



Aus der Artikel-Serie „Objektivnamen“:

Distagon, Biogon und Hologon

von

H. H. Nasse

Retrofocus-Objektive – und warum sie erfunden wurden

In diesem dritten Teil unserer Artikelreihe über die Objektivnamen bei Carl Zeiss möchte ich Ihnen gleich drei verschiedene Objektivtypen vorstellen. Sie haben mit der Endsilbe ‚gon‘ eine Gemeinsamkeit in ihrem Namen, die zum Ausdruck bringt, dass es sich um Objektive mit großem Bildwinkel handelt. Dieser Namensbestandteil ist abgeleitet vom griechischen Wort ‚gonia‘ (γωνία) für ‚Winkel‘ und wurde auch von vielen anderen Herstellern bei Weitwinkelobjektiven verwendet. Eines der frühesten Beispiele ist das berühmte ‚Hypergon‘ mit 130° Bildwinkel, das die Firma Goerz aus Berlin um 1900 auf den Markt brachte.

Die drei Objektivtypen **Distagon**, **Biogon** und **Hologon** haben aber neben dieser Gemeinsamkeit auch große Unterschiede, und deren Betrachtung ist besonders hilfreich, um ihre besonderen Eigenschaften besser zu verstehen. Deshalb erscheint mir ein gemeinsamer Artikel sehr sinnvoll.

Wenn man in der Fotografie von einem ‚Normalobjektiv‘ spricht, dann versteht man darunter meist ein Objektiv, dessen Brennweite ungefähr so lang ist wie die Diagonale des Bildfeldes. Das Kleinbildformat 24x36mm hat eine Diagonale von 43,3mm, das APS-C Format 28,4mm, das analoge Mittelformat liegt mit seinen verschiedenen Varianten zwischen 70 und 90mm, das digitale zwischen 55 und 60mm.

Bei einem ‚Weitwinkelobjektiv‘ ist die Brennweite deutlich kürzer als die Diagonale des Aufnahmeformates; ist sie ungefähr gleich der langen Formatseite, dann spricht man von einem *gemäßigten Weitwinkel*. *Superweitwinkel* nennt man die Brennweiten zwischen der Länge der kurzen Formatseite und der halben Diagonale; die noch kürzeren erhalten oft das Etikett *Extremweitwinkel*, wobei die Grenzen natürlich fließend sind und ein wenig auch eine Geschmacksfrage.

Ein Objektiv kürzerer Brennweite kann man aus einem vorhandenen ableiten, indem man alle seine Maße entsprechend verkleinert. Das ist ganz ähnlich wie bei der Modelleisenbahn. Manche Kleinbild- und Mittelformatobjektive sehen deshalb

sehr ähnlich aus, nur die Größe ist verschieden. Bei diesem ‚Skalieren‘ optischer Konstruktionen bewirkt man natürlich auch die nicht immer erwünschte Verkleinerung des Bildkreises und des Abstandes der Linsen von der Bildebene. Man erhält also nicht automatisch ein brauchbares Weitwinkelobjektiv, und wenn Brennweite und Bildkreis um den gleichen Faktor kürzer werden, bleibt der Bildwinkel derselbe.

Man hat zwar auch mit dem Aufbau der klassischen Objektivtypen Tessar und Planar gemäßigte Weitwinkel realisiert. Wenn man aber den Bildwinkel weiter steigern und immer schräger einfallende Strahlen noch gut korrigieren will, dann stoßen diese Konstruktionen an ihre Grenzen. Weitwinkelobjektive benötigten schon immer neue Ideen und gehörten zu den schwierigeren Aufgaben der Optik.

