Gradal® Individual: Konzeption, Fertigung und Anpassung

Dr. Wolfgang Grimm, Gerhard Kelch, Aalen

Sonderdruck des gleichnamigen Artikels, erschienen in
Deutsche Optikerzeitung, Heft 4 und 5/2000

ZEISS

PRÄZISION FÜR IHRE AUGEN

Dr. Wolfgang Grimm und Gerhard Kelch, Aalen

Gradal® Individual: Konzeption, Fertigung und Anpassung

Geschichte des Gleitsichtglases

Begonnen hat die Entwicklung des Gleitsichtglases vor nahezu 100 Jahren.

1909 wurde dem Amerikaner Orford ein Patent für ein Brillenglas mit gleitender optischer Wirkung zuerkannt.

Die von ihm erfundenen Gleitsichtbrillengläser sollten augenseitig mit einer parabolischen Hohlfläche ausgestattet sein. Eine derartige Fläche ist dadurch gekennzeichnet, dass ihre Krümmung von der Mitte zum Rand hin abnimmt. Dies hat eine Verringerung des Flächenbrechwertes der augenseitigen Fläche zur Folge. Zum Sehen in die Ferne war daher die Mitte des Brillenglases vorgesehen, während das Sehen in die Nähe im Randbereich des Brillenglases verwirklicht werden sollte.

1910, ein Jahr später, meldeten die Franzosen Poullain und Cornet bereits ein Gleitsichtbrillenglas mit ombilischem Progressionsmeridian zum Patent an.

Unter einem ombilischen Progressionsmeridian, auch Nabellinie genannt, versteht man eine Flächenkurve, in deren Punkten der Flächenastigmatismus verschwindet. Die Umsetzung des Patentes in Gleitsichtbrillengläser gelang jedoch nicht!

1931 wagte Evans noch einen Versuch mit Gleitsichtgläsern.

Er verwendete bereits die Astigmatismuslinien zur Beschreibung der Funktionsweise von Gleitsichtbrillengläsern. Auch dies wurde kein Erfolg.

Diese Anfänge der serienmäßigen Herstellung von Gleitsichtgläsern waren geprägt vom maschinell Machbaren. Die Gleitsichtglaskonzeption wurde zusammen mit den zugehörigen Spezialmaschinen zur Herstellung entwickelt. Auch spätere Versuche von Raoul und Adrien Fritz, Schwarz und Bach schlugen fehl.

Erst im Jahre 1959 gelang Maitenaz der Durchbruch mit einem modernen Konzept mit stabilisiertem Fern- und Nahteil und einer gleitenden Übergangszone. Dieses Gleitsichtglas wurde unter der Bezeichnung „Varilux" eingeführt. Die Gleitsichtflächen wiesen eine ombilische Mittellinie auf, die seitlich mit Kegelschnitten fortgesetzt wurde. Diese Flächen hatten je nach Ort auf dem Brillenglas variable Gestaltsfaktoren, um die vorgegebene Sehaufgabe zu erfüllen.

Das Gleitsichtbrillenglas erlebte einen ungeahnten Aufschwung.

In den folgenden zwanzig Jahren kamen zu den Kegelschnitten noch Gleitsichtflächen hinzu, die nach periodischen Funktionen entworfen wurden. Bei diesen Brillengläsern hatte man statt des variablen Gestaltfaktors eine variable Periodizität verwirklicht.

Auch zu dieser Zeit war die optimale Korrektion noch durch die mathematischen Methoden und Fertigungsverfahren eingeschränkt.

Dementsprechend waren auch die bekannten Schwierigkeiten der Anpassung von Gleitsichtgläsern in diesen Anfangsjahren ein wesentlicher Hinderungsgrund für einen umfassenden Markterfolg von Gleitsichtgläsern. Bifokal- und Trifokalgläser behaupteten ihren Marktanteil gegenüber den Gleitsichtgläsern der damaligen Zeit.

Optische Industrie und Augenoptiker lernten viel aus den Erfolgen und Schwierigkeiten dieser Pionierzeit.

Die Firma Carl Zeiss meldete im Jahre 1980 ein völlig neues Gleitsichtglasdesign als Patent an. Dieses war allein ausgerichtet auf die physiologisch-optischen Anforderungen des Brillenträgers.

Es dauerte vier Jahre, bis dieses Patent adäquat in die Praxis umgesetzt war.

Von der Berechnung, dem sogenannten optischen Design, über die Fertigung bis zur Anpassung mussten neue Wege beschritten werden.

Die physiologisch-optischen Vorgaben konnten nur durch ein neues mathematisches Handwerkszeug verwirklicht werden. Ausgangspunkt war die bereits damals bekannte Darstellung von Flächen durch sogenannte „Splines".

„Splines", auf deutsch Kurvenlineale, sind Funktionen, die Punkt für Punkt frei formbare Flächen ohne Sprünge, Knicke und Weiligkeiten beschreiben. Diese ermöglichen die mathematische Verwirklichung der physiologischen Anforderungen an die dioptrische Wirkungsverteilung über das Brillenglas frei von geometrisch-optischen Beschränkungen wie Kegelschnitten, periodische Funktionen und ombilischen Linien. Eingeschränkt wird eine Wirkungsverteilung ohne optische Sprünge wie bei Bi- und Trifokalbrillengläsern von dem „Satz von Minkwitz" [1]. Dieser differentialgeometrische Satz, angewendet auf eine stetige Wirkungsverteilung über ein Brillenglas, sagt aus, dass astigmatische Abweichungen bei jeder Wirkungsabnahme oder Wirkungszunahme

über ein Brillenglas zwangsläufig auftreten. Diese astigmatischen Abweichungen sind proportional zum verwirklichten Wirkungsunterschied. Die Kunst des optischen Designs von Gleitsichtbrillengläsern besteht daher darin, entsprechend der Gebrauchssituation, diese astigmatischen Abweichungen so zu verteilen, dass das direkte Sehen möglichst wenig gestört wird. Dafür gibt es keine allgemeinen Gesetzmäßigkeiten, sondern nur die Umsetzung der in den Trageversuchen durch Presbyope mit unterschiedlichen Fehlsichtigkeiten gewonnenen Erkenntnisse.

Diese Designvorgaben für ein Gleitsichtbrillenglas konnten nicht mehr im Kopierverfahren verwirklicht werden. Erst CNC–Automaten, gesteuert von Prozessrechnern, machten die Umsetzung dieses optischen Designs auf das Brillenglas möglich.

Ein bis in das optische Design berücksichtigtes Anpasskonzept, die Fernanpassung, erweiterte den Anwendungsbereich und die Akzeptanz von Gleitsichtbrillen beim alterssichtigen Kunden.

Ein umfassender Markterfolg von Gleitsichtgläsern war die Folge. Der Anteil von Bifokal- und Trifokalbrillen nahm drastisch ab.

Im Laufe der letzten Jahre wurden von allen bedeutenden Brillenglasherstellern Gleitsichtbrillengläser mit verbessertem optischem Design eingeführt.

Die Entwicklung des Gleitsichtbrillenglases ist damit jedoch noch nicht abgeschlossen. Weitere revolutionäre Neuerungen sind mit Sicherheit zu erwarten!

Im Folgenden wollen wir den ersten Schritt der Weiterentwicklung im 3. Jahrtausend darstellen.

Stand der Technik

Gleitsichtgläser und asphärische Brillengläser sind heute bei allen Herstellern Standardprodukte, die nicht mehr aus den Lieferprogrammen wegzudenken sind. Dies wurde ermöglicht durch die Verbesserung der numerischen mathematischen Verfahren und die rasante Entwicklung und Verbreitung der Computertechnik.

Optisches Design

Zu Beginn der Entwicklung eines neuen Gleitsichtglases wird ein optisches Konzept festgelegt: Größe von Fern- bzw. Nahbereich, Länge der Progressionszone, Verlauf des Wirkungsanstiegs von Ferne zur Nähe und die für das binokulare Sehen notwendigen Eigenschaften. Hierbei treten im Allgemeinen auch Widersprüche auf, da gewisse geometrisch-optische Beschränkungen nicht überwunden werden können. Ein Beispiel ist der Zusammenhang zwischen Länge und Breite der Progressionszone, der auf dem Satz von Minkwitz beruht.

