötig werden als die bei kleiner Pupille gemessenen Werte¹⁵.

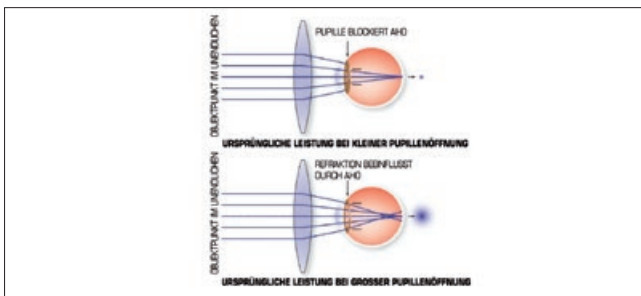


Abb. 4 Effekt von AHO und Pupillengröße auf das Netzhautbild

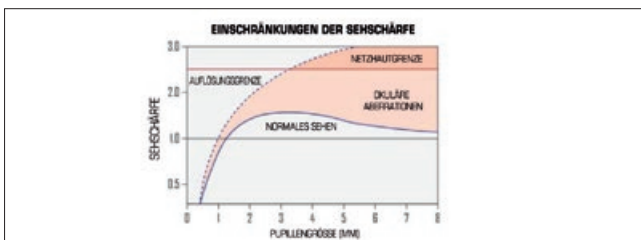


Abb. 5 Einschränkung der Sehschärfe in Abhängigkeit von der Pupillengröße

Sicht- und Kontrastprobleme

Bei einer mesopischen Beleuchtungsstärke nehmen Sehschärfe und Kontrastempfindlichkeit an der Retina und in den Sehbahnen des Gehirns deutlich ab. Der durch die Pupillenweitung bei geringerer Beleuchtungsintensität hervorgerufene vergrößerte Pupillenbereich verringert zudem den Kontrast des Bilds auf der Retina. Bei Nebel oder Regen nimmt der Kontrast von Objekten außerhalb des Fahrzeugs ebenfalls ab, weil das Licht durch Wassertropfen in der Luft gestreut wird. Wenn die physiologische Reaktionsfähigkeit des Auges durch geringe Helligkeit und verminderten Objektkontrast reduziert ist, wird sie durch atmosphärische Effekte noch weiter verschlechtert. Aus diesem Grund muss die optische Leistung von Brillengläsern so gut wie möglich sein. Allerdings können Aberrationen außerhalb der optischen Achse von Einstärkengläsern und die deutlichen Aberrationen zweiter Ordnung von Gleitsichtgläsern bei vergrößerter Pupille zu einer noch schlechteren Bildqualität führen.

Die Lösung: Luminance Design® Technologie

Normalerweise wird bei der Entwicklung von Gleitsichtgläsern wie folgt vorgegangen: Ein Hauptstrahl¹⁶ wird an einem beliebigen Referenzpunkt auf einer Linse verfolgt, die Krümmungen der Linse werden an den Stellen festgelegt, an denen der Hauptstrahl die Linsenoberfläche durchschneidet, und die Änderung der Brechwerte wird anhand der Winkel berechnet, in denen der Hauptstrahl auf die Oberflächen¹⁷ auftritt. Dies bedeutet im Prinzip, dass bei der herkömmlichen Berechnung nur die Pupillenposition berücksichtigt wird, nicht ihr Durchmesser.

ZEISS stellte vor Kurzem die *Luminance Design*® Technologie in seinen Individual 2 Gleitsichtgläsern vor, die diese Tatsache berücksichtigt. Das neue Verfahren zur Glasberechnung optimiert die Brechwerte, indem es den gesamten Lichtstrahl nutzt, der die Pupille passiert. Bei dem Individual 2 Gleitsichtglas von ZEISS wird das Brillenglas für die erwartete Frequenz und die Lichtverhältnisse bei verschiedenen täglichen Aufgaben optimiert. Es ist daher für den Alltagsgebrauch geeignet. Bei *DriveSafe* Brillengläsern werden die Berechnungen und Optimierungen anhand größerer Pupillendurchmesser durchgeführt, die bei mesopischen Lichtverhältnissen erwartet werden. Abb. 6 zeigt eine schematische Darstellung des Konzepts. Das Bild zeigt ein Auge, das durch einen Punkt im Gleitsichtglas geradeaus blickt. Beim herkömmlichen Verfahren würde der Brechwert an diesem Punkt auf der Glasoberfläche mithilfe der Vergenz eines einzelnen Strahls, der die Oberfläche schneidet, dem horizontalen und vertikalen Schnittwinkel mit der Oberfläche und der Oberflächenkrümmung an dieser Stelle berechnet. Mit der *Luminance Design*® Technologie werden viele Strahlen abgebildet, die auf der durch die Pupille festgelegte Öffnung auftreffen, um den Brechwert des gesamten Lichtstrahls zu berechnen. Die linke Bildtafel zeigt, wie sich die Pupille bei mesopischer Beleuchtungsstärke erweitert, wodurch sich der

