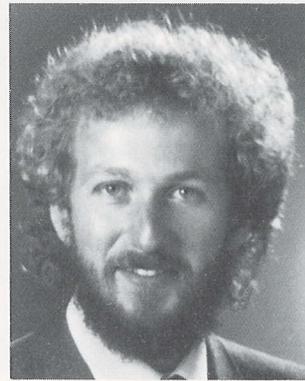


**Dipl.-Phys.
Werner Köppen**
Leiter der Hauptabteilung
Physiologische Optik
Optische Werke
G. Rodenstock, München



**Dipl.-Ing. (FH)
Walter von Gelmini**
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter
Optische Werke
G. Rodenstock, München

Gerandete Progressivgläser mit minimaler Dicke durch Progressiv R-MDM

1. Einführung

Bei der Bewertung der Eigenschaften eines Brillenglases messen wir der Dicke und dem Gewicht heute eine größere Bedeutung zu, als dies früher der Fall war. Zu einer Brille, die unseren gesteigerten Anforderungen in bezug auf Formschönheit und Tragekomfort entspricht, gehören dünne und leichte Gläser; zusätzliche Bedeutung erhalten diese Eigenschaften durch die relativ großen Scheibenabmessungen modischer Fassungen. Mit hochbrechenden Materialien und organischen Gläsern läßt sich das Glasgewicht bereits erheblich reduzieren. Darüber hinaus ist eine weitere Dicken- und Gewichtsverringerung in bestimmten Fällen dadurch möglich, daß der Hersteller das von ihm gelieferte rohkantige Brillenglas bereits nach der Fassungsscheibe „vorformt“. Wählt man nämlich aus einem hinreichend fein gestuften System runder zentrischer Gläser den kleinsten noch ausreichenden Rohglasdurchmesser, so wird ein sphärisches Glas auch nach dem Randen die geringstmögliche Randdicke erhalten*. Dagegen fällt bei zylindrischen und prismatischen Wirkungen das randgeformte Glas häufig dicker und schwerer als notwendig aus, obwohl das runde Rohglas mit der minimalen Randstärke gefertigt wurde. Auch für diese Gläser kann man die Dicke weiter reduzieren, wenn bereits bei ihrer Fertigung die Scheibenform der Fassung und die Zentrierung berücksichtigt werden. Das neue MDM-System bietet diese Möglichkeit für das Progressiv R, wobei sich für bestimmte Wirkungen, wie die Tabelle in Abb. 1 belegt, deutliche Dicken- und Gewichtsreduzierungen ergeben.

* Das gilt nicht, wie später erläutert wird, für Progressivgläser, so daß bei diesem Glastype die Dicke auch für sphärische Wirkungen reduziert werden kann

Optische Wirkung (dpt)	Durchmesser Vollglas (mm)	Dicke Vollglas (mm)	MDM-Ausführung $r_i/r_o/h_o/h_u$	Dicke MDM (mm)	Dickenreduktion (mm)
sph -1.0 cyl +2.0 A 0° Add 3.0	74	3.7	37/37/26/26	2.6	1.1 (-30%)
sph -2.0 cyl +3.0 A 0° Add 2.0	70	2.9	35/35/24/28	2.2	0.7 (-24%)
sph +1.5 cyl +0.5 A 0° Add 3.0	70	4.6	35/35/26/26	3.8	0.8 (-17%)
sph +1.0 cyl +1.0 A 0° Add 2.0	70	4.1	35/31/24/28	3.0	1.1 (-27%)
sph +0.0 cyl +2.0 A 0° Add 2.0	66	3.8	33/31/26/30	2.9	0.9 (-24%)
sph -2.0 cyl +4.0 A 0° Add 3.0	74	4.9	37/37/24/28	2.8	2.1 (-43%)
sph +3.0 Add 2.5	74	6.4	37/31/24/30	5.3	1.1 (-17%)
sph +2.0 cyl +2.0 A 10° Add 2.5	74	7.6	37/31/24/30	5.3	2.3 (-30%)
sph 0.0 cyl +4.0 A 0° Add 3.0	74	7.8	37/31/24/30	4.5	3.3 (-42%)
sph 0.0 cyl +4.0 A 0° Add 2.5	74	7.6	37/31/26/26	3.8	3.8 (-50%)

Abb. 1 Dickenreduktion von verschiedenen Progressiv R-Gläsern durch das MDM-System.

2. Prinzip des MDM-Verfahrens

Damit auch randgeformte torische und prismatische Gläser so dünn als möglich ausfallen, ist es grundsätzlich denkbar, bei der Fertigung zuerst das Glas entsprechend der Formscheibe zu randen und anschließend mit der geringstmöglichen Dicke die Innenfläche einzubringen. Bei der Vielzahl der verschiedenen Fassungsscheiben ist diese Fertigungsweise, zumindest in großem Maßstab, wegen des hohen organisatorischen, mathematischen und fertigungstechnischen Aufwands nicht zu vertreten. So stellte sich für uns die Aufgabe, eine Randgestaltung des rohkantigen Glases zu finden, die einerseits die unterschiedlichen Scheibenformen gut annähert, andererseits die Investitionen hinsichtlich des Rechenformalismus und der Werkzeuge in Grenzen hält.