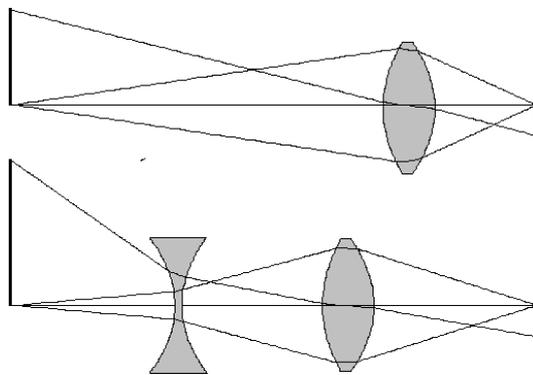
Ein besonderes Problem vieler Kameras ist, dass der **Abstand der letzten Linse** des Objektivs von der Bildebene ein bestimmtes Mindestmaß nicht unterschreiten darf, weil zwischen Objektiv und Bildsensor noch irgendeine technische Funktion Platz benötigt. In der Spiegelreflexkamera ist das der Schwingungspegel, der vor der Aufnahme das Bild auf die Mattscheibe umleitet. Aber auch Farbteiler in Kameras mit drei Sensoren für die Primärfarben oder einfach nur die Funktion der TTL-Belichtungsmessung können eine große **Schnittweite** des Objektivs fordern. In den 1930er Jahren hatten Filmkameras oft einen Objektivrevolver für schnellen Wechsel des Bildwinkels – auch diese Funktion verlangte, dass das Objektiv nicht zu tief in die Kamera hineinragt.



Schon seit 1917 gab es in der Kinoindustrie das *Technicolor*-Verfahren für bewegte Bilder in Farbe, das ab 1932 sehr erfolgreich wurde - das berühmte Filmpos 'Vom Winde verweht' wurde 1939 mit diesem Verfahren gedreht. Die *Technicolor*-Kamera erzeugte mit Hilfe eines Teilerprismas anfangs zwei, später drei farbige Teilbilder nebeneinander auf dem Filmstreifen. Dieses Prisma benötigte soviel Platz zwischen Objektiv und Film, dass die Brennweite normal gebauter Objektive nicht kürzer als 50mm sein konnte. Um trotzdem auch mit dieser Kamera mit größerem Bildwinkel filmen zu können, entwickelte man schon damals einen neuen Objektivtyp, bei dem eine große Negativlinse vor einem normal gebauten Objektiv angeordnet wurde.

Die ersten Objektive für Kleinbild-Reflexkameras nach diesem Prinzip des umgekehrten Teleobjektivs wurden 1950 beinahe zeitgleich von **Pierre Angénieux** in Paris und von **Harry Zöllner** bei Carl Zeiss Jena zum Patent angemeldet. Das Jenaer Objektiv bekam den Markennamen '**Flektogon**', und Angénieux nannte sein Objektiv '**Retrofocus**', um auszudrücken, dass der Fokus nach hinten verlagert wurde.

Dieser ursprünglich als Markenname eingeführte Begriff ist schließlich zu einem Gattungsnamen für alle diese Objektive geworden, der heute bekannter ist als der Ausdruck 'umgekehrtes Teleobjektiv'.

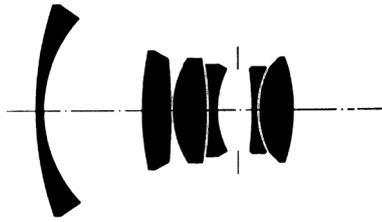


Prinzip des umgekehrten Teleobjektivs, Abbildung eines Gegenstandes von links nach rechts: eine Linse mit negativer Brechkraft vor der positiven Brechkraft des Grundobjektivs erzeugt einen größeren objektseitigen Bildwinkel und vergrößert gleichzeitig die Schnittweite, also den Abstand des letzten Linsenscheitels von der Bildebene.

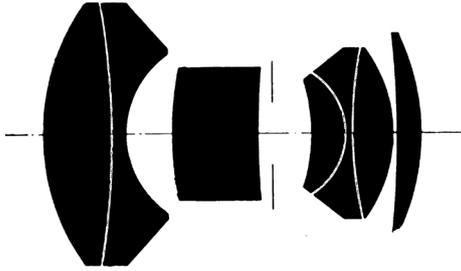
Durch die zerstreue Wirkung dieser Linse wird der Bildwinkel vergrößert, und gleichzeitig wird die sammelnde Wirkung der positiven Brechkraft dahinter etwas geschwächt, so dass sich die Strahlen erst in größerem Abstand schneiden. Die negative Frontlinse verkürzt also die Brennweite und verlängert die Schnittweite. Weil diese Anordnung der Brechkräfte genau das Gegenteil des Bauprinzips der Teleobjektive ist, nennt man so ein Objektiv auch ein *umgekehrtes Teleobjektiv*.