Die gesamte optische Berechnung erfolgt im Gebrauchsstrahlengang des Brillenträgers für das blickende Auge. Dabei werden für die Gebrauchssituation – neben dem Korrektionswert für die Fehlsichtigkeit – noch weitere Parameter benötigt, welche die Lage der Brillengläser vor dem Augenpaar beschreiben: Hornhautscheitelabstand und Vorneigung der Brillengläser, Pupillendistanz und Objektabstand für die Nähe. Für diese „Positionsparameter" wurden bisher statistisch gewonnene Durchschnittswerte eingesetzt. Dadurch wird sichergestellt, dass ein neues Brillenglasdesign die größtmögliche Akzeptanz bei der Gesamtheit der Brillenträger erlangt.

Durch die Auswertung umfangreicher Trageversuche werden unterschiedliche Konzepte immer wieder im Designprozess verändert, bis ein die Mehrzahl der Brillenträger zufriedenstellender Zustand erreicht ist. Die Betonung liegt auf „Mehrzahl". Das heißt, nicht alle Gleitsichtbrillenträger können mit dem Ergebnis zufrieden gestellt werden. Der Grund für diesen Mangel liegt in dem Zwang zu wirtschaftlicher Produktionsweise, die nach dem bisherigen Stand der Technik ein Grundkurvensystem notwendig macht.

Optimierung auf die Korrektionswerte für die Fehlsichtigkeit

Es ist allgemein bekannt, dass nicht der gesamte Lieferbereich für ein Brillenglas mit derselben Durchbiegung der Vorderfläche abgedeckt werden kann, da die Durchbiegung der Brillengläser vom Minus- bis zum Plusbereich immer stärker wird. Gleitsichtgläser sind immer Rezeptgläser. Bei jeder Bestellung wird ein Halbfabrikat – mit der dem Konzept entsprechenden Funktionsfläche – ausgewählt, und mit der Rezeptfläche versehen, die in den Bezugspunkten die bestellte Korrektionswirkung ergibt. Um die Anzahl dieser Halbfabrikate in einem wirtschaftlich vertretbaren Rahmen zu halten, wird der Lieferbereich in Grundkurvenbereiche eingeteilt. Die folgende Graphik (Abb. 1) zeigt ein Beispiel für ein derartiges Grundkurvensystem.

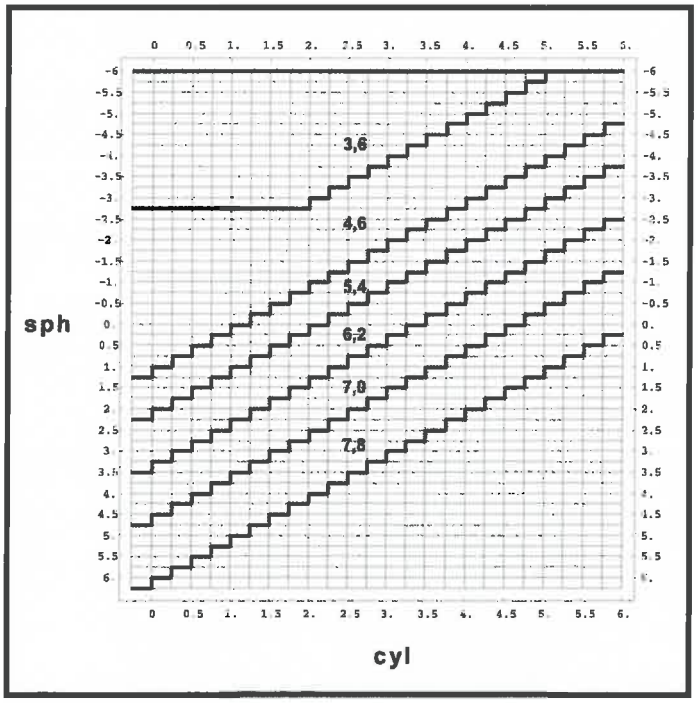


Abb. 1 Gradal Grundkurvensystem im Bereich von Sph ± 6,0 / Cyl 6,0 mit der Durchbiegung D1 der Grundkurven von 3,6 dpt bis 7,8 dpt

Die Gleitsichtflächen dieser Halbfabrikate mit unterschiedlichen Durchbiegungen werden entsprechend der vorgesehenen Verwendung im Lieferbereich durch mathematische Verfahren optimiert. Dies führt zu einem Gleitsichtglashalbfabrikat mit einer für die Fehlsichtigkeitsgruppe optimierten Gleitsichtfläche in einem Grundkurvenbereich mit gleicher Durchbiegung und passenden Additionen.

Für Clarlet® 1.6 Gradal TOP® *E* zum Beispiel werden im Lieferbereich von –10 dpt bis +10 dpt neun Grundkurven mit jeweils 12 Additionen von 0,75 dpt bis 3,50 dpt verwendet, also 108 Gleitsichtflächen, die auf Fehlsichtigkeit und Addition speziell optimiert sind.

Das Konzept eines Gleitsichtglases wird vor allem durch die Verteilung der sphärischen und astigmatischen Abweichungen über das Blickfeld des Brillenträgers bzw. über die Brillenglasfläche hinweg definiert. Die Abb. 2 und 3 zeigen Beispiele für die astigmatischen Abweichungen eines Gleitsichtglaskonzeptes in unterschiedlichen Grundkurvenbereichen, das bei Trageversuchen als sehr gut bewertet wurde.

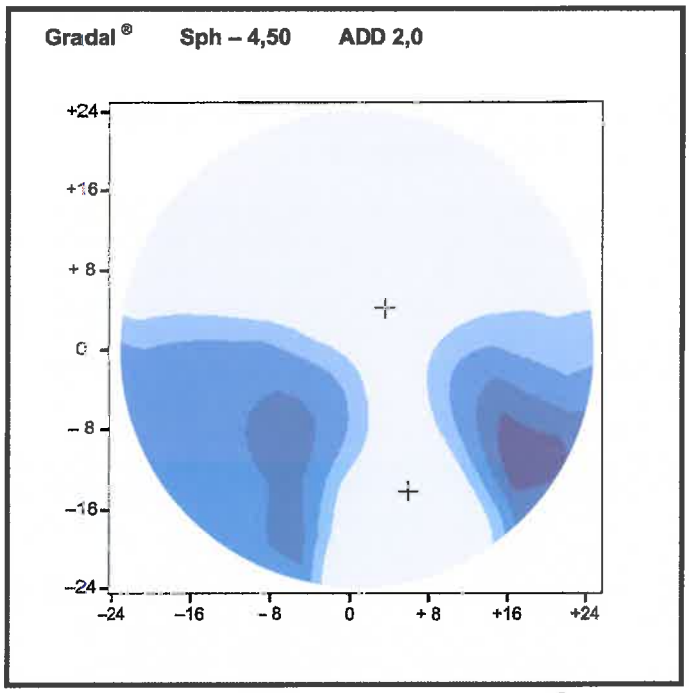


Abb. 2 Astigmatische Abweichung für ein Gradal® Gleitsichtglas mit der dioptrischen Wirkung sph –4,5 dpt, Add 2,0 dpt und den Positionsparametern HSA = 14,5 mm, VN = 9°, PD = 65 mm