2.1 MDM-Abschliffform

In welcher Weise ist es nun günstig, das Rohglas „vorzuformen“? Zuerst liegt es nahe, einen Höhenabschliff vorzunehmen, da i. allg. das runde Glas oben und unten durch die Scheibenform der Fassung bei weitem nicht ausgenutzt wird. Aus fertigungstechnischen Gründen bietet sich hierzu vorerst als einfachste Ausführung ein symmetrischer Abschliff an, für den also die Höhen über und unter der Glasmitte gleich sind. Mit diesem Höhenabschliff läßt sich eine Dickenreduktion dann erzielen, wenn beim runden Rohglas dadurch die dünnste Randstelle wegfällt. Zur Verdeutlichung dieses Prinzips genügt es vorläufig, als Beispiel – wie in Abb. 2 – ein Einstärken- oder ein herkömmliches Mehrstärken-

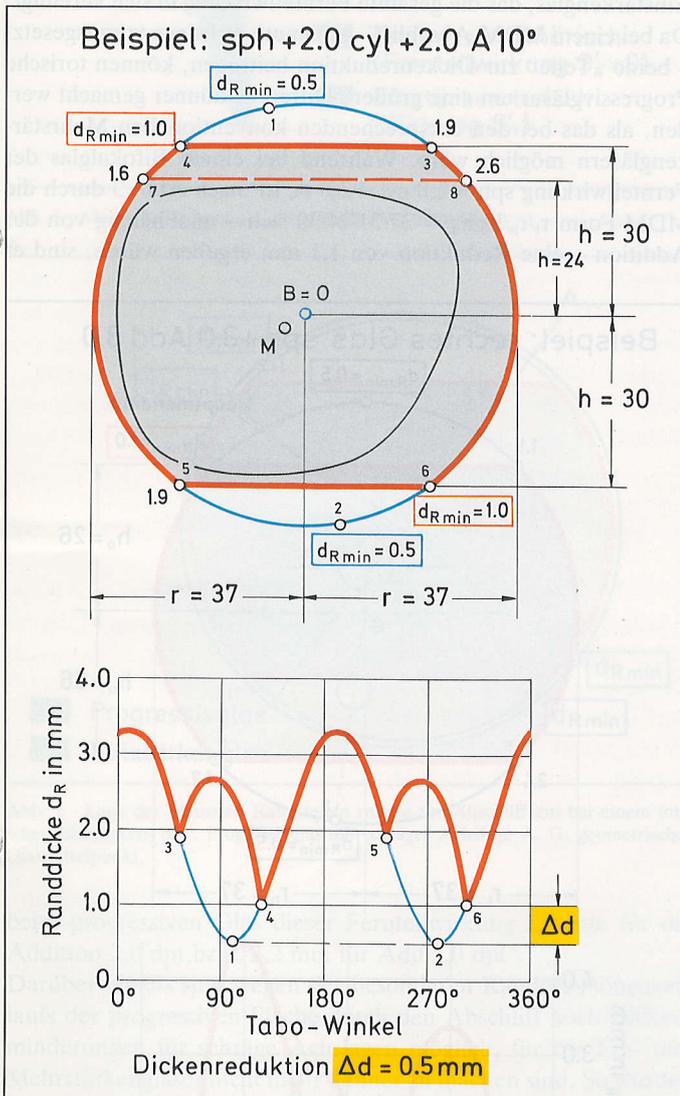


Abb. 2 Dickenreduktion Δd eines torischen Brillenglases durch einen symmetrischen Höhenabschliff. B: Bezugspunkt, O: optischer Mittelpunkt, M: Formscheibenmittelpunkt (Blau: rundes Rohglas, rot: Abschliffform).

glas zu betrachten. Die Erweiterung auf die speziellen Möglichkeiten von Progressiv R-MDM erfolgt später. Das runde torische Glas mit der Achslage 10° wird in den Randpunkten 1 und 2 auf der Achsensenkrechten am dünnsten. In diesen beiden Punkten hat das Rohglas mit 0,5 mm etwa die geringstmögliche Randstärke, die noch ausreichende Stabilität gewährleistet. Durch den symmetrischen Höhenabschliff mit $h = 30 \text{ mm}$ entfallen der obere und untere Glasbereich, und das „vorgeformte“ Glas hat mit

1,0 mm seine geringste Dicke jetzt in den Punkten 4 bzw. 6. Wird das Glas in der symmetrischen Abschliffform so gefertigt, daß es in diesen beiden Punkten ebenfalls nur 0,5 mm dick ist, so ist es gegenüber dem runden Rohglas um 0,5 mm dünner und entsprechend leichter geworden.