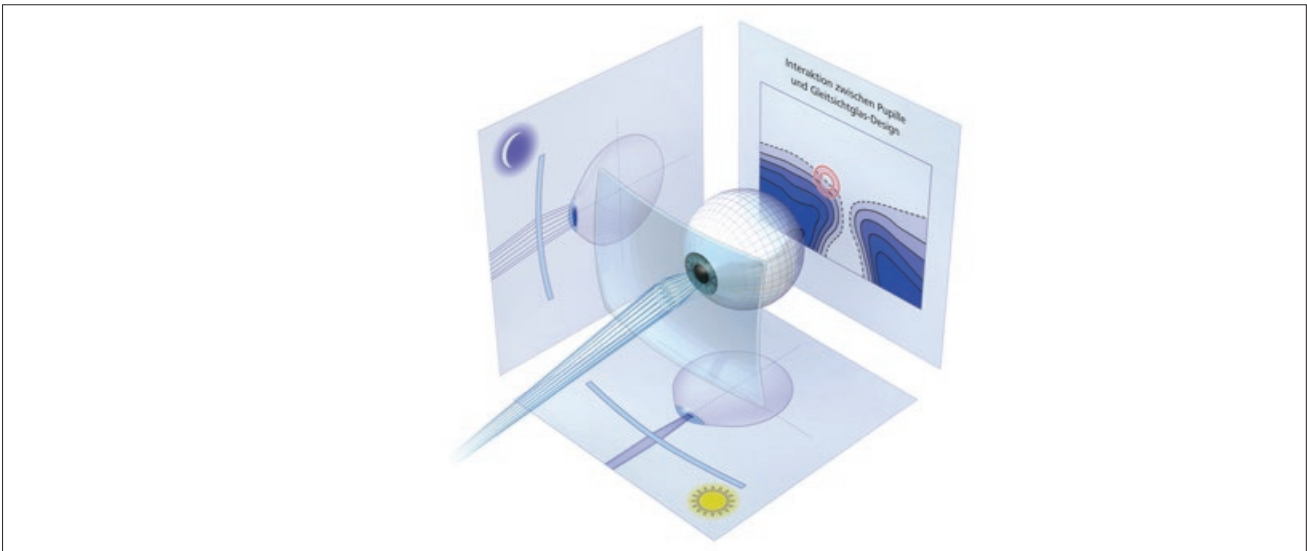


Abb. 6 Schematische Darstellung der ZEISS *Luminance Design*® Technologie

Strahl durch die Pupille erweitert. Die untere Bildtafel zeigt, wie sich die Pupille bei Helligkeit verengt, wodurch der Strahl schmaler wird. Die hintere Bildtafel zeigt eine Projektion der zwei verschiedenen Strahldurchmesser auf die vorgegebene Brechwertverteilung des Gleitsichtglases. Die beiden konzentrischen roten Kreise markieren die zwei Pupillengrößen und machen deutlich, dass die größere Pupille einen breiteren Bereich des Brechwertgradienten abdeckt.

Bei einem mithilfe herkömmlicher Verfahren entwickelten Gleitsichtglas wird das Auge, das eine dem mesopischen Bereich angepasste Pupillengröße aufweist, einen größeren Teil der unscharfen Übergänge entlang der Grenzen des peripheren Astigmatismus „abtasten“, wodurch das Sehfeld eingeschränkt und der Kontrast reduziert wird. Beim Blick durch einen Bereich am Rand einer Zone, die eigentlich scharf sein sollte, kommt

es zu vermindertem Kontrast und Verzerrungen, durch die ein weniger klarer Seheindruck entsteht. Durch Kompensation der Gleitsichtglasoberfläche mit *Luminance Design*® werden diese Fehler in *DriveSafe* Brillengläsern reduziert und Kontrast und Schärfe erhöht.

Brillen Träger mit Einstärkengläsern müssen sich wegen der Progressionszonen hingegen keine Gedanken machen. Allerdings weisen alle Brillengläser, Einstärken- und Gleitsichtgläser, Aberrationen außerhalb der optischen Achse auf, die die Sehqualität mindern, wenn das Auge nicht mehr durch den Mittelpunkt der Linse blickt. Da die Pupillengröße ebenfalls Einfluss auf diese Aberrationen hat, fließt bei der Optimierung des Einstärkenglases mithilfe der *Luminance Design*® Technologie auch die Pupillenerweiterung in die Berechnungen mit ein.

Pupillendurchmesser im mesopischen Bereich

Nach sorgfältiger Überprüfung der Frequenz und Dauer verschiedener Aufgaben und Lichtintensitäten mittels eines Gewichtungsfaktors für Beleuchtung (Abb. 7) hat ZEISS einen mittleren Pupillendurchmesser von 3,3 mm zur Optimierung seiner Progressive Individual 2 Brillengläser festgelegt. Da die Fahrbedingungen bei mesopischen Lichtverhältnissen am problematischsten sind, wurde die Frequenz und Dauer von Autofahrten bei einer geringeren Beleuchtungsstärke für *DriveSafe* Brillengläser von ZEISS neu berechnet. Hierzu wurde für *DriveSafe* Gleitsichtgläser ein Pupillendurchmesser von 4,3 mm angesetzt, für *DriveSafe* Einstärkengläser 5,0 mm. Die etwas kleinere Pupillengröße bei Gleitsichtgläsern nach *Luminance Design*® Berechnungen ist der altersbedingten Miosis geschuldet, da die Anpassung der Pupillengröße bei älteren Personen nachlässt. *DriveSafe* Gleitsichtgläser sind überwiegend für alterssichtige Personen vorgesehen, die in diese Altersklasse fallen, deshalb enthielt die Datenbank

	Pupillen- durchmesser	Beleuchtung (lx)	Schaufgabe (Beispiele)	Gewichtsfaktor der Beleuchtung
	groß	0,01	Nacht	0%
		1	Dämmerung	5%
		100	Kino	10%
		500	Büro/ PC-Arbeit	50%
		1000	10 Min. nach Sonnen- aufgang	20%
	klein	2500	trübes Wetter	15%

Abb. 7 Berücksichtigung der Frequenz und Dauer diverser Aufgaben und Lichtintensitäten

mit Pupillengrößen nach Beleuchtungsstärke entsprechend geringere Werte als die Datenbank, die für die Entwicklung von Einstärkengläsern verwendet wird.