Ab Ende 1952 wurden solche Weitwinkelobjektive auch bei Carl Zeiss in Oberkochen entwickelt, zuerst ein 5,6/60mm für die Hasselblad 1000F. Sie tragen seitdem den Markennamen '**Distagon**', der aus 'Distanz' und dem anfangs erwähnten griechischen Wort für 'Winkel' zusammengesetzt ist. **Ein Distagon ist also ein Weitwinkelobjektiv mit großer Distanz zum Bild.**

Es hatte schon am Anfang des 20. Jahrhunderts gewisse Vorläufer, indem man manchmal solche negativen Vorsätze vor Projektionsobjektiven einsetzte, um in kleinen Räumen große Projektionsbilder zu erzeugen. Solche Frontkonverter gibt es ja heute noch für fest eingebaute Objektive.

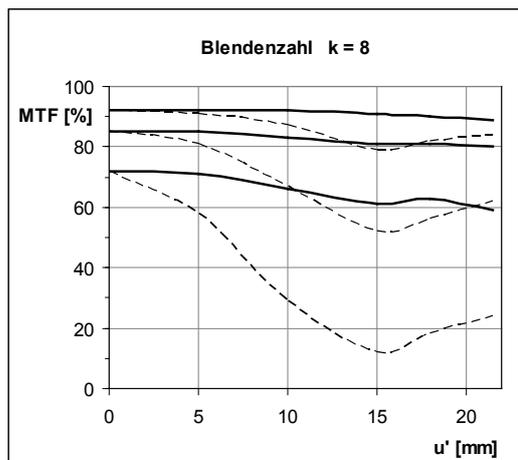


Linsenschnitt des ersten Retrofocus-Objektivs von Carl Zeiss Oberkochen, des Distagon 5,6/60 für die Hasselblad 1000F aus dem Jahr 1954.



Verbesserte Version des Distagon 5,6/60 aus dem Jahr 1956. Diese optische Rechnung wurde „skaliert“ und auch als Distagon 4/35 ab 1958 für die Kleinbildkamera CONTAREX gebaut. Da z.B. die sphärische Aberration mit der vierten Potenz des Blendendurchmessers wächst, kann man die gleiche Objektivkonstruktion für kleinere Bildformate lichtstärker machen.

Sie sehen an diesen Linsenschnitten, dass diese Weitwinkelobjektive mit 6 oder 7 Linsen nicht übermäßig komplex aufgebaut waren. Und was die Lichtstärke angeht, übten sie sich in Bescheidenheit. Blende 4 als größte Öffnung würde man heute belächeln, aber damals war das eine weise Beschränkung, damit die gemäßigten Weitwinkel nicht auch nur mäßig gut waren.



Kontrastübertragung des Distagon 4/35 bei Blende 8. Es gehörte zu seiner Zeit zu den besten dieser Brennweite.

So einfach die Grundidee des Retrofocus-Objektivs auch ist, so stellte sie zunächst die Berechnung der Optik vor neue Herausforderungen. Denn der stark unsymmetrische Aufbau hinsichtlich der Brechkraftverteilung ist die Ursache dafür, dass einige Aberrationen in weit stärkerem Maße auftreten als bei einem ungefähr symmetrischen Objektiv, weil sich dort die Fehlerbeiträge von vorderer und hinterer Objektivhälfte kompensieren. Diese verstärkt auftretenden Fehler sind vor allem die Koma, die Verzeichnung und der Farbquerfehler; man musste erst lernen, wie man diese Abbildungsfehler am besten beherrschen konnte. Und da die frühen Distagon-Typen in den 1950er Jahren noch mit wenig leistungsfähiger Computerunterstützung berechnet wurden, war der Komplexität der optischen Konstruktionen auch dadurch eine Grenze gesetzt.

Die Weiterentwicklung des Distagons in den 60er und 70er Jahren war deshalb untrennbar verbunden mit der damals einsetzenden Leistungssteigerung der Optikberechnung durch immer schnellere Computer und durch stetig verbesserte Programme, die allmählich auch die automatische Optimierung eines Ansatzes ermöglichten. In Oberkochen wurde der Einsatz dieses neuen Werkzeugs vor allem von **Erhard Glatzel** vorangetrieben, von dem auch viele sehr gute Distagon-Berechnungen stammen.