Geht man von der einfachen symmetrischen auf eine unsymmetrische Abschliffform über, so läßt sich die Glasdicke noch um deutlich mehr verringern. Bei den Mehrstärkengläsern und ganz besonders bei den progressiven Gläsern kann i. allg. die obere Abschliffhöhe kleiner als die untere gewählt werden, da durch die Höhenzentrierung der Glasmittelpunkt meist über der Scheibenmitte liegt. In unserem Beispiel in Abb. 2 wäre eine obere Höhe $h_o = 24 \text{ mm}$ durchaus ausreichend. Führt man den Abschliff in der Höhe asymmetrisch aus, so kann offensichtlich unmittelbar keine weitere Reduzierung erreicht werden, da wohl die geringste Glasdicke der symmetrischen Form in 4 weggeschliffen wird, in 6 aber erhalten bleibt. Nun liegt jedoch der Punkt 6 im nasalen Glasbereich, in dem beim Einschleifen in die Fassung der Rohglasdurchmesser in fast allen Fällen und so auch im gewählten Beispiel nicht voll ausgenutzt wird. Durch einen zusätzlichen nasalen Abschliff, wie in Abb. 3 ausgeführt, ergibt sich eine, jetzt auch in der Breite, unsymmetrische Abschliffform, die an ihrer dünnsten Randstelle 4 mit 1,6 mm sogar um 1,1 mm dicker als die minimale Fertigungsdicke von 0,5 mm ist. Gegenüber dem runden Glas ist nun sogar eine Dickenreduktion um 1,1 mm möglich. Diese spezielle Randgestaltung des Rohglases, bei der die Halbmesser und die Abschliffhöhen jeweils unabhängig voneinander gewählt werden können, erlaubt es, die unterschiedlichen Formen der Fassungsscheiben sehr gut anzunähern. Sie wurde deshalb dem Rodenstock MDM-System für Progressiv R zugrundegelegt, mit dem eine MITTENDICKENMINIMIERUNG des gerandeten Brillenglases in der oben erläuterten allgemeinen Form möglich ist. Die MDM-Scheibenform ist durch 4 Bestimmungsgrößen festgelegt (Abb. 3): Der temporale bzw. nasale Halbmesser r_t bzw. r_n und die obere bzw. untere Abschliffhöhe h_o bzw. h_u .

2.2 Für welche optischen Wirkungen ist eine Dickenreduktion möglich?

Nach den bisherigen Erläuterungen muß ein Brillenglas, das in der MDM-Ausführung dünner gefertigt werden kann, folgende Voraussetzung erfüllen:

Beim runden Rohglas muß die dünnste Stelle am Rand liegen und durch den MDM-Abschliff wegfallen.

Mit dieser Bedingung läßt sich der optische Wirkungsbereich, für den eine Dickenreduktion möglich ist, wie folgt eingrenzen:

- Bei nicht-prismatischen Gläsern muß die optische Wirkung größer als Null sein. Diese Forderung muß bei den torischen Gläsern für die kombinierte Wirkung (sph + cyl) erfüllt sein.
- Für zylindrische Wirkungen sind maximale Reduktionen bei einer Achslage um 0° möglich. Nähert sich die Achslage 90°, so wird der Reduktionswert i. allg. rasch kleiner.
- Prismatische Gläser lassen sich durch MDM dünner machen bei Basislage B. u., B. o. und B. a., nicht aber bei B. i. Diese Überlegungen gelten vorerst für alle Typen von Brillengläsern. Bei Einstärken- und konventionellen Mehrstärkengläsern würde der Anwendungsbereich dadurch noch weiter eingeschränkt, daß sphärische Gläser und torische Gläser mit der