II. Herausforderung durch Blendung

Licht ist für unser körperliches und seelisches Wohlbefinden äußerst wichtig. Unser Biorhythmus und unsere kognitiven Fähigkeiten werden durch die spektralen Eigenschaften des Lichts, die Dauer der Lichteinwirkung, die Intensität und räumliche Verteilung beeinflusst. Wenn die Lichtintensität jedoch plötzlich zunimmt, wird die Anpassung verzögert und es kommt zur Blendung. Das ist vor allem dann problematisch, wenn der Hintergrund nur schwach beleuchtet ist, insbesondere nachts bei wolkenverhangenem Himmel. Das Problem kann durch Reflexionen der regennassen Straße, die das Licht von herabhängender Straßenbeleuchtung und Scheinwerfern wie ein Spiegel zurückwerfen, weiter verstärkt werden. Die physiologische Blendung ist eine Folge der Lichtstreuung zwischen Betrachter und Objekt, die stark von Nebel, Regen und Schmutz oder Wasser auf der Windschutzscheibe eines Fahrzeugs beeinflusst wird. Sie hängt außerdem von den spektralen Eigenschaften, der Helligkeit und der Leuchtdichte der Blendquelle und der Dauer ab. Als Schutzmaßnahme kann die Sonnenblende heruntergeklappt, eine Hand vorgehalten oder der Blick gesenkt werden. Die psychologische Blendung hängt also von externen Faktoren ab und ZEISS Untersuchungen haben ergeben, dass dieses Problem vielleicht gelöst werden kann.

Problem der psychologischen Blendung durch entgegenkommenden Verkehr

Psychologische Blendung ist ein subjektives Phänomen, das durch das Vorhandensein von ein oder mehreren Lichtquellen im Sehfeld mit extrem unterschiedlichen Beleuchtungsstärken verursacht wird, auf die sich das Auge noch nicht einstellen konnte. Da sich die Adaptionszeit mit zunehmendem Alter erhöht, kann davon ausgegangen werden, dass die psychologische Blendung wie die physiologische Blendung insbesondere für ältere Fahrer ein Problem darstellt^{18,19}.

Die psychologische Blendung ist bei entgegenkommenden Xenon-/HID- oder LED-Scheinwerfer im Vergleich zu Halogenscheinwerfern noch ausgeprägter. Studien haben außerdem ergeben, dass ein Zusammenhang zwischen dem Anteil des blauen Lichts in der Blendquelle und dem Ausmaß der psychologischen Blendung²⁰ besteht. Die psychologische Blendung wird nicht nur als unangenehm, sondern auch als störend empfunden und führt zu unsicherem Fahren.

Abb. 8 zeigt die ausgeprägte blauweiße LED-Beleuchtung mit erkennbarem Farbübergang (Farbtemperatur von 5500 K) im Vergleich zum gelblichen Halogenlicht bei 2800 K. Die LEDs sind außerdem viel heller als Halogenlampen, da die neuen effizienteren Scheinwerfer vermehrt bläuliches Licht abgeben.



Abb. 8 Verschiedene Farbtemperaturen von LED-, HID-/Xenon- und Halogenscheinwerfern im direkten Vergleich (A)

Im Allgemeinen verursachen alle Scheinwerfer von entgegenkommenden Fahrzeugen Blendung. Allerdings sind insbesondere die Austrittspupillengröße bei geringer Beleuchtung und der Anteil des bläulichen Lichts für die psychologische Blendung verantwortlich¹³.

Die Lösung: **DuraVision® DriveSafe Beschichtung**

Die *DuraVision® DriveSafe* Entspiegelung wurde für ein Lichttransmissionsspektrum entwickelt, das einen optimalen Schutz vor psychologischer Blendung durch Xenon- und LED-Scheinwerfer bietet. Abb. 9 zeigt die typische Strahldichte eines Xenon-/HID- und eines Weißlicht-LED-Moduls, das in Scheinwerfern verwendet wird, und die Transmission von *DuraVision® DriveSafe* auf CR39^{®21}- und Polycarbonatlinsen. Der maximale Spitzenwert der Strahlungsintensität einer Weißlicht-LED liegt bei 440 nm, also im blauen Bereich des sichtbaren Lichtspektrums. Auf der anderen Seite liegt die maximale Empfindlichkeit des Auges bei mesopischen Lichtverhältnissen zwischen dem photopischen Spitzenwert von etwa 550 nm und dem skotopischen bei ca. 510 nm²². Die Transmission der *DuraVision® DriveSafe* Brillengläser hat ihr Maximum im mesopischen Bereich erreicht, nimmt bei kürzeren Wellenlängen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit eine psychologische Blendung auslösen, aber deutlich ab. Im Vergleich dazu bietet die ZEISS *DuraVision Platinum* Technologie über keine spezifische Abschwächung bei kürzeren Wellenlängen.