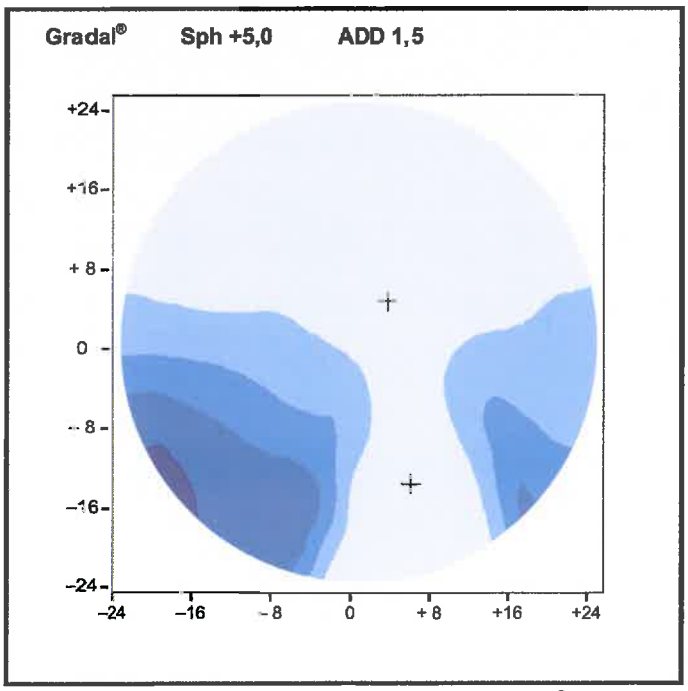


Abb. 3 Astigmatische Abweichung für ein Gradal® Gleitsichtglas mit der dioptrischen Wirkung sph +5,0 dpt, Add 1,5 dpt und den Positionsparametern HSA = 14,5 mm, VN = 9°, PD = 65 mm

Diese Gleitsichtfläche wird nun auch bei allen anderen Wirkungen des entsprechenden Grundkurvenbereiches verwendet. Eine Änderung des Korrektionswertes verändert die Verteilung der astigmatischen Abweichungen (Abb. 4), wodurch die Sehbereiche eingeschränkt werden.

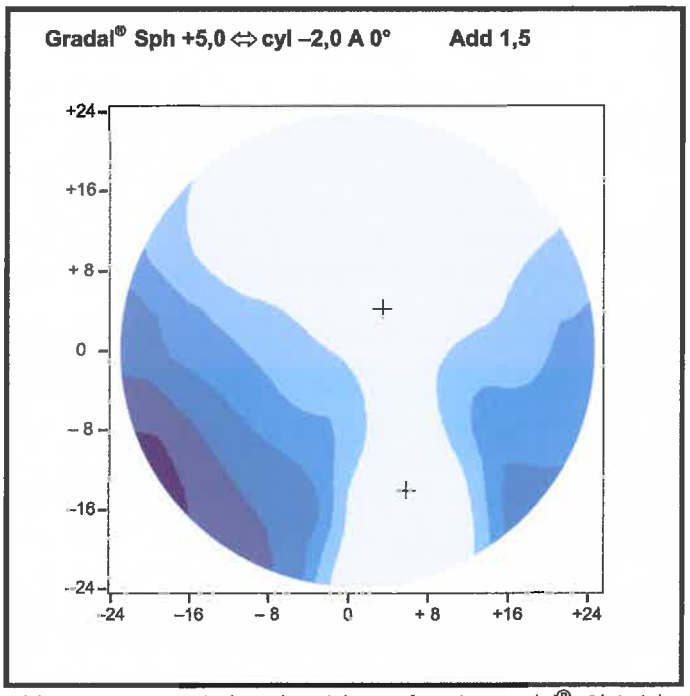


Abb. 4 Astigmatische Abweichung für ein Gradal® Gleitsichtglas mit der dioptrischen Wirkung sph +5,0 ⇔ cyl –2,0 A 0°, Add 1,5 dpt und den Positionsparametern HSA = 14,5 mm, VN = 9°, PD = 65 mm

Dasselbe gilt auch für die sphärische Abweichung sowie grundsätzlich für alle optischen Eigenschaften, die das Konzept eines Gleitsichtglases beschreiben. Die wirkungsbedingten Unterschiede zum idealen Konzept über den Lieferbereich eines Gleitsichtglases hinweg sind in der folgenden Graphik durch eine Farbcodierung verdeutlicht (Abb. 5). Je höher der „Zylinder" in der bestellten Korrektionswirkung ist, desto größer werden die zusätzlich auftretenden astigmatischen Abweichungen. Die nutzbaren Bereiche des Gleitsichtglases werden eingeschränkt. Dass trotzdem das „Grundkurvenkonzept" weltweit angewendet werden kann und wird, liegt an der Anpassung dieses Konzeptes an die Häufigkeitsverteilung der Fehlsichtigkeiten. Außerdem hat Carl Zeiss bereits 1994 mit der individuellen Rezeptfläche des sogenannten „Optimal Surface Design", kurz „OSD" genannt, die nutzbaren Bereiche eines Gleitsichtglases vergrößert. Darüber ist an anderer Stelle bereits ausführlich berichtet worden [2].

Ein Gleitsichtglas ist nach dem bisherigen Stand der Technik daher umso besser abbildend, je näher die Korrektionswirkung eines Gleitsichtglases an der Optimierwirkung liegt, d.h., je dichter der Lieferbereich mit Grundkurven überdeckt ist.

Am besten wäre es allerdings, wenn für jede bestellte Korrek-

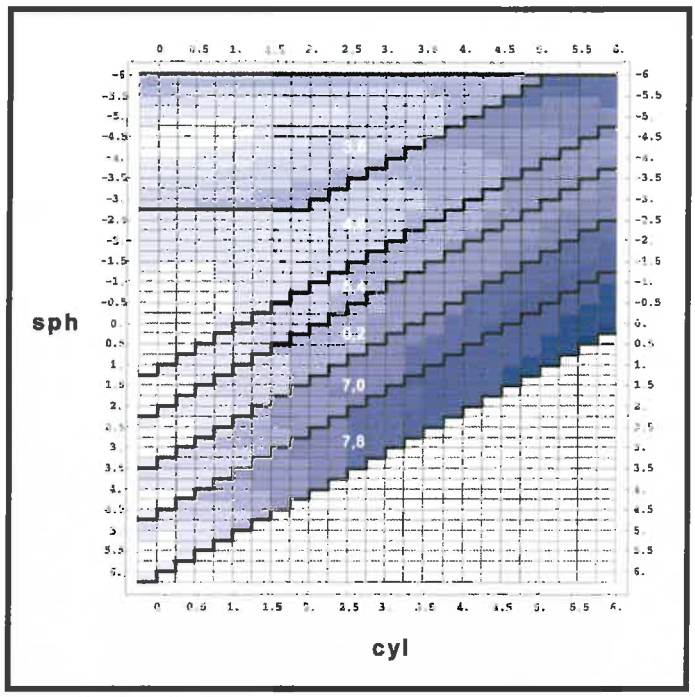


Abb. 5 „Einschränkung" der nutzbaren Sehbereiche beim Gradal Grundkurvensystem ohne individuelle Rezeptfläche „OSD"

tionswirkung und Addition ein extra optimiertes Halbfertigprodukt hergestellt würde. Dies war aber bisher auf wirtschaftliche Weise nicht machbar.

Einfluss der „Positionsparameter" auf die Optimierung

Die Optimierung eines Gleitsichtglases für das blickende Auge berücksichtigt auch die Lage und Anordnung der Brillengläser vor dem Auge. Diese wird durch den Hornhautscheitelabstand (HSA), die Vorneigung (VN) des Brillenglases und die Pupillendistanz (PD) charakterisiert.

Für diese Positionsparameter wurden bisher statistisch gewonnene Durchschnittswerte angenommen, die sich in der Praxis bewährt haben: Für den

- Hornhautscheitelabstand (HSA) 15 mm ± 0,5 mm, die
- Vorneigung (VN) 9° ± 1° des Brillenglases gegen die Vertikale und die
- Pupillendistanz (PD) 65 mm ± 0,5 mm.

Die folgenden Abbildungen zeigen den Einfluss dieser Positionsparameter auf die nutzbaren Bereiche des Gleitsichtglases für das blickende Auge in Extremfällen.