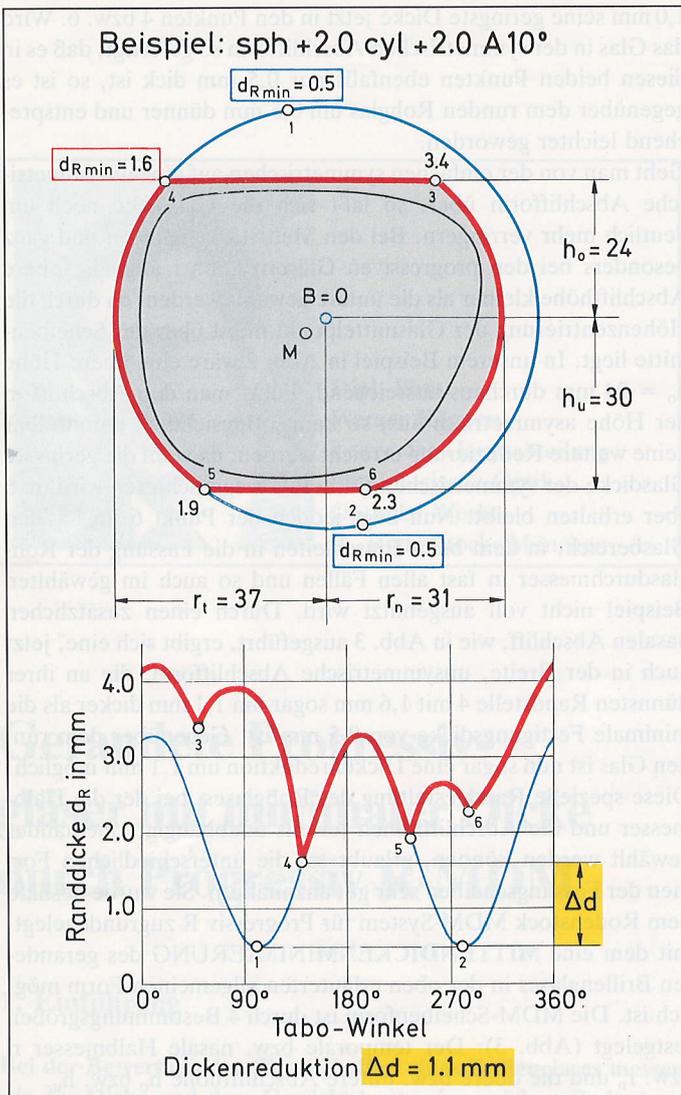


Abb. 3 Dickenreduktion Δd eines torischen Brillenglases durch einen asymmetrischen Abschleif. B: Bezugspunkt, O: optischer Mittelpunkt, M: Formscheibennmittelpunkt (Blau: rundes Rohglas, rot: Abschleifform).

Achslage 90° in der Dicke nicht mehr zu reduzieren sind. Hier ist bereits durch die Wahl des kleinsten noch ausreichenden runden Rohglases gewährleistet, daß das gerandete Glas so dünn wie möglich wird. Dagegen können progressive Gläser dieser Wirkungen in manchen Fällen durch einen Abschleif noch dünner gemacht werden, so daß die Anwendung der Dickenreduktion auf diesen Glastype, so wie bei Progressiv R-MDM, besonders interessant ist.

3. Dickenreduktion bei progressiven Gläsern

Wie erwähnt, lassen sich sphärische Ein- und Mehrstärkengläser durch „Vorformen“ nicht mehr dünner fertigen. Im Gegensatz dazu sind bei sphärischen Progressivgläsern mittlerer bis hoher Addition durchaus merkliche Dicken- und Gewichtseinsparungen möglich. Während nämlich bei den röhrenden sphärischen Unifokalgläsern die Randdicke über den Umfang konstant ist, nimmt sie bei den sphärischen Progressivgläsern wegen des Wirkungsanstiegs und des Dickenreduktionsprismas von der Glashorizontalen nach unten bzw. oben hin stetig ab (Abb. 4). Die dünnsten Randstellen des runden Glases liegen im Fernteil bei 90° Tabo

(Punkt 1) wegen des Dickenreduktionsprismas und im Nahteil auf dem Hauptmeridian, der entsprechend der Nahteildezentration gegen die Vertikale verschwenkt ist. Durch den Höhenabschleif ($h_o = h_u = 26 \text{ mm}$) ergibt sich eine symmetrische MDM-Form, die in Punkt 3 ihre minimale Randdicke 1,0 mm hat. Wird dieses vorgeformte Glas nun mit der minimalen Randdicke von 0,5 mm gefertigt, so kann es im Vergleich zur Normalausführung um 0,5 mm dünner gemacht werden.

Die Sonderstellung des MDM-Verfahrens für progressive Gläser zeigt sich auch für zylindrische Wirkungen. Abb. 5 macht dies auf sehr einfache Weise anschaulich: Das torische Progressivglas kann man sich zusammengesetzt vorstellen aus einem sphärischen Progressivglas mit der Fernteilwirkung Null und einem torischen Einstärkenglas, das die gesamte Fernteilwirkung in sich vereinigt. Da bei einem MDM-Abschleif – geeignete Achslage vorausgesetzt – beide „Teile“ zur Dickenreduktion beitragen, können torische Progressivgläser um eine größere Differenz dünner gemacht werden, als das bei den entsprechenden konventionellen Mehrstärkengläsern möglich wäre. Während bei einem Bifokalglas der Fernteilwirkung sph +2,0 cyl +2,0 A 10° nach Abb. 3 durch die MDM-Form $r_t/r_n/h_o/h_u = 37/31/24/30$ sich – unabhängig von der Addition – eine Reduktion von 1,1 mm ergeben würde, sind es