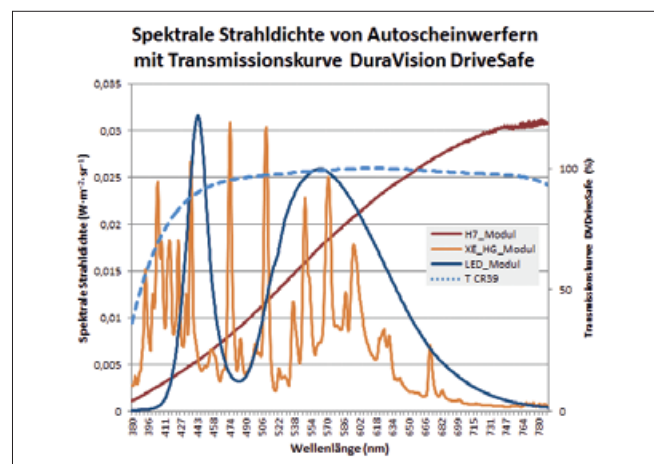


Abb. 9 Durchgezogene Linien: Strahldichte von Autoscheinwerfern: LED, HID/Xenon und Halogen (Quelle: Hella KGaA Hueck & Co.). Beachten Sie das deutliche blaue Spektrum für LED und HID/Xenon. Gestrichelte Linie: Transmissionsspektrum der DriveSafe Beschichtung mit deutlichem Abfall der Transmission im blauen Spektrum

Um die Effektivität der *DuraVision® DriveSafe* Beschichtung im Vergleich zu zwei anderen hochwertigen Entspiegelungen zu untersuchen, wurde in einer ZEISS Studie¹⁴ mit Teilnehmern der Einfluss auf a) den Sehkomfort bei Blendung und b) die empfundene Blendung unter kontrollierten Bedingungen verglichen. Für die Studie wurde eine Weißlicht-LED eingesetzt, um zwei Blendungsbedingungen (*Abb. 10*) gemäß ECE-112-Vorschrift in einer Versuchsdurchführung darzustellen, die in der Automobilindustrie weithin anerkannt ist¹⁴.



Abb. 10 Aufbau für Blendungstest mit Lichtquelle und Sehtafel/Sehzeichen [20]

Getestet und bewertet wurde die Wirkung der drei Entspiegelungen auf Blendung im Straßenverkehr. Die Untersuchungsergebnisse bestätigten, dass die Parameter Kontrastschwelle, spontaner Lidschlag und Augenschluss (Blinzeln) mit den Erkenntnissen aus der Literatur übereinstimmen. Das Ausmaß der psychologischen Blendung wurde mithilfe der De-Boer-Skala von 9 (kaum bemerkbare Blendung) bis 1 (unerträgliche Blendung) in einem Fragebogen untersucht²³.

- Die DriveSafe Beschichtung wurde von fast 50 % der Testpersonen deutlich gegenüber den alternativen Beschichtungen A (22 %) und B (18 %) bevorzugt und als besonders komfortabel eingestuft, was die Erkennung von kontrastarmen Sehzeichen bei Blendung mit weißem LED-Licht betraf (*Abb. 11a*).
- Die neue DriveSafe Beschichtung wurde bei der Frage nach der „geringsten empfundenen Blendung“ im Vergleich zu den anderen hochwertigen Entspiegelungen als am besten bewertet. Es zeichnete sich eine Differenz von 64 % im Vergleich zur Entspiegelung A und von 40 % gegenüber Entspiegelung B ab (*Abb. 11b*).

Beide Ergebnisse waren statistisch signifikant.

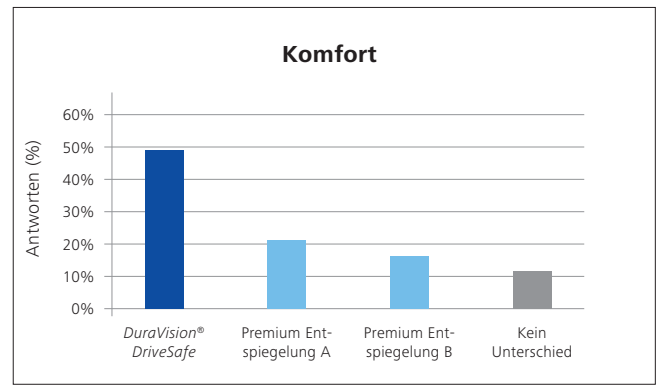


Abb. 11a: Untersuchungsergebnisse zeigen, dass mit DriveSafe Beschichtung die Blendung mit einer Weißlicht-LED als „besonders erträglich“ empfunden wurde (der Fragebogen ließ mehrere Antworten zu und umfasst eine Gewichtung mithilfe der De-Boer-Skala)

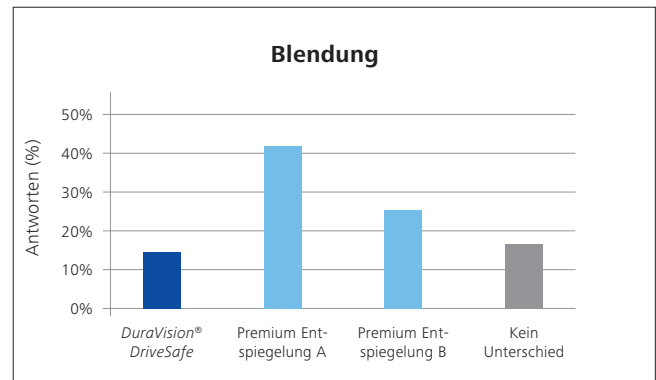


Abb. 11b: Untersuchungsergebnisse zeigen, dass mit DriveSafe Beschichtung die Blendung als „sehr gering“ empfunden wurde (der Fragebogen ließ mehrere Antworten zu und umfasst eine Gewichtung mithilfe der De-Boer-Skala)

Obwohl die neue *DuraVision® DriveSafe* Beschichtung die empfundene Blendung verringert, indem sie einen Teil des sichtbaren Spektrums reduziert, ist sie dennoch durchlässig für den mesopischen und photopischen Bereich und sorgt so für eine maximale Erkennbarkeit der Umgebung und sicheres Autofahren bei Dunkelheit. Wie *DuraVision® Platinum* ist auch *DuraVision® DriveSafe* antistatisch; die Beschichtung ist staubabweisend, kratzbeständig und ermöglicht eine einfache Reinigung.