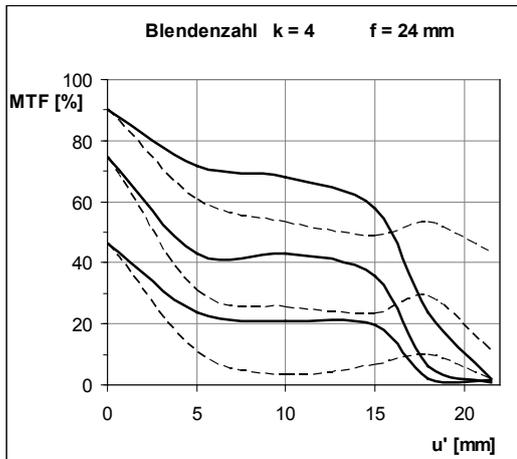
Dank dieser Fortschritte, unterstützt durch neue optische Gläser mit früher nicht verfügbaren Eigenschaften, konnte man schon Mitte der 1970er Jahre so komplexe und gute Objektive bauen wie ein 3,5/15, 1,4/35 oder 1,4/25 für die Kleinbild-SLR.

Heute ist der Distagon-Typ eines der wichtigsten und leistungsfähigsten Bauprinzipien für unsere Fotoobjektive, insbesondere wenn gleichzeitig große Bildwinkel und hohe Anfangsöffnung gefordert werden. Das Objektiv ist dann natürlich in der Regel etwas komplexer und größer, und es kann deshalb auch nicht billig sein. Aber die guten Eigenschaften hinsichtlich Schärfe und Bildfeldausleuchtung machen den Aufwand lohnend.

Wenn die Baubedingungen extrem hohe Unsymmetrie verlangen, wie zum Beispiel in der 3chip-Kamera im 2/3" Format, in der

sich vor dem Sensor mit 11mm Diagonale ein Farbteilerprisma mit 48mm langem Glasweg befindet, dann können die Objektive im Vergleich zur Brennweite sehr groß werden. Beim Extremweitwinkel **DigiWide Distagon 1.7/3.9mm** (rund 1/3 der Formatdiagonale, also etwa 14mm im Kleinbild entsprechend) ist die Baulänge 60x so groß wie die Brennweite. Bei dieser Kamera muss ein Distagon auch nicht unbedingt ein Weitwinkelobjektiv sein: das **DigiPrime Distagon 1.5/70mm** hat den Bildwinkel eines 280mm-Objektivs für das Kleinbildformat und ist doch ein Retrofocus-Objektiv, wegen der vom Prisma verlangten großen Schnittweite und wegen der telezentrischen Bauweise – aber auf das Thema Strahlwinkel kommen wir später zu sprechen.

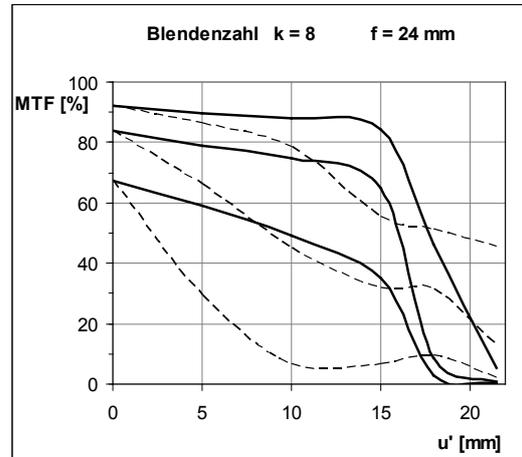
Moderne Hochleistungsobjektive des Distagon-Typs können recht komplex sein, 12-16 Linsen sind keine Seltenheit. Unser **Ultraprime Distagon 2.8/8mm** für den 35mm-Film mit 130° Bildwinkel ist aus 24 Linsen aufgebaut. Dass es aber bis dahin ein weiter Weg war, möchte ich mit einigen Beispielen verdeutlichen:



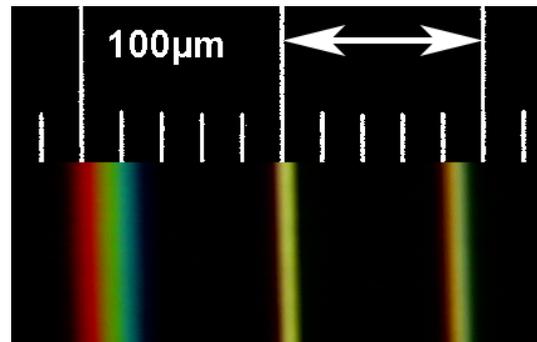
Kontrastübertragung eines Retrofocus-Objektivs 4/24mm aus den 1950er Jahren, hier bei voller Öffnung. Die Kurven zeigen deutlich die typischen Schwierigkeiten, ein gutes Weitwinkelobjektiv zu bauen: nur eine sehr kleine Zone in der Mitte ist schon recht gut, aber schon ab 5mm Bildhöhe geht der Kontrast auch bei niedrigen Ortsfrequenzen auf Werte zurück, wie man sie sonst nur von extrem lichtstarken Objektiven bei voller Öffnung kennt, Bildrand und Ecke brechen völlig ein.