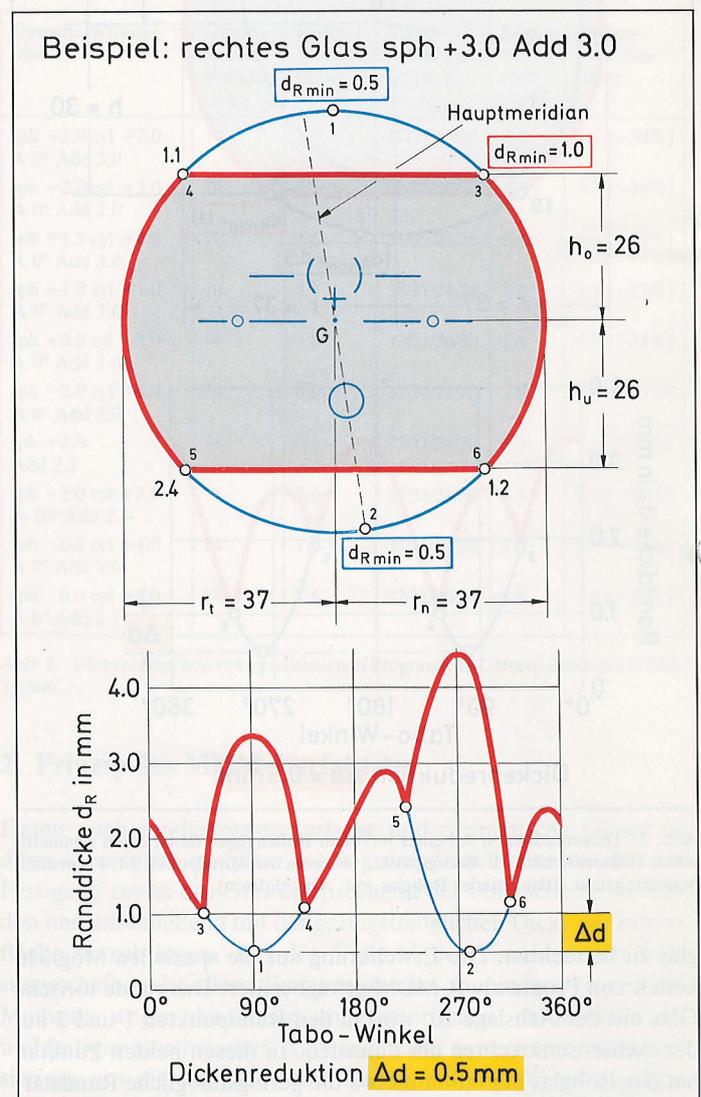


Abb. 4 Dickenreduktion Δd eines sphärischen Progressivglases durch einen symmetrischen Höhenabschleif. G: geometrischer Glasmittelpunkt (Blau: rundes Rohglas, rot: Abschleifform).

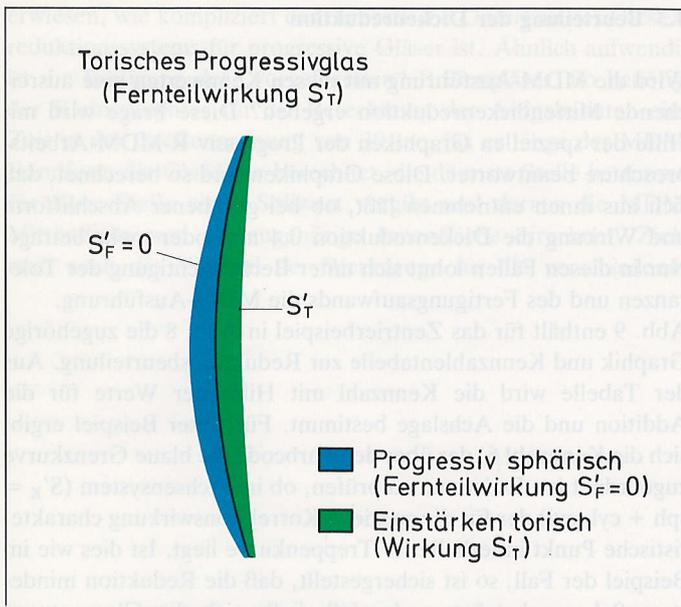


Abb. 5 Modelldarstellung eines torischen Progressivglases

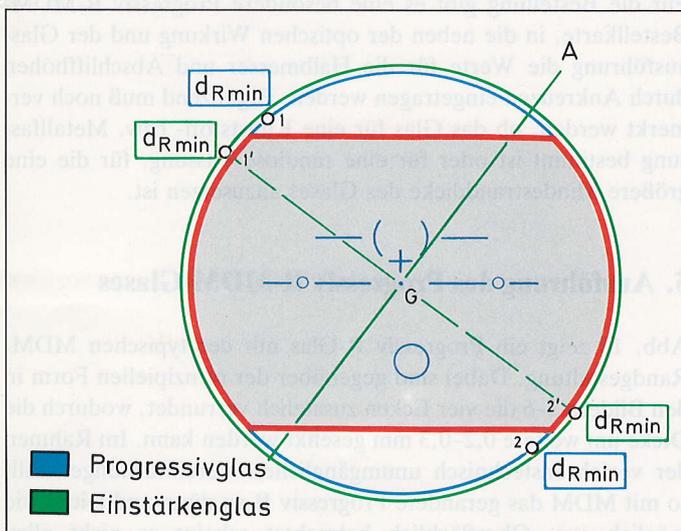


Abb. 6 Lage der dünnsten Randstellen relativ zur Abschleifform bei einem torischen Einstärken- bzw. Progressivglas mit schräger Achslage A. G: geometrischer Glasmittelpunkt.

beim progressiven Glas dieser Fernteilwirkung 1,9 mm für die Addition 2,0 dpt bzw. 2,2 mm für Add 3,0 dpt*.