III. Herausforderung von komplexen Sehanforderungen beim Autofahren

Selbst bei Einstärkengläsern, vor allem aber bei Gleitsichtgläsern, ist es wichtig, die Verteilung der optischen Eigenschaften eines Brillenglases darauf abzustimmen, wo, wie lange und für welchen Zweck die Gläser verwendet werden sollen. Fahrer müssen sich ständig auf unterschiedliche Dinge konzentrieren. Der Blick auf die Straße, in die Peripherie, auf die Instrumententafel und Rück- und Seitenspiegel muss ebenfalls berücksichtigt werden. Diese unterschiedlichen Aufgaben erfordern häufige Augen- und Kopfbewegungen und Änderungen der Blickrichtung, Fixation und Akkommodation. Eine ZEISS Analyse der Anforderungen beim Fahren hat zur Entwicklung neuer Konzepte für Einstärken- und Gleitsichtgläser geführt.

Problem: Stress bei Akkommodation/Konvergenz und dynamisches Sehen

Zur Dynamik des Sehvorgangs beim Autofahren gehören auch Änderungen der Blickrichtung, Konvergenz und Akkommodation. Die Dynamik der Wahrnehmung folgt demselben Prinzip, allerdings beziehen sich kognitive Veränderungen auf den Schwerpunkt einer bestimmten Aufgabe. Sowohl der Fokus der Aufmerksamkeit als auch die Sehdynamik haben großen Einfluss auf die Fahrsicherheit.²⁴

Jede dynamische Aufgabe hat ihre eigenen Anforderungen. Für den Blick auf die Straße müssen beide Augen parallel ausgerichtet sein, d. h. es gibt keine Konvergenz und es findet keine Akkommodation statt. Zu diesem Zweck sollte ein Brillenglas idealerweise über ein breites Sehfeld für einen klaren Fernblick verfügen. Für den Blick in die Rück- und Seitenspiegel ist ebenfalls keine Konvergenz erforderlich, allerdings ist das Sehfeld klein.

Auf der anderen Seite ist es entscheidend, dass die Rück- und Seitenspiegel mit einer schnellen Augenbewegung erfasst werden können, damit nicht zu viel Zeit dafür verloren geht. Um dies zu erreichen, sollten Brillengläser räumliche Verzerrungen minimieren und der Bereich im Brillenglas, durch den das Auge auf die Spiegel blickt, möglichst wenig oder gar keine Unschärfen aufweisen. Diese Position lässt sich nur anhand der Anzahl der Kopfbewegungen und dem Rotationswinkel des Auges nachvollziehen, der die endgültigen Koordinaten für die Blickrichtung bestimmt. Beim Blick auf die Instrumententafel wiederum muss das Auge der meisten Fahrer (mit Ausnahme hochgradig alterssichtiger Fahrer, bei denen die Sehstärkenkorrektur ausgeprägter ist und diese Aufgaben übernimmt) konvergieren und akkommodieren. Der Fahrer muss in der Lage sein, ein vorher ausgewähltes Objekt zu lokalisieren, wenn dies erforderlich ist. Untersuchungen haben ergeben, dass erfahrene Fahrer sich eher auf die Trajektorienplanung als auf die Fixation der Fahrbahn vor ihnen konzentrieren²⁵. Um beispielsweise die Geschwindigkeit zu prüfen, muss der Fahrer planen, auf den Tachometer zu sehen und diesen dann

durch Änderung des Blickwinkels, durch Konvergieren und Akkommodieren finden. Die Suche nach Steuerelementen auf der Mittelkonsole, z. B. der Temperaturregelung, erfordert eine andere geplante visuelle Trajektorie und eine genaue und schnelle Lokalisierung. Idealerweise kann dies mit einem Brillenglas effizient erreicht werden, das eine klare Sicht und ein breites Sichtfeld ohne optische Hindernisse bietet und die effektive räumliche Lokalisierung ermöglicht.

Um diese Anforderungen besser zu verstehen, gab ZEISS eine Studie des Forschungsinstituts für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS)²⁶ in Auftrag, für die moderne vollbewegliche Fahrsimulatoren verwendet wurden. Zu den Fahrsimulatoren gehörte unter anderem ein Head- und Eye-Tracking-System, um das Sehverhalten des Fahrers zu erfassen. Darüber hinaus wurde ein wirklichkeitsnaher Parcours für weitere Tests entwickelt. Die bei 44 Teilnehmern erhobenen Daten entsprachen insgesamt mehr als 33 Netto-Fahrstunden.

Die Studie ergab, dass sich die Fahrer rund 97 % der Zeit auf die Straße vor ihnen und bewegliche Objekte in der Ferne konzentrieren, 2 % der Zeit auf das Armaturenbrett schauen und 1 % der Zeit den Blick schnell zwischen Rück- und Seitenspiegel wechseln. Wenn nur das Zeitelement berücksichtigt würde, müssten Brillengläser zum Autofahren eigentlich nur für die Fernsicht konzipiert werden. Allerdings ist die Sachlage kompliziert, weil die Zeit zwischen der Änderung der Aufgabe und der Aufmerksamkeit die Reaktionszeit verkürzt und zu Unfällen führen kann.