Da ein Weitwinkelobjektiv oft in einem Bild eine Fülle von Details recht klein abbildet, gibt es die natürliche Tendenz, dass das Auge recht hohe Ansprüche stellt an die Bildqualität des Objektivs. Dann müsste

man dieses Objektiv zumindest genügend abblenden, um seine Leistung zu steigern:



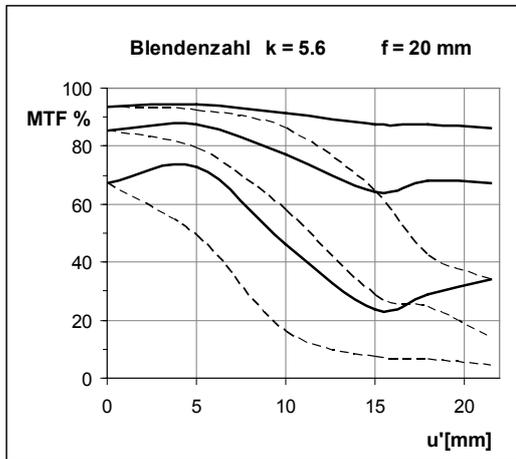
4/24mm bei Blende 8; Kontrast und Schärfe für sagittale Strukturen sind recht gut bis 15mm Bildhöhe, brechen dann aber immer noch abrupt ein. Der korrigierte Bildkreis ist eigentlich zu klein, Rand und Ecken bleiben schlecht. Vor allem fällt aber auf, dass die gestrichelten Kurven für tangentielle Strukturen von hohen Werten in der Mitte stark fallen. Die Ursache dafür ist der große Farbquerfehler.



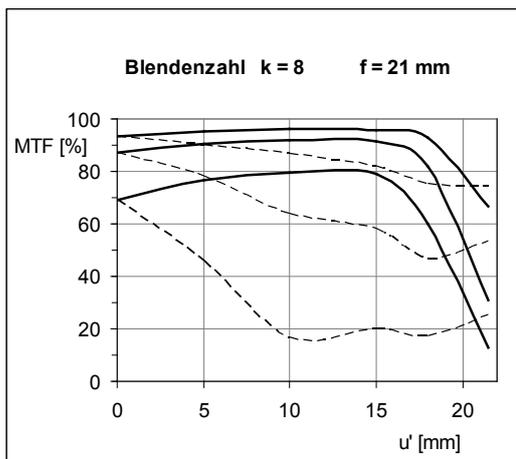
Mikroskop-Aufnahmen des tangentialen Linienbildes von drei Fotoobjektiven bei 10mm Bildhöhe und Blende 8, von links nach rechts: das obige 4/24, Distagon T 2,8/21 zur Contax, Biogon T* 2,8/21 ZM.*

Bei dem 24mm-Objektiv aus den 1950er Jahren war das tangentielle Linienbild 30 bis 40µm breit, also etwas mehr als der für nicht zu hohe Vergrößerungen erlaubte Zerstreuungskreisdurchmesser. Man durfte also von dem Objektiv keine besonders scharfen Bilder erwarten, und an Kanten mit hohem Helligkeitsunterschied hat es Farbsäume gezeigt. Die beiden Linienbilder rechts daneben stehen für einfach vollendete Bildschärfe, die beim **Distagon T* 2,8/21** durch besonders hohen Glasaufwand erreicht wurde, beim **Biogon T* 2,8/21** aber durch die viel günstigeren Baubedingungen.