Darüber hinaus sind wegen des besonderen Randfeilhöhenverlaufs der progressiven Fläche durch den Abschleiff noch Dickenminderungen für schräge Achslagen möglich, für die Ein- und Mehrstärkengläser nicht mehr dünner zu machen sind. So würden beim Einstärkenglas mit schräger Achslage in Abb. 6 die dünnsten Randstellen 1' und 2' auf der Achsenkrechten durch den Abschleiff nicht wegfallen, was bedeutet, daß die Glasdicke dadurch nicht mehr zu reduzieren ist. Bei einem Progressivglas mit der gleichen Achslage wandern durch die Überlagerung des Pfeilhöhenverlaufs der progressiven Fläche die dünnsten Randstellen auf dem Umfang in Richtung auf den Hauptmeridian nach 1 bzw. 2. Diese Punkte liegen außerhalb der MDM-Scheibenform, werden also weggeschliffen, so daß, im Gegensatz zum Einstärkenglas, Dicke und Gewicht verringert werden können. So ist bei

* wobei 0,2-0,3 mm Reduktion durch eine zusätzliche Verrundung der Ecken der MDM-Form gewonnen werden (s. Abschnitt 5)

Gläsern mit gleitender optischer Wirkung, wenn der Zylinderwert klein und die Addition groß ist, sogar für die Achslage 90° eine Dickenreduktion möglich.

4. Das Progressiv R-MDM-System

4.1 Erzielbare Dickenreduktion

Die besonderen Möglichkeiten der Dickenreduktion bei den progressiven Gläsern waren für uns ausschlaggebend, das MDM-System vorerst nur für Progressiv R einzuführen, obwohl grundsätzlich auch eine Anwendung auf Ein- und Mehrstärkengläser möglich wäre.

Die bereits eingangs aufgeführte Tabelle in Abb. 1 unterstreicht die Leistungsfähigkeit des MDM-Systems angewendet auf Progressiv R. Bei mittleren Zylinderwerten um 1,0 dpt können für die Achslage 0° die Gläser durch die spezielle Randgestaltung um etwa 25% dünner gemacht werden, bei hohen Zylindern sogar bis zu 50%. Doch auch für kleine Zylinder, schräge Achslagen und sphärische Gläser ergeben sich, vor allem bei asymmetrischer Ausführung, noch deutliche Reduktionen. Die durch das MDM-System erzielte prozentuale Gewichtsminde rung ist in grober Näherung um etwa 5%-Punkte größer als der Wert der Dickenreduktion in Prozent. Im Vergleich zum runden Rohglas lassen sich zylindrische Wirkungen i. allg. um so dünner und leichter fertigen, je näher die Achse bei 0° liegt und je größer Zylinderwert, Addition und kombinierte Wirkung sind; bei sphärischen Gläsern nimmt die Dicken- und Gewichtersparnis im wesentlichen mit der Addition (mindestens Add 2.0) zu.

Soll ein Progressiv R-Glas durch die MDM-Schleifart dünner gefertigt werden, so ist

1. die MDM-Scheibenform zu bestimmen und
2. sicherzustellen, daß eine ausreichende Dickenreduktion erzielt wird.