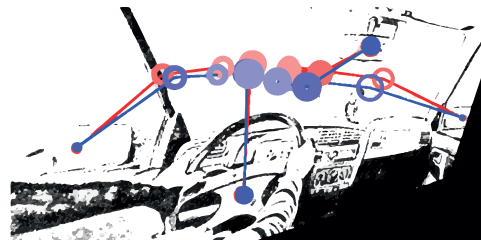


Abb. 12 Kopf- und Augenbewegungen zu Regions of Interest (ROI). Blick durch das Gleitsicht- (rot) und Einstärkenglas (blau). Die verbundenen Kreise zeigen die Bewegung zu ROI des Seitenspiegels und des Armaturenbretts. Der mittlere Kreis jeder Bewegungstrajektorie zeigt die Kopfposition nach Ausführung der Bewegung. Träger von Gleitsichtgläsern bewegen ihren Kopf weiter in Richtung ROI.

In der Sehdynamik beim Autofahren werden Kopf- und Augenbewegungen voneinander abhängig und koordiniert ausgeführt. Träger von Gleitsichtgläsern müssen den Kopf mehr bewegen als Träger von Einstärkengläsern, um die Bereiche zu meiden, die nicht die richtige Sehstärkenkorrektur für den jeweiligen Bedarf bieten oder einen höheren Aberrationsgrad aufweisen.

Die Studie des FKFS hat herausgefunden, dass

- Träger von Gleitsichtgläsern den Kopf verstärkt in horizontaler Richtung drehen, um durch die scharfen Zonen im Glas zu sehen, wenn sie verschiedene Regions of Interest (ROI) betrachten (Abb. 12).

- Träger von Gleitsichtgläsern müssen ihren Kopf aufrechter halten und häufiger geradeaus blicken. Das lässt darauf schließen, dass die Reduzierung des Sichtfelds für die Weite bei Gleitsichtgläsern die Kopfposition beeinflusst (Abb. 13).

Eine weitere Erkenntnis aus der ZEISS Studie ist, dass das nächste Objekt auf der Instrumententafel etwa 75 cm vom Auge des Fahrers entfernt ist. Daraus folgt, dass beim Autofahren der Nahbereich von Gleitsichtgläsern, der für deutlich kürzere Abstände gedacht ist, praktisch ungenutzt bleibt.

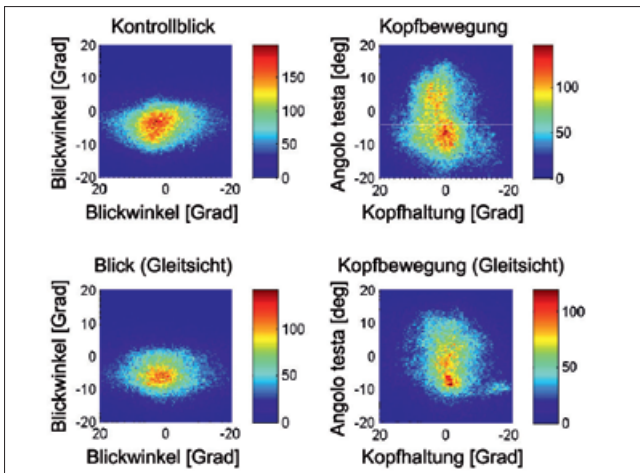


Abb. 13 Heatmaps für Augen- und Kopfbewegung. Träger von Gleitsichtgläsern halten ihren Kopf länger erhoben und auf entfernte Punkte auf der Straße gerichtet. Träger von Einstärkengläsern blicken häufiger nach links und nach unten, weil die Kopfhaltung bei ihnen weniger eingeschränkt ist.

Die Lösung: DriveSafe Designtechnologie

Das DriveSafe Design wurde für eine herausragende Sehdynamik entwickelt, die von einem breiteren und schärferen Fernbereich profitiert. Bei Einstärkengläsern wird der Peripheriebereich für eine erhöhte Sehschärfe auf die Ferne optimiert. Beim Gleitsichtglas wurde die Breite des Fernbereichs vergrößert, damit Seitenspiegel besser lokalisiert und betrachtet werden können. Schnelle und natürliche Blicke zur Instrumententafel sind wichtig, um richtige Informationen zu erhalten. Daher ist das gesamte DriveSafe Design darauf ausgelegt, die starre, unbewegliche Kopfhaltung, die in der Studie des FKFS im Simulator beobachtet wurde, etwas zu entspannen. Der extrabreite Fernbereich verhindert, dass das Auge zu früh durch die Progressionszone blickt, und der längere Korridor verringert den Anstieg der Progression. Insgesamt betrachtet ist der Fernbereich breiter und der Zwischenbereich in alle Richtungen und etwas nach oben erweitert. Der Nahbereich der DriveSafe Gleitsichtgläser wurde im Vergleich zu anderen ZEISS Gleitsichtgläsern leicht verringert. Da der Korridor aber nach oben hin etwas erweitert wurde, ist der Nahbereich für typische Aufgaben neben dem Autofahren völlig ausreichend.