Diese beiden 21er sind allerdings wirkliche Ausnahmeobjektive; für die Mehrzahl der Retrofokus-Superweitwinkel für SLR-Kameras sind folgende Leistungskurven typisch, und man kann daran ablesen, welche Anstrengungen erforderlich sind, um die Probleme der Unsymmetrie zu lösen:



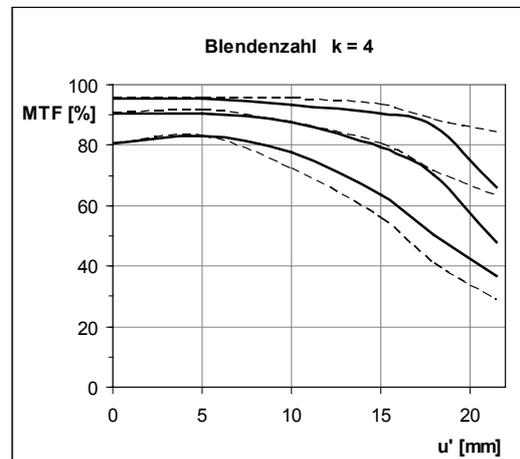
MTF-Kurven des **Flektogon 2,8/20** von Carl Zeiss Jena bei Blende 5,6



MTF-Kurven eines sonst sehr guten 4/21, das aber ebenfalls zum Bildrand hin die niedrigen tangentialen Werte zeigt infolge des Farbquerfehlers.

Erst 1992 entwickelte **Karl-Heinz Schuster** bei Zeiss mit dem **Distagon T* 2,8/21** für das Contax/Yashica System ein Retrofokus-Superweitwinkelobjektiv, das hinsichtlich Bildschärfe mindestens genauso gut war wie die besten symmetrischen Typen. Das 2,8/21 hatte sogar noch ein Schwester-objektiv, das **PC-Apodistagon 3,5/25** mit größerem Bildkreis, das leider wegen sehr hoher Fertigungskosten nicht in Serie gebaut wurde.

Linsenschnitt des **Distagon T* 2,8/21** für die Contax SLR, ein recht komplexes Objektiv mit 15 Linsen in 13 Gruppen. Es hatte übrigens keine asphärischen Flächen, die Leistung, insbesondere die perfekte Korrektur des Farbquerfehlers, wurde allein durch die Kombination sehr spezieller (und teurer) Gläser mit hoher Brechzahl mit Gläsern extrem hoher anomaler Teildispersion erreicht.



Schon bei Blende 4 erreichte das **Distagon T* 2,8/21** eine phantastische Bildqualität, und es ist deshalb kein Wunder, dass sein Preis auf dem Gebrauchtmarkt oft den Neupreis übertraf, nachdem es nicht mehr hergestellt wurde.

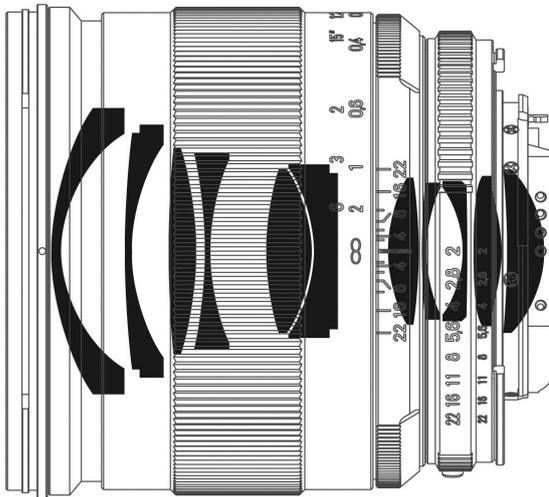
Ein neues Weitwinkelobjektiv für SLR mit ebenfalls sehr guter Gesamtleistung ist das **Distagon T* 2/25 ZE / ZF.2**. Um trotz der höheren Anfangsöffnung eine kompakte Baugröße zu erreichen, ist dieses Objektiv nicht ganz so komplex aufgebaut; es besteht aus 11 Linsen in 10 Gruppen. Darunter sind aber ebenfalls drei Linsen aus Gläsern mit hoher anomaler Teildispersion, mit denen wir eine Farbkorrektur erreichen, die zwar nicht ganz so gut ist wie beim legendären 2,8/21, die aber in den meisten Fällen kaum sichtbare Farbsäume erzeugt.

Was heißt eigentlich ‚**Teildispersion**‘? Das gut und geheimnisvoll klingende Wort taucht ja immer öfter in Prospekten auf. Nun, wenn man z.B. eine positive und eine negative

Linse kombiniert, um Farbfehler zu korrigieren, dann muss die Linse mit der geringeren Brechkraft die höhere Dispersion haben, damit sich die farberstreuenden Wirkungen beider Linsen gegenseitig aufheben können ohne dass sich die Brechkraften beider Linsen ebenfalls aufheben.