Hornhautscheitelabstand

Der Augenoptiker hat in der Regel die Korrektionswerte für die Fehlsichtigkeit vom Hornhautscheitelabstand der Messbrille auf die Werte in der „fertigen" Brille umgerechnet und diese bestellt. Im Ferndurchblickpunkt, gekennzeichnet durch das Zentrierkreuz auf dem gefertigten Gleitsichtglas, wird diese Sollwirkung erreicht. Ergibt sich nachträglich eine Änderung des Hornhautscheitelabstandes, so beeinflusst diese die Größe der Sehbereiche. Für einen in der Praxis durchaus vorkommenden Fall einer

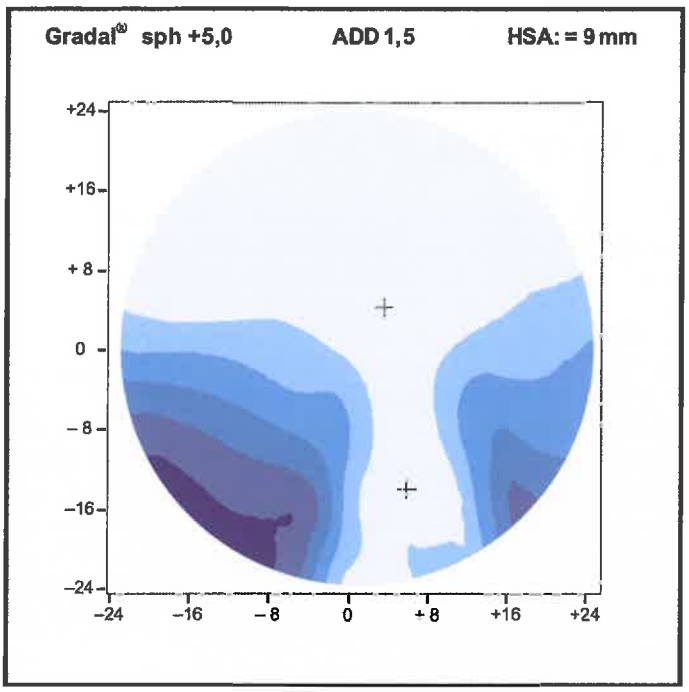


Abb. 6 Einfluss einer Änderung des Hornhautscheitelabstandes von 14,5 mm bei der Bestellung auf 9 mm in der fertigen Brille auf die Größe der Sehbereiche

Änderung des Hornhautscheitelabstandes von 14,5 mm auf 9 mm ist dies in der Abb. 6 dargestellt.

Vorneigung

Abb. 7 zeigt die astigmatischen Abweichungen für ein Brillenglas, bei dem die Vorneigung um 6° geändert wurde. Auch in

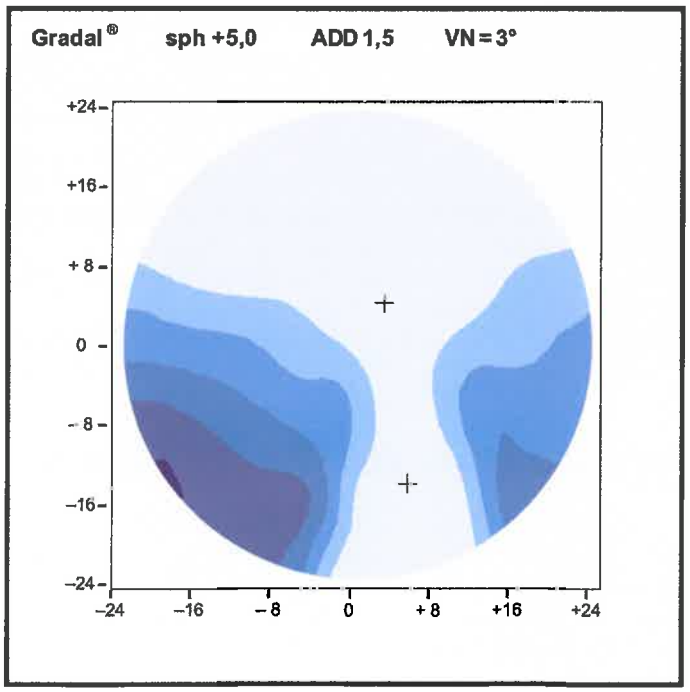


Abb. 7 Einfluss einer Änderung der Vorneigung des Gleitsichtglases von 9° auf 3° in der fertigen Brille auf die Größe der Sehbereiche

diesem Fall werden die nutzbaren Bereich in Ferne und Nähe kleiner.

Pupillendistanz

Bei der Optimierung der Gradal Gleitsichtgläser wird von einer durchschnittlichen Pupillendistanz von 65 mm ausgegangen. Für diese PD ist die Lage der Wirkungsfelder in den Gleitsichtgläsern für das rechte und das linke Auge so optimiert, dass der Innenversatz des Nahteils (Inset), der durch die Fernwirkung, die Addition, den HSA und die Objektentfernung in der Nähe bestimmt ist, konvergenzrichtig angeordnet ist. Wird der Zentrierpunktsabstand der Gleitsichtgläser in der Brille gut auf die jeweilig vorhandene Pupillendistanz angepasst, so sind aufgrund der Bereichsbreiten keine größeren Störungen zu erwarten. Für eine von 65 mm stark abweichende Pupillendistanz von 5 mm und mehr kann aber auch durch einen entsprechenden Zentrierpunktsabstand der Gleitsichtgläser in der Brille keine befriedigende Überlappung der Sehbereiche des rechten und des linken Auges im Nahbereich erreicht werden.

Abstand in der Nähe

Normalerweise geht man bei allen Gleitsichtbrillengläsern davon aus, daß die Nahkorrektionsbestimmung bis einschließlich 2,50 dpt Addition bei einem Prüfabstand von 40 cm vor dem Auge durchgeführt wird. Bei höheren Additionen verringert sich der Prüfabstand entsprechend der Addition. Bezieht man diese Entfernung auf die Brillenglasebene, so ergeben sich für die Abstände der Nahobjekte vom Brillenglas folgende Werte:

Additionen bis einschließlich 2,50 dpt: a = 0,38 m und
für höhere Additionen > 2,50 dpt: a = 1/ADD m.

Anmerkung: Dieser Zusammenhang ist in den früher gültigen DIN 58203 T1–5 als Stand der Technik festgelegt worden.

Entsprechend werden auch die Nahkorrektionswerte für diese Entfernungen im Nahbereich eines Gleitsichtglases verwirklicht.

Für die Positionsparameter Hornhautscheitelabstand (HSA) 15 mm ± 0,5 mm, Vorneigung (VN) 9° ± 1° des Brillenglases gegen die Vertikale, Pupillendistanz (PD) 65 mm ± 0,5 mm und die oben genannten Objektabstände sind die Korrektionswerte von der Ferne bis in die Nähe gebrauchsrichtig – also mit der Brille vor den Augen – verwirklicht und die Wirkungsbereiche für alle Fehlsichtigkeiten konvergenzgerecht angeordnet.

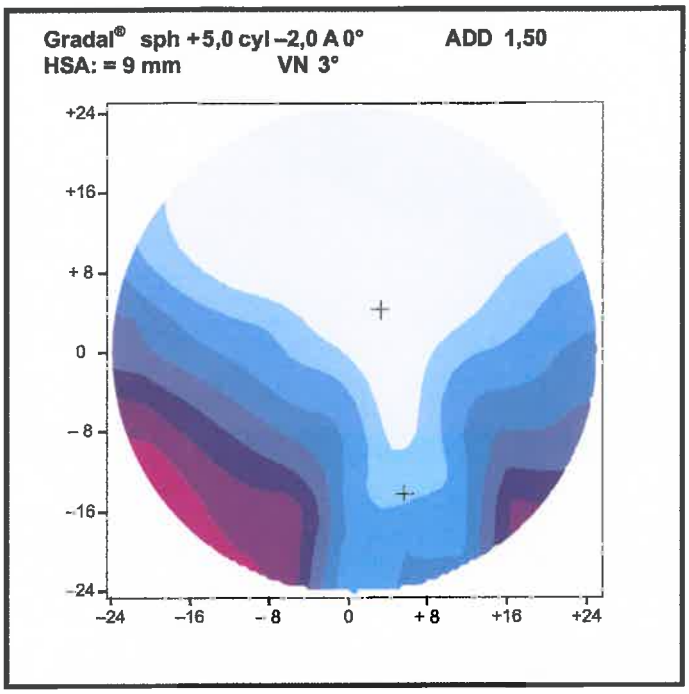
Dadurch wird sichergestellt, dass bei der überwiegenden Mehrheit der Brillenträger die größtmögliche Akzeptanz erreicht wird.