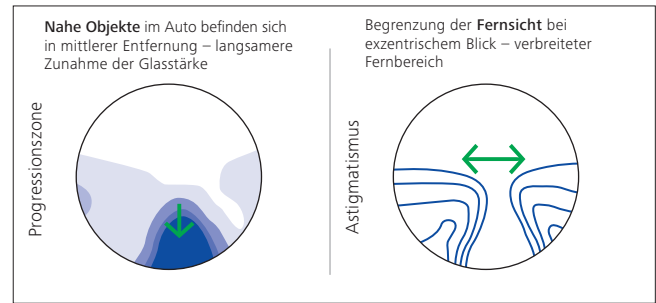


Abb. 14 DriveSafe Brillenglas

In *Abbildung 14* ist auf der linken Seite die Progressionszone des DriveSafe Gleitsichtglases zu sehen; die linke Seite zeigt den peripheren Astigmatismus. Durch die erfolgreiche Kombination der genannten Merkmale entsteht im Vergleich zum Glas ZEISS Precision Superb (*Abbildung 15*) eine nutzbare Gesichtsfeldgröße von bis zu 14 % für den Fernbereich und bis zu 43 % im Zwischenbereich. Diese Designmerkmale vergrößern das Sichtfeld auf die Straße, erleichtern den Blick zu den Seitenspiegeln und unterstützen schnellere und einfachere Wechsel zwischen dem Blick auf das Armaturenbrett und andere Fahraufgaben.

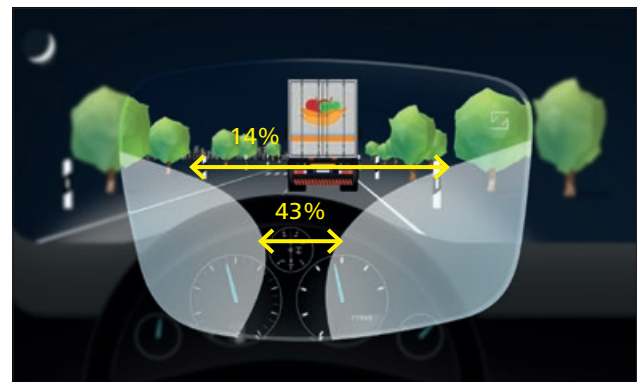


Abb. 15 Größere Sehbereiche für den Fern- und Zwischenbereich mit DriveSafe Gläsern

Da sie alle diese Faktoren berücksichtigen, machen DriveSafe Gläser das Fahren komfortabler und weniger anstrengend. Trotzdem sind DriveSafe Brillengläser als Einstärken- und Gleitsichtausführung für sämtliche Aktivitäten im Alltag geeignet.

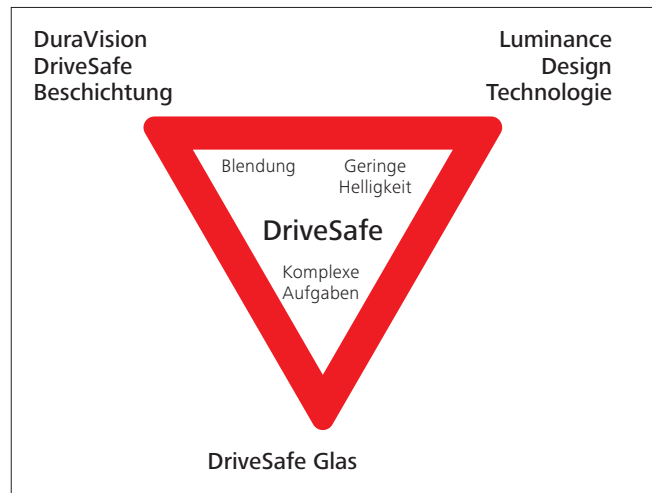
DriveSafe Brillengläser von ZEISS meistern gleich drei wichtige Herausforderungen und bieten mehr Komfort und Sicherheit

Die *DriveSafe* Gläser von ZEISS sind die Antwort auf drei wichtige visuelle Herausforderungen beim Fahren:

- Sehprobleme bei geringer Beleuchtung
- Psychologische Blendung durch moderne, intensiv strahlende Scheinwerfer
- Stress wegen der Komplexität des dynamischen Sehens

Aus diesem Grund hat ZEISS die *DriveSafe* Brillengläser entwickelt, die drei Sicherheitsaspekte berücksichtigen.

Durch die **Luminance Design® Technologie** profitieren auch erweiterte Pupillen beim Fahren bei geringer Helligkeit von breiten und scharfen Sehbereichen. Die **DuraVision® DriveSafe Beschichtung** verringert die psychologische Blendung, die durch moderne Scheinwerfer mit LED- und Xenon-/HID-Licht verursacht wird. **DriveSafe Brillengläser** steigern den Komfort und verringern Stress bei anspruchsvollen Sehaufgaben beim Fahren. Alle Lösungen verbessern die Sicherheit insbesondere in gefährlichen Verkehrssituationen bei Dämmerlicht, Nebel oder Regen und wurden als Reaktion auf die Bedenken und Bedürfnisse von 83 % der fahrenden Brillenträger erarbeitet. Sie erfüllen außerdem die Anforderungen von 72 % der Brillenträger, die für die besonderen Herausforderungen beim Autofahren nur eine Brille verwenden möchten.



Es wurden klinische Tests²⁷ durchgeführt, um die Effektivität und Akzeptanz der *DriveSafe* Gläser beim Autofahren zu ermitteln. Die Tests ergaben eine sehr hohe Zufriedenheit von über 95 % mit den neuen *DriveSafe* Gläsern. Bewertet wurde die Gesamtzufriedenheit beim Autofahren, das Fahren bei Dunkelheit und Dämmerung, das dynamische Sehen im Nah-, Zwischen- und Fernbereich, die Farbwahrnehmung sowie die Blendung durch Scheinwerfer. Die Teilnehmer bewerteten *DriveSafe* Gläser auch für allgemeine Aktivitäten im Büro oder zuhause als sehr gut.