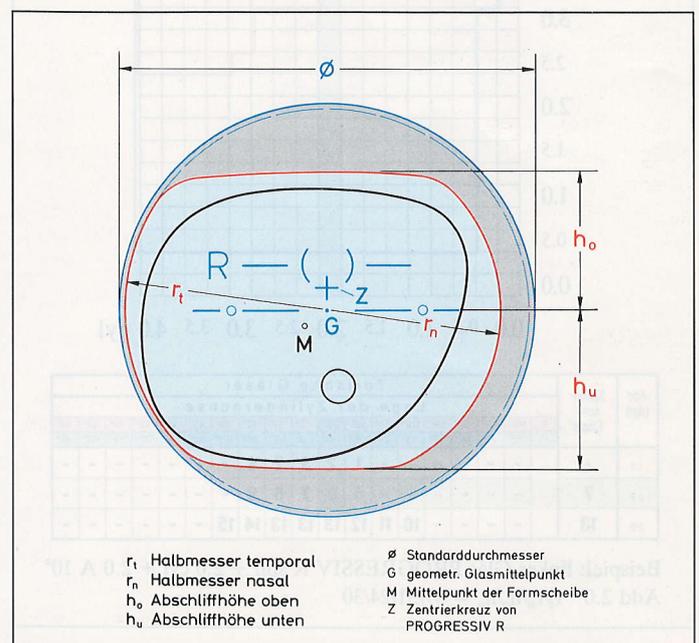


Abb. 7 Bestimmungsgrößen für das Rodenstock MDM-System

4.2 Bestimmung der MDM-Scheibenform

Nach Abschnitt 2.1 liefern nur vier Angaben zur Scheibenform der Fassung und zur Zentrierung die vollständige Information für die Berechnung der minimalen Rand- bzw. Mittendicke. Abb. 7 zeigt die vier Bestimmungselemente: temporaler Halbmesser r_t , nasalaler Halbmesser r_n , obere Abschlißhöhe h_o und untere Abschlißhöhe h_u . Die für den speziellen Anpaßfall zugehörige MDM-Scheibenform wird, ähnlich einer Durchmesserbestimmung, rasch und einfach mit der Progressiv R-MDM-Schablone festgelegt. Abb. 8 zeigt ein Beispiel: Die Fassung wird so auf die Schablone gelegt, daß das auf der Zentrierhilfe bereits angezeichnete Zentrierkreuz sich mit der entsprechenden Markierung der Schablone deckt. Dann lassen sich für z. B. das linke Glas die vier Werte $r_t/r_n/h_o/h_u = 37/31/24/30$ unmittelbar ablesen, wobei eine Einschleifreserve von etwa 1 mm berücksichtigt ist.

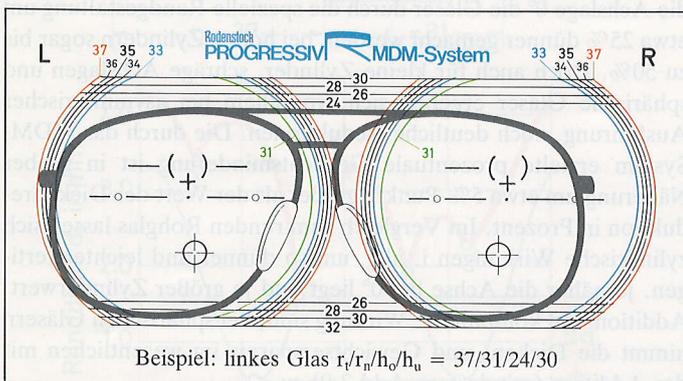


Abb. 8 Bestimmung der Halbmesser und Abschlißhöhen mit der Progressiv R-MDM-Schablone

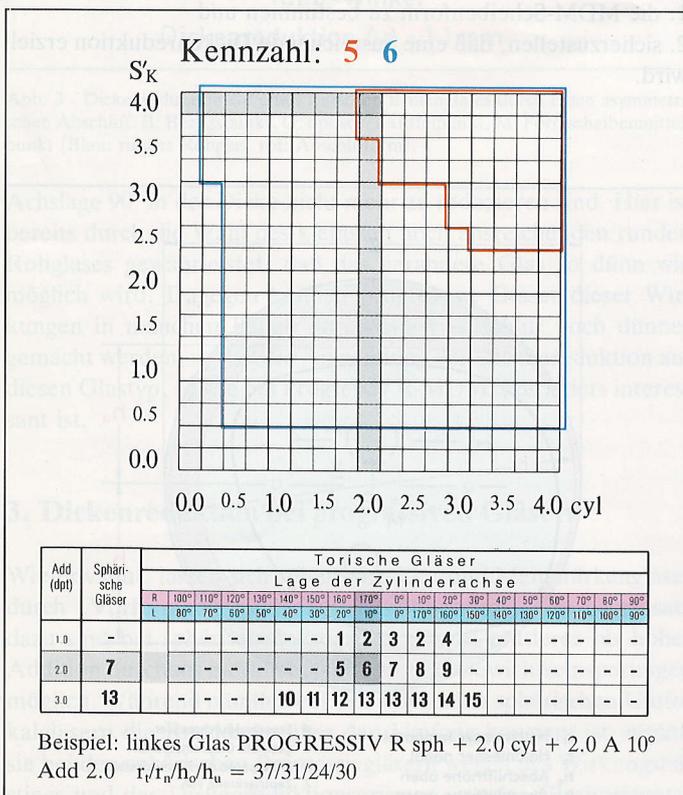


Abb. 9 Graphik und Kennzahlentabelle zur Beurteilung der MDM-Dickenreduktion für das Beispiel in Abb. 8

4.3 Beurteilung der Dickenreduktion

Wird die MDM-Ausführung mit diesen Kennwerten eine ausreichende Mittendickenreduktion ergeben? Diese Frage wird mit Hilfe der speziellen Graphiken der Progressiv R-MDM-Arbeitsbroschüre beantwortet. Diese Graphiken sind so berechnet, daß sich aus ihnen entnehmen läßt, ob bei gegebener Abschlißform und Wirkung die Dickenreduktion 0,4 mm oder mehr beträgt. Nur in diesen Fällen lohnt sich unter Berücksichtigung der Toleranzen und des Fertigungsaufwands die MDM-Ausführung.