Der große Wurf: Gradal® Individual

Henry Ford soll über sein „Model T" gesagt haben, man könne diesen Wagen in jeder Farbe bekommen, vorausgesetzt, es bleibe bei Schwarz.

Heute werden in der Autoindustrie viele Ausstattungsvarianten gemischt hintereinander in derselben Fertigungsstraße produziert.

In der augenoptischen Industrie ist dies – was die Rezeptflächen angeht – schon lange so. Art und Anzahl der bisher möglichen Rezeptflächen sind aber noch überschaubar. Es gibt sphärische und torische Flächen, die durch die Angabe der Krümmungsradien eindeutig beschrieben sind. Mit maximal zwei Parametern ist also die Rezeptfläche definierbar. Bei Gradal® Individual werden jedoch individuell berechnete Freiformflächen produziert, deren Gestalt nicht mehr nur von den Korrektionswerten für Ferne und Nähe abhängen, sondern auch von den zusätzlich berücksichtigten Werten für die Positionsparameter HSA, Pupillendistanz PD, Vorneigung VN und Objektabstand. Dies ergibt ei-



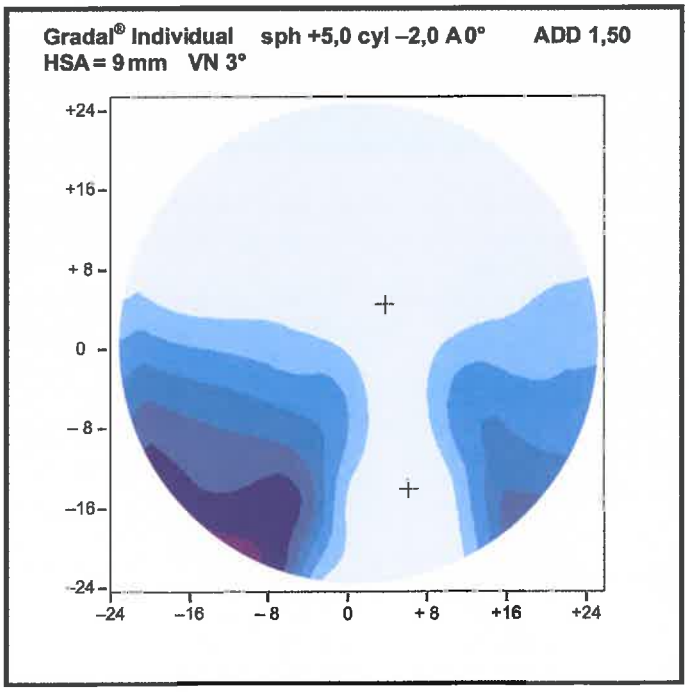


Abb. 8 Einfluss einer „Individualisierung" auf die Größe der Sehbereiche charakterisiert durch die astigmatischen Abweichungen für ein a) Gradal® und ein b) Gradal® Individual Gleitsichtglas mit der gleichen dioptrischen Wirkung von sph 5,0 dpt ⇔ cyl –2,0 dpt A 0°, Add 1,5 dpt und den gleichen Positionsparametern HSA = 9 mm und VN = 3°

ne sehr große Zahl unterschiedlicher Kombinationen für die Korrektionswerte und die Positionsparameter. Jede dieser Kombinationen führt bei der optischen Optimierung zu einer ganz bestimmten Flächenform, und jede dieser völlig unsymmetrischen Flächen muss durch ca. 700 Parameter beschrieben werden, um die Anforderungen des Brillenträgers bestmöglich zu erfüllen. So kann auch in einem Extremfall, in dem die Korrektionswirkung stark von der Optimierwirkung abweicht und alle Positionsparameter sich von den Durchschnittswerten deutlich unterscheiden, das ideale Konzept des Gleitsichtglases für diese ganz individuelle Gebrauchssituation realisiert werden. Dieses Verfahren der Berücksichtigung der individuellen Gebrauchsbedingungen ist 1992 von Carl Zeiss zum Patent angemeldet worden. Das Ergebnis einer derartigen Optimierung zeigt die Abb. 8.

Auch diesem Brillenträger stehen jetzt mit dem Gradal® Individual die großen Sehbereiche zur Verfügung, die das Gleitsichtglas vom Konzept her bieten kann.

Automatische Optimierung

Der mathematische Aufwand für das optische Design einer Gleitsichtfläche ist beträchtlich. Anfang der achtziger Jahre dauerte die Berechnung einer einzigen Fläche auf den damals schnellsten Computern etwa drei Stunden. Seither ist die Technik deutlich fortgeschritten, so dass die Rechenzeit gegenwärtig etwa zehn Sekunden pro Fläche beträgt. Diese Zeit ist so kurz, dass man auch daran denken kann, das Optimierverfahren in die bestehende Rezeptberechnung mit aufzunehmen. Damit ist jedoch noch nicht alles getan. Beim bisherigen Verfahren des Designs von Gleitsichtgläsern wurde nach jedem Computerlauf die erzielte optische Korrektion vom Optikkonstrukteur beurteilt und – falls erforderlich – in weiteren Rechenschritten verbessert. Individuell auf dem Rezeptweg gefertigte Gleitsichtflächen lassen diesen Aufwand aus Zeitgründen natürlich nicht zu. Bei Carl Zeiss wurde daher das zugrunde liegende mathematische Optimierungsverfahren in aufwendiger Entwicklungsarbeit so weit verbessert, dass das angestrebte Gleitsichtglasdesign nach einem einzigen Durchlauf erreicht ist. Die Bewertung nimmt nicht mehr der Optikkonstrukteur, sondern der Computer nach vorgegebenen Bewertungskriterien vor. Sollten in Ausnahmefällen diese Kriterien nicht erfüllt werden, wird vom Programm ein weiterer Optimierungslauf gestartet. So gelingt es, individuelle Gleitsichtgläser auf dem Rezeptweg mit den üblichen Lieferzeiten und zu akzeptablen Herstellkosten zu produzieren.

Messung der Gleitsichtbrillengläser

Bisher werden für Gleitsichtgläser Messwerte in den beiden Bezugspunkten Ferne und Nähe angegeben. Dies ist auch durchaus ausreichend, da die Fertigung einer sphärotorischen Rezeptfläche zum Standard einer Brillenglasfertigung gehört. Mit Gradal® Individual werden aber Freiformflächen gefertigt, deren Qualität über den gesamten Sehbereich des Brillenträgers gesichert werden muss. Seit einiger Zeit sind Messgeräte mehrerer Firmen auf dem Markt, die es gestatten, die sphärischen und astigmatischen Abweichungen für einen bestimmten geräteabhängigen Messstrahlengang über das gesamte Brillenglas zu bestimmen. Der Nachteil dieser Geräte ist jedoch, dass ihr Messstrahlengang nicht mit der Gebrauchssituation beim Brillenträger übereinstimmt und daher ein direkter Vergleich mit den Designvorgaben unmöglich ist. Parallel zur Entwicklung von Gradal® Individual wurde daher bei Carl Zeiss ein System eingerichtet, mit dem der Brillenträgerstrahlengang unter Berücksichtigung der individuellen Gebrauchsbedingung nachgestellt werden kann. Jedes Gradal® Individual wird auf diese aufwendige Weise hinsichtlich seiner optischen Eigenschaften geprüft und beurteilt.

Das Brillenglas wird dafür in Fern-, Nah- und Progressionsbereich eingeteilt sowie zusätzlich in einen Peripheriebereich. Die ganzflächige Messdatenerfassung mit dicht gedrängten Messpunkten in allen vier Bereichen ermöglicht nun einen detaillierten Vergleich zur Sollfläche des Gleitsichtglases. Eine Bewertungszahl für jeden Bereich gibt als Endergebnis Auskunft über die Qualität des gefertigten individuellen Gleitsichtglases.