DriveSafe Brillengläser von ZEISS sind die einzigen Gläser, die nicht nur die Sicht beim Autofahren verbessern, sondern auch absolut alltagstauglich sind.

Referenzen

1. * Daten bei ZEISS vorliegend. Marktforschungsuntersuchung (August 2013) mit 480 Augenoptikern und Verbrauchern in den USA und Deutschland
2. Bundesanstalt für Straßenwesen: Das Unfallgeschehen bei Nacht (Eine Auswertung der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik), Bergisch Gladbach, Dipl.-Stat. Susanne Schönebeck, www.bast.de
3. Hella KGaA Hueck & Co., Überblick Geschäftsbereich Licht, Februar 2014, unter: https://www.hella.com/hella-com/assets/media/Praesentation_Geschaefsbereich_Licht_-_Kurzfassung_DE.pdf
4. 2010 Motor Vehicle Crashes: Overview; February 2012, US Department of Transportation Traffic Safety Facts.
5. Plainis, S., I. J. Murray und I. G. Pallikaris. „Road traffic casualties: understanding the night-time death toll.“ *Injury Prevention* 12.2 (2006): 125-138.
6. Frost & Sullivan Market Insight (January 2009) Automotive Exterior Lighting - Lighting up Roads and Lives!) veröffentlicht auf <http://www.frost.com/prod/servlet/market-insight-print.pag?docid=155651107>
7. Subjective and Objective Aspects of Headlamp Glare: Effects of Size and Spectral Power Distribution; M. J. Flannagan, Report No. UMTRI-99-36 November 1999 ; University of Michigan Transportation Research Institute Ann Arbor, Michigan
8. Mainster, G.T. Timberlake. Br J, Why HID headlamps bother older drivers; M.A., *Ophthalmol* 2003; 87:113–117.
9. Pelz, J. B., & Canosa, R. (2001). Oculomotor behavior and perceptual strategies in complex tasks. *Vision Res*, 41(25), 3587-3596.
10. Rahimi M, Briggs RP, Thom DR. A field evaluation of driver eye and head movement strategies toward environmental targets and distractors. *Appl Ergon*. 1990 Dec;21(4):267-74. PubMed PMID: 15676781.
11. Chu BS, Wood JM, Collins MJ. Influence of presbyopic corrections on driving-related eye and head movements. *Optom Vis Sci*. 2009 Nov;86(11):E1267-75. doi: 10.1097/OPX.0b013e3181bb41fa. PubMed PMID: 19786931.
12. Niedenzu, L., „Blendung oder Nachtmyopie – Was hat einen größeren Einfluss auf das Kontrastsehen bei Nacht?“, L-LAB, Hella KGaA Hueck & Co., 2013
13. Locher, Schmidt, Isenbort, Kley, Stahl; Blendung durch Gegen-verkehr: Scheinwerfereigenschaften, Sehleistung und Blendgefühl, Hella KGaA Hueck & Co., L-LAB, 2007
14. Niedenzu, Laura; Spektrale Einflüsse auf Blendung im Straßenverkehr im Zusammenhang mit Brillenglasbeschichtungen, Carl Zeiss Vision, HTW Aalen, 2014
15. Das Prinzip von ZEISS i.Scription Brillengläsern
16. Der Hauptstrahl ist der einzige Strahl, der an einem von einem Auge betrachteten Objektpunkt entsteht und durch die Pupillenmitte eintritt, nachdem er vom Brillenglas gebrochen wurde.
17. Landgrave J.E.A., Moya-Cessa J.R., „Generalized Coddington equations in ophthalmic lens design,“ *J. Opt. Soc. Am. A.*, 1996 13:1637-44.
18. Pulling NH, Wolf E, Sturgis SP u. a. Headlight glare resistance and driver age. *Hum Factors* 1980;22:103–12.
19. Kline DW. Light, ageing and visual performance. In: Marshall J, ed. *The susceptible visual apparatus*. London: Macmillan Press, 1991:150–61.
20. Sivak u. a. Blue content of LED headlamps and discomfort glare, The university of Michigan, Transportation Research Institute, 2005
21. „CR39“ ist eine eingetragene Marke oder Marke von PPG Industries Ohio, Inc.
22. Modeling spectral sensitivity at low light levels based on mesopic visual performance ; M.Vikari, A. Ekrias, M. Eloholma, L. Halonen; *Clinical Ophthalmology* 2008;2(1) 173–185
23. De Boer, J. B. „Visual perception in road traffic and the field of vision of the motorist.“ *Public lighting* (1967): 11-96.
24. Underwood, G.; Chapman, P; Brocklhurst, N.; Underwood, J.; Crundall, D., Visual attention while driving: Sequences of eye fixations made by experienced and novice drivers, *Ergonomics*, 46, 629-646, 2003
25. Lehtonen, E., Lappi, O., Koirikivi, I., & Summala, H. (2014). Effect of driving experience on anticipatory look-ahead fixations in real curve driving. *Acc Anal Prev*, 70, 195-208.
26. Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS) <http://www.fkfs.de>
27. * Daten bei ZEISS vorliegend. Interner Trägertest (ZEISS, Deutschland, 2014) mit 50 Teilnehmern; externe Trägertests mit Optikern und 60 Verbrauchern (Spanien, 2014)
A. Bildquelle: <http://i.ytimg.com/vi/utfW04kT5Ug/mqdefault.jpg>