Nun hat es die Natur aber so eingerichtet, dass sich die Brechzahl von Gläsern mit der Wellenlänge nicht gleichmäßig ändert, sondern zu kurzen Wellenlängen immer stärker. Diese Dispersionskurven sind also nicht gerade, sondern gekrümmt. Und normalerweise sind die Dispersionskurven von Gläsern höherer Dispersion stärker gekrümmt. Das ist die Ursache dafür, dass die oben beschriebene Kompensation der farberstreuenden Wirkungen nicht perfekt funktioniert; es bleibt ein kleiner Farbfehler übrig, weil die Krümmungen nicht zusammenpassen.

Gläser anomaler Teildispersion weichen vom normalen gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen Dispersion und Krümmung der Dispersionskurve ab. Das Verhältnis der Brechzahländerung zwischen blau und grün zur Änderung zwischen grün und rot ist bei ihnen anders. Deshalb kann man mit diesen Gläsern eine bessere Farbkorrektur erzielen.



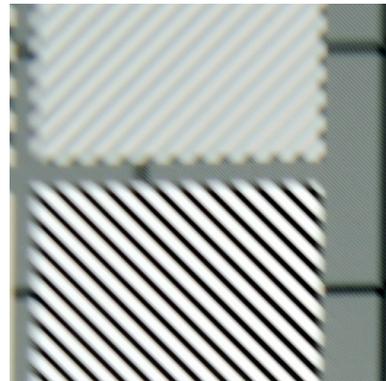
Optischer Aufbau des neuen Distagon T* 2/25 ZF.2

Die vorletzte Linse des Objektivs hat zwei asphärische Flächen; sie tragen dazu bei, dass die durch die höhere Anfangsöffnung auftretenden sphärischen Aberrationen und Komafehler besser korrigiert werden, und sie beeinflussen die Verzeichnung günstig.

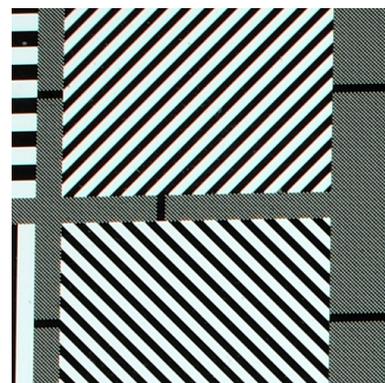
Deshalb zeigt das 2/25 nicht mehr die wellenförmige Verzeichnung, die am 2,8/21 gelegentlich kritisiert wird.

Beim Fokussieren werden vorderer und hinterer Teil des Objektivs unterschiedlich bewegt, um die hohe Abbildungsqualität auch im Nahbereich zu erhalten (floating elements).

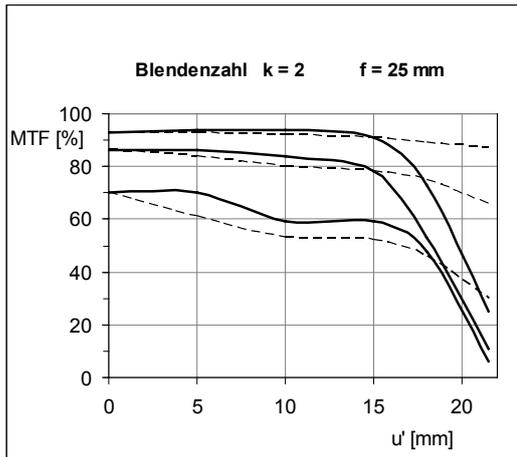
Es ist nämlich eine allgemeine Eigenschaft der unsymmetrischen Objektivs, dass sie maßstabempfindlicher sind, wenn man keine besonderen Gegenmaßnahmen ergreift. Das ältere Distagon T* 2,8/25 wird über eine Gesamtverstellung ohne variable Lufträume fokussiert und ist deshalb trotz seiner kurzen Naheinstellung keineswegs eine Art Makroobjektiv.