Fertigung von Gradal Gleitsichtgläsern

Bei Gradal® Gleitsichtgläsern besteht eine klare zeitliche Trennung zwischen der Herstellung der Gleitsichtfläche auf dem Halbfertigprodukt (HF) und der Bearbeitung zum fertigen Brillenglas im Rezeptweg. Den Ablauf dieses Fertigungsprozesses kann man vereinfacht folgendermaßen beschreiben (Abb. 9): Die Daten für die Gleitsichtglasflächen für den gesamten Lieferbereich werden an die Fertigungsgruppe für Halbfertigprodukte (HF) gegeben. Diese HF-Fertigungsgruppe produziert mit einem bestimmten zeitlichen Vorlauf ein ausreichend umfangreiches HF-Lager für Gradal® Gleitsichtgläser. Aus den Bestelldaten wird in der sogenannten Rezeptrechnung das benötigte Gleitsichtglashalbfabrikat ermittelt, und aus den Korrektionsdaten (Rezeptdaten) werden für die Fehlsichtigkeit die Fertigungsdaten für die Rezeptfläche errechnet. In der Rezeptfertigungsgruppe werden dann die bestellten Gleitsichtgläser produziert und nach weiteren Veredelungsschritten ausgeliefert.

Diese Produktionsmethode ist für individuelle Gleitsichtgläser nicht anwendbar. Die gleitende Brechwertverteilung von der Ferne bis zum Arbeits- und Prüfabstand in der Nähe, die Korrektionsdaten für die Fehlsichtigkeit und die Positionsparameter zusammen bestimmen die optimale Brechwertverteilung für die individuelle Gleitsichtbrille. Somit können auch keine Halbfabrikate vor Eingang der Bestellung gefertigt und auf Lager gelegt werden. Gradal® Individual verlangt einen neuen Produktionsprozess. Die beiden Produktionsprozesse HF-Fertigung und Rezeptfertigung (Abb. 9) müssen daher funktionell vereinigt werden (Abb.10).

Wie aufwendig die Verschmelzung von Flächendesign und Rezeptrechnung ist, wurde bereits im Abschnitt „Automatische Optimierung" dargelegt. Ähnliche Entwicklungsarbeit musste auch in die Fertigungstechnik für individuelle Gleitsichtgläser investiert werden. Die Fertigungsmaschinen für sphärotorische Rezeptflächen sind selbstverständlich für Freiformflächen nicht einsetzbar. Diejenigen Maschinen wiederum, die Freiformflächen für das HF-Lager herstellen, sind hochpräzise, aber im Allgemeinen zu langsam, um in der Rezeptfertigung rationell verwendet werden zu können. Darüber hinaus muss die Oberflächenstruktur (Rauigkeit) der individuellen Freiformflächen so beschaffen sein, dass möglichst gar nicht mehr oder nur sehr wenig poliert werden muss. Je länger die Polierzeit ist, desto größer sind die Formabweichungen der Freiformflächen gegenüber der Sollfläche und umso größer wird der Aufwand, diese Abweichungen zu vermeiden.

Gesucht wurde also eine Technik, die es gestattet, Freiformflächen hochgenau, schnell und mit sehr guter Oberflächenqualität zu produzieren.

Eine Technik, die diese Ansprüche erfüllt, heißt **H**igh **S**peed **C**utting, kurz HSC genannt. Abb. 11 zeigt die Funktionsweise einer Maschine, die mit dieser Technik arbeitet.

Das zu bearbeitende Werkstück rotiert mit hoher Geschwindigkeit. Der Feindrehmeißel, bestückt mit einer Diamantschneide, bewegt sich vom Rand her zur Mitte des Werkstückes. Die Diamantschneide wird dabei gemäß der Form der zu erzeugenden Fläche sehr schnell und mit höchster Genauigkeit vertikal geführt. Die Beherrschung der dabei auftretenden Beschleunigungen stellt größte Ansprüche an die Maschinenbautechnik. Auch die elektronische Steuerung musste weiterentwickelt werden, um in sehr kurzer Zeit die Daten für die exakte Positionierung des Werkzeugs liefern zu können. Pro Fläche müssen etwa 40 000 Punkte berechnet und in Steuerdaten übersetzt werden.

Abb. 12 zeigt das Ergebnis einer solchen Flächenbearbeitung im Vergleich zur herkömmlichen Produktion.

Der Unterschied ist klar erkennbar. Bei einem mit herkömmlicher Methode bearbeiteten Halbfabrikat (oben rechts) ist der Tragkörper unscharf durch die bearbeitete Fläche auszumachen.

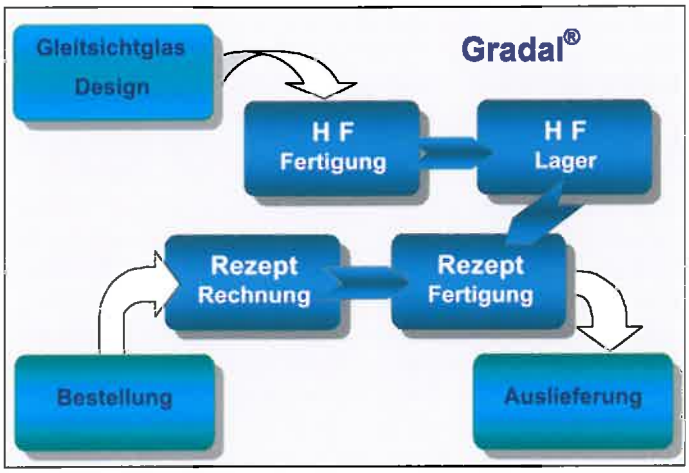


Abb. 9 Fertigungsablauf bei Gradal® Gleitsichtgläsern über den Zwischenschritt Halbfertigprodukt (HF)

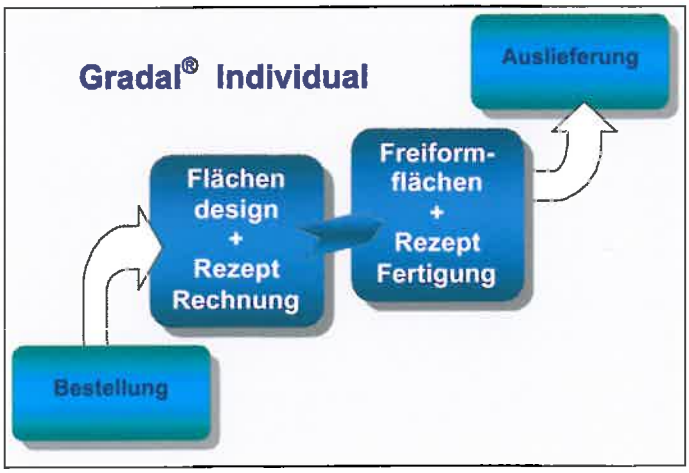


Abb. 10 Fertigungsablauf Gradal® Individual

Das im Vordergrund liegende Halbfabrikat hingegen wurde mit einer HSC–Maschine bearbeitet. Die Konturen des Tragkörpers sind durch die fertig bearbeitete Oberfläche hindurch – ohne zu polieren – deutlich und scharf sichtbar. Es ist offensichtlich, dass der Polieraufwand für eine derart glatte Fläche gering ist, um eine optisch saubere Fläche zu erhalten.

Mit dieser oben skizzierten Hochgeschwindigkeits-Schneidetechnologie, Fa. Schneider GmbH & Co KG, Steffenberg, kann die Oberfläche der individuellen Freiformflächen so hergestellt werden, dass der anschließende Poliervorgang die Oberfläche glättet und keine optisch wirksamen Formabweichungen erzeugt.