Abb. 9 enthält für das Zentrierbeispiel in Abb. 8 die zugehörige Graphik und Kennzahlentabelle zur Reduktionsbeurteilung. Aus der Tabelle wird die Kennzahl mit Hilfe der Werte für die Addition und die Achslage bestimmt. Für unser Beispiel ergibt sich die Kennzahl 6, der über den Farbcode die blaue Grenzkurve zugeordnet ist. Es ist nun zu prüfen, ob im Achsensystem ($S'_K = sph + cyl$, cyl) der für die spezielle Korrekturwirkung charakteristische Punkt innerhalb der Treppenkurve liegt. Ist dies wie im Beispiel der Fall, so ist sichergestellt, daß die Reduktion mindestens 0,4 mm beträgt, andernfalls ließe sich das Glas nur um weniger als 0,4 mm dünner machen.

Für die Bestellung gibt es eine besondere Progressiv R-MDM-Bestellkarte, in die neben der optischen Wirkung und der Glasausführung die Werte für die Halbmesser und Abschlißhöhen durch Ankreuzen eingetragen werden. Ergänzend muß noch vermerkt werden, ob das Glas für eine Kunststoff- bzw. Metallfassung bestimmt ist oder für eine randlose Fassung, für die eine größere Mindestranddicke des Glases anzusetzen ist.

5. Ausführung des Progressiv R-MDM-Glases

Abb. 10 zeigt ein Progressiv R-Glas mit der typischen MDM-Randgestaltung. Dabei sind gegenüber der prinzipiellen Form in den Bildern 2-6 die vier Ecken zusätzlich verrundet, wodurch die Dicke um weitere 0,2-0,3 mm gesenkt werden kann. Im Rahmen der verfahrenstechnisch unumgänglichen Vereinfachungen fällt so mit MDM das gerandete Progressiv R so dünn und leicht wie möglich aus. Oberflächlich betrachtet scheint es nicht allzu schwierig, Brillengläser in dieser Schleifart auszuführen. Doch bereits die Darstellung der grundsätzlichen Zusammenhänge hat

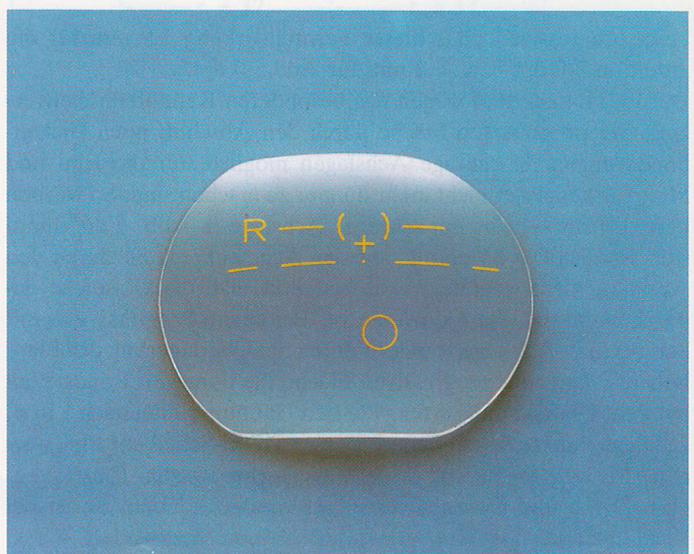


Abb. 10 Progressiv R, gefertigt nach dem MDM-System

erwiesen, wie kompliziert der theoretische Unterbau des Dickenreduktionssystems für progressive Gläser ist. Ähnlich aufwendig ist die Fertigung der „vorgeformten“ Brillengläser. So benötigt der Kleincomputer für die Berechnung der Aufgabedaten eine Zeit in der Größenordnung von 30 sec, bis er längs der MDM-Randform die Glasdicke berechnet, die dünnste Stelle bestimmt, für diese Stelle einen Sollwert vorgibt und daraus die MDM-Mittendicke und die zugehörige Innenfläche errechnet. Zieht man noch die Vielzahl der Werkzeuge für die verschiedenen

Kombinationen von Halbmesser und Abschlifffhöhen in Betracht und berücksichtigt die Schwierigkeiten, die die Bearbeitung der nun nicht mehr runden, sondern mit einer Unwucht versehenen Gläser bereitet, so erhält man eine Vorstellung von dem Aufwand, den die Fertigung eines qualitativ einwandfreien Progressiv R-MDM-Glases bedeutet. Ein Brillenglas, das sich treffend so charakterisieren läßt, daß es für den individuellen Anwendungsfall „maßgeschneidert“ ist.

DOZ

Dipl.-Phys.
Werner Köppen

Dipl.-Ing. (FH)
Walter von Gemini

Gerandete Progressiv-
gläser mit minimaler Dicke
durch Progressiv R-MDM