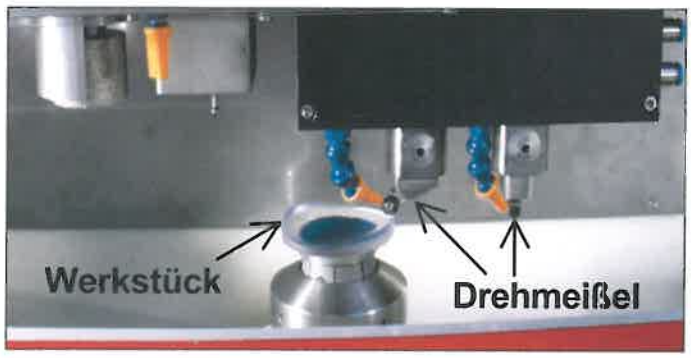


*Abb. 11 **H**igh **S**peed **C**utting: Arbeitsraum mit Werkstück und Drehmeißel*

Anpassung von Gradal® Individual

Die Anpassung von Gleitsichtbrillengläsern durch den Augenoptiker ist ein genauso wichtiger Schritt für den Erfolg einer Gleitsichtbrille wie das optische Design und die Fertigungsqualität der Gleitsichtbrillengläser. Bei Gleitsichtbrillengläsern gibt es praktisch keine Toleranzen – weder für den Brillenglashersteller noch für den Augenoptiker. Unabdingbar für den optimalen Trageerfolg sind:

- Exakte Brillenglasbestimmung – auf die Sehanforderungen des Brillenträgers abgestimmt,
- Fassungsberatung – besonders unter Berücksichtigung funktioneller Notwendigkeiten,
- Zentriermessungen mit geeigneten Hilfsmitteln und eine entsprechende Werkstatttechnik,
- fachgerechte Einweisung des Kunden mit Erklärungen zu den visuellen Besonderheiten bei der Benutzung von Gleitsichtbrillengläsern.

Brillenglasbestimmung – auf die Sehanforderungen des Trägers abgestimmt

Bei der Brillenglasbestimmung ist speziell darauf zu achten, dass die Korrektionswerte für die Ferne binokular den vollen Seherfolg ergeben. Um diesen in einem Gleitsichtglas optimal verwirklichen zu können, muss der Hornhautscheitelabstand der Messbrille (des Phoropters) und der angepassten Fassung erfasst werden. Falls diese beiden Hornhautscheitelabstände unterschiedlich sind, müssen sich die zu bestellenden Fernkorrektionswerte auf den Hornhautscheitelabstand in der anzufertigenden Brille beziehen (Abb. 13).

Abb. 12 Oberflächenstruktur eines mit einer HSC-Maschine bearbeiteten Halbfabrikats im Vergleich zu herkömmlicher Bearbeitung des Halbfabrikats

Die Nahkorrektionswerte, d.h. die Addition zu den Fernkorrektionswerten, werden üblicherweise bei einem Prüfabstand von etwa 40 cm bestimmt. Dies ist natürlich nur bis zu Additionswerten bis einschließlich 2,5 Dioptrien möglich. Ab 2,75 Dioptrien Addition verkürzt sich der Prüfabstand entsprechend dem Kehrwert der Addition bis auf rund 28 cm bei einer Addition von 3,5 dpt.

Im Brillenglas müssen die Nahkorrektionswerte im Bereich für das Nahsehen nach unten und nasal versetzt verwirklicht werden. Das Ausmaß dieser Versetzung hängt von den Korrektionswerten für Ferne und Nähe, von den Positionsparametern der Brille, von der Pupillendistanz und der Entfernung ab, für die die Addition bestimmt wurde. Da die Additionsbestimmung natürlich in der hauptsächlichen „Arbeits- und Leseentfernung" durchgeführt wird, ist auch in der fertigen Brille gewährleistet, dass die Nahkorrektionswerte an den entsprechenden Stellen im rechten und lin-

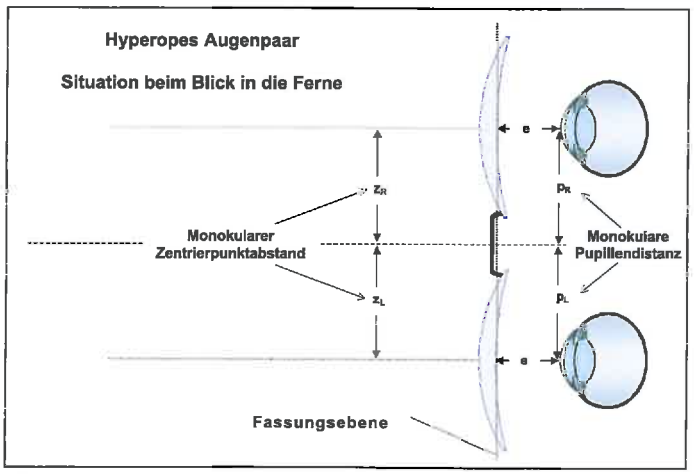


Abb. 13 Situation beim Blick in die Ferne für ein hyperopes Augenpaar mit den Positionsparametern: Hornhautscheitelabstand (e), monokulare Pupillendistanzen (p_R, p_L), monokulare Zentrierpunktabstände (z_R, z_L)

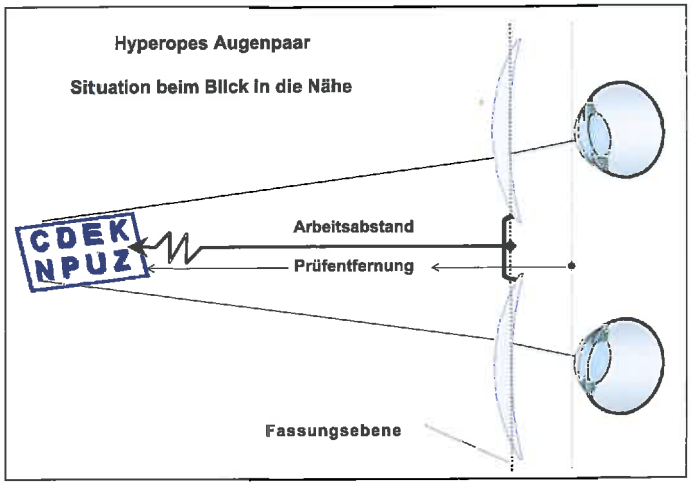


Abb. 14 Situation beim Blick in die Nähe für ein hyperopes Augenpaar mit Arbeitsabstand und Prüfentfernung

ken Gleitsichtglas verwirklicht sind. Darüber hinaus liegen dann auch diejenigen Bereiche des Gleitsichtglases, die scharfes Sehen zwischen Ferne und Nähe ermöglichen, konvergenzrichtig. Das gilt exakt bei allen Gradal® Gleitsichtgläsern für eine Pupillendistanz von 65 mm und gilt näherungsweise für um wenige Millimeter davon abweichende Pupillendistanzwerte.

Diese Beschränkungen auf mittlere Pupillendistanzen und mittlere Prüfentfernungen sind beim neuen Gradal® Individual aufgehoben.

Die Wirkungsbereiche können entsprechend den einzelnen Pupillendistanzwerten (p_R, p_L) für das rechte und das linke Auge angeordnet werden. Um den Verlauf der Wirkungsbereiche bis in die Nähe individuell festlegen zu können, bedarf es noch der Angabe der Entfernung, für die der Nahzusatz bestimmt wurde.

Diese Entfernung muss gleichzeitig auch dem Abstand entsprechen, in dem später der Hauptsehbereich für die Nähe liegen wird. Dazu ein Beispiel:

Ein presbyoper Hyperoper habe die folgenden optometrischen Daten:

	Korrektionswerte Ferne S'	Hornhautscheitelabstand HSA	Pupillendistanz PD
	dpt	mm	mm
R.A.	sph +5,0 ⇔ cyl –3,00 A 80°	e = 16	p_R = 35
L.A.	sph +3,25 ⇔ cyl –0,75 A 100°		p_L = 33

Dieser Kunde gibt an, schwierige Arbeiten vorwiegend in 30 cm Entfernung durchzuführen. Deshalb bestimmen Sie die Nahkorrektionswerte in 30 cm vor den Augen (Abb. 14). Dabei ergibt sich eine Addition von 2,25 dpt für diese Entfernung.

Für eine Bestellung von Gradal® Individual geben Sie nun folgende Werte an:

	Korrektionswerte Ferne S'	Hornhautscheitelabstand HSA	Pupillendistanz PD	Addition ADD
	dpt	mm	mm	dpt
R.A.	sph +5,0 ⇔ cyl –3,00 A 80°	e = 16	p_R = 35	2,25
L.A.	sph +3,25 ⇔ cyl –0,75 A 100°		p_L = 33	in 30 cm

Zur Addition wird also zusätzlich die Prüfentfernung angegeben, die dem Abstand zur Nahsehprobe entspricht. Die Wirkungsbereiche werden dann entsprechend berechnet und liegen konvergenzrichtig und mit der benötigten Wirkung in den Sehbereichen im Gleitsichtglas. In diesem Beispiel empfiehlt sich eine Mittendickenreduktion (Optima), um leichte und dünne Brillengläser für die Brille des Kunden zu erhalten.

Über die Unterschiede in der Angabe von Pupillendistanz und Zentrierpunktsabstand bei prismatischen Korrektionen ist von Goersch und Saur an anderer Stelle berichtet worden [3].

Vollständig individuell auf den Kunden abgestimmt sind Bestellangaben natürlich erst, wenn auch die auf die Fassung bezogenen Zentriermaße angegeben sind.

Fassungsberatung unter Berücksichtigung funktioneller Notwendigkeiten

In der Praxis erfolgt die Anpassung von Gradal® Brillengläsern und auch von Gradal® Individual nach der Fernzentrierung. Dies ist eine sichere Methode für eine richtige Anpassung [4], die von anderen Brillenglastypen her bekannt ist. Das optische Design von Brillengläsern ist bei Carl Zeiss und neuerdings auch bei weiteren namhaften Herstellern auf diese Zentriermethode ausgelegt. Einige wenige Regeln sind dabei zu beachten:

Im Normalfall sind die Zentrierkreuze in Nullblickrichtung vor die Pupillenmitte zu legen.

Um eine optimale Größe der Blickfelder in allen Bereichen zu erzielen, ist eine Vorneigung von etwa 9° – also eine relativ große Vorneigung – zu verwirklichen und ein möglichst kleiner Hornhautscheitelabstand anzustreben. Die Fassung muss deshalb schon bei der Auswahl daraufhin geprüft werden, ob die Scheibenhöhe ausreicht und die Inklinierbarkeit auf 9° durchführbar ist. Dies ist bei manchen Gesichtsformen ein schwer zu lösendes Problem, will man den Hornhautscheitelabstand nicht übermäßig groß wählen.

Anders beim Gradal® Individual. Die Vorneigung wird in die individuelle Berechnung der Sehbereiche mit einbezogen. Den anatomischen Gegebenheiten der Gesichtsform des Kunden kann in weiten Bereichen entsprochen werden. Bei der Auswahl der Brillenfassung muss vom Augenoptiker lediglich darauf geachtet werden, dass die Scheibenform einen Abstand zwischen dem unteren Glasrand und der Pupillenmitte in Primärstellung von 20 mm ermöglicht.

Zentriermessungen mit geeigneten Hilfsmitteln

Video Infral® ist ein seit 1992 eingeführtes Brillenanpassgerät, bestehend aus einer Kameraeinheit mit zwei Videokameras. Damit wird eine Frontal- und Seitenansicht des Kunden mit der Brillenfassung simultan erfasst und die genauen Daten zur Anpassung der Brillengläser aus diesen ermittelt.

Über die Ausgestaltung dieses Brillenanpasssystems und die Möglichkeiten der Datenübergabe an eine entsprechend ausgerüstete Werkstatt ist bereits mehrfach berichtet worden [5]. Mit diesem Video Infral® System sind die notwendigen Positionsparameter wie Pupillendistanz, Zentrierpunktabstände, Hornhautscheitelabstand, Vorneigung und die Fassungsmaße präzise und

einfach für alle Gradal-Gleitsichtgläser zu erfassen. Die Anpassung und Bestellung von Gradal® Individual gestaltet sich hierbei besonders problemlos für den Augenoptiker, da alle zu einer umfassenden Optimierung benötigten Parameter erfasst und „online" weitergegeben werden können. Der Kunde erhält bei dieser Vorgehensweise eine wirklich individuelle Gleitsichtbrille von der Konzeption bis zur Anpassung.

Natürlich kann man die notwendigen Positionsparameter auch mit etwas mehr persönlichem Aufwand ausreichend genau erfassen. Dazu sind die unterschiedlichsten Methoden, die der Augenoptiker im Laufe seiner Ausbildung kennenlernt, anwendbar. Eine kritische Würdigung dieser Verfahren ist beispielsweise von Kochniss veröffentlicht worden [6].

Mit Gradal® Individual können die Sehbereiche immer individuell konvergenzrichtig angeordnet und die Korrektionswerte wirkungsrichtig hergestellt werden. Mit Gradal® Individual erhält der Gleitsichtbrillenträger sein optimal binokulares Blick-/Gesichtsfeld in allen Sehbereichen.

Zusammenfassung

In einem kurz gefassten historischen Rückblick auf die fast 100-jährige Geschichte des Gleitsichtbrillenglases wurde der bisher erreichte Entwicklungstand dargestellt. Die rasante Entwicklung und Verbreitung der Computertechnik sowie die Anwendung neuer Verfahren in der Maschinenbautechnik ermöglichen es heute, einen völlig neuen Typ von Gleitsichtbrillengläsern zu schaffen. Die Vorteile dieses individuellen Gleitsichtglases werden anhand einiger Beispiele zu den Blick-/Gesichtsfeldern erläutert. Die Umsetzung des optischen Designs durch neuzeitliche Fertigungsmethoden in ein Gleitsichtglas wird anschaulich dargestellt.

Die „Zufriedenheit" der Brillenträger ist von ineinander verketteten Tätigkeiten und Bedingungen abhängig. Exakte Augenglasbestimmung, richtige Anpassung der Fassung und Zentrierung der Gleitsichtbrillengläser zum Augenpaar sind genauso entscheidend für die „Verträglichkeit" einer individuellen Gleitsichtbrille wie das optische Design, das durch eine entsprechende Fertigungstechnologie verwirklicht wird. Nicht zuletzt gehört dazu auch eine fachgerechte Einweisung des Kunden mit Erklärungen zu den visuellen Besonderheiten bei der Benutzung von Gleitsichtbrillen.

Abb. 15 Video Infral® Brillenanpasssystem

Literatur

[1] Minkwitz, G.: Über den Flächenastigmatismus bei gewissen symmetrischen Asphären"; Optica Acta, Band 10, S. 223-227, Jahrgang 1963 Nr. 3

[2] Carl Zeiss: „Optimum Surface Design "; Aus der Zeiss Brillenglas-Forschung, Info Broschüre Januar 1995

[3] Goersch, H.: „Übertragung prismatischer Korrektionen aus der Meßbrille in die Korrektionsbrille", DOZ 47(12): 26–32, 1992
Saur, K., Kelch, G.: „Augenoptische Fachkompetenz bei der Anpassung prismatischer Brillengläser"; Zeiss-Sonderdruck aus NOJ 5-97 und 6-97

[4] Stollenwerk, G.: „Auf Ferne oder auf Nähe? Zur Horizontalzentrierung von Gleitsichtbrillengläsern,"; Zeiss-Sonderdruck aus NOJ 1, 1994

[5] Grimm, W.: „Computerunterstützte optische Brillenanpassung"; Der Augenoptiker 44, 10, S. 21 - 28, 1989, 41. Sonderdruck der WVAO, S. 78-83, 1989
Gottlob, H., Koch, P.H.: „Video Infral – die neue Dimension eines Meß- und Anpaßsystems für Brillen"; DOZ 49(4): 24–28, 1994

[6] Kochniss, Th.: „Die Zentrierung von Brillengläsern in der Praxis des Augenoptikers"; Sonderdruck aus Optometrie 4, 1986
„Gleitsichtglas-Zentrierung bei Hyperopie"; 46. Sonderdruck der WVAO, S 58-64, 1994

Anschrift der Autoren:
Dr. Wolfgang Grimm/Gerhard Kelch,
c/o Carl Zeiss, Postfach 18 65, 73408 Aalen