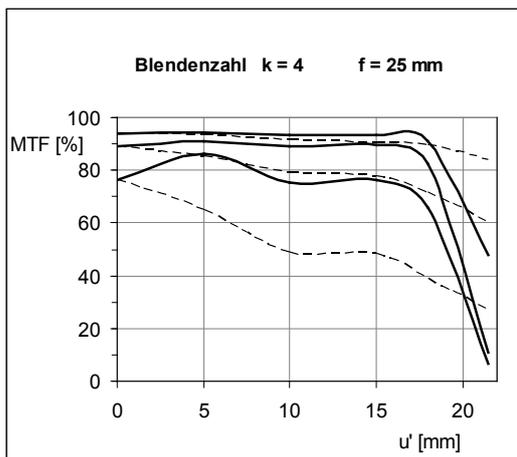
Bildecke (500x500 Pixel aus 24MP) mit dem Distagon T* 2,8/25 bei Entfernung 25cm und abgeblendet auf Blende 8.



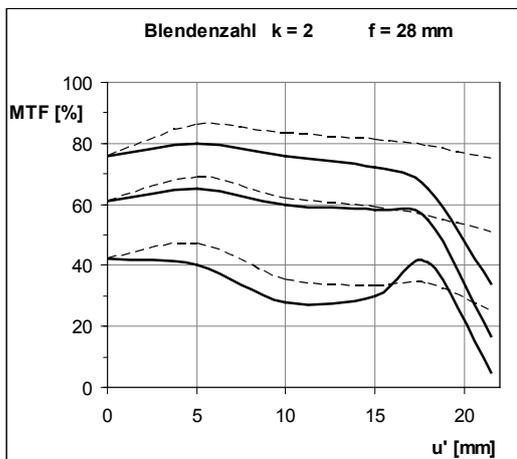
Bildecke (500x500 Pixel aus 24MP) mit dem neuen Distagon 2/25 bei Entfernung 25cm und abgeblendet auf Blende 8.



MTF-Daten eines Distagon T* 2/25 ZF.2 bei voller Öffnung. In einem großen Teil der Bildfläche steht schon eine hohe und gleichmäßige Bildqualität zur Verfügung, ein brillantes Bild mit sehr guter Detailwiedergabe. Nur wenn die äußeren Ränder wichtig sind oder um größere Schärfentiefe zu erzielen, muss man abblenden.



Distagon T* 2/25 leicht abgeblendet.



Ein Vergleich mit dem Distagon T* 2/28 zur Contax von 1974 zeigt, welche Steigerung möglich war.

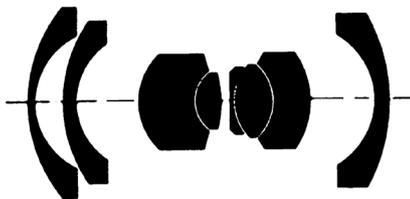
Der andere Weg zu hervorragender Bildqualität: Symmetrische Weitwinkelobjektive

Wenn die Konstruktion der Kamera erlaubt, Linsen des Objektivs auch ziemlich nah vor der Bildebene unterzubringen, wenn also eine kurze Schnittweite möglich ist, dann kann man eine Bildqualität wie bei den besten Distagon-Objektiven auch mit viel geringerem Aufwand erreichen, indem man ein ungefähr symmetrisches Objektiv baut.

Ein erstes Patent für eine neue Art von symmetrischem Weitwinkelobjektiv wurde **1946** vom russischen Optikrechner **Michail Roossinov** angemeldet. Es sah so ähnlich aus als hätte man zwei Retrofocus-Objektive mit den Hinterlinsen zusammengebaut, besaß also annähernd zur Blende symmetrisch angeordnete positive Brechkräfte, die vorn und hinten von großen stark negativen Menisken umgeben waren.

Ludwig Bertele hat ab **1951** diese Idee weiterentwickelt und im Auftrag von Zeiss das legendäre **Biogon** berechnet. Es hatte damals immer die Anfangsöffnung 4.5 und wurde in verschiedenen Brennweiten für eine Reihe von Bildformaten gebaut: 21mm für das Kleinbild, 38mm für das Mittelformat 6x6, 45mm für das Format 6x7, 53mm für 6x9 und 75mm für das Großformat 9x12. Es gab zusätzlich auch Versuchsmuster 2,8/38 für das Mittelformat und ein Biogon 5,6/60 für photogrammetrische Messaufgaben, das für die NASA entwickelt wurde.

Die mit diesen Objektiven verwendeten Kameras waren Sucherkameras wie die Contax von Zeiss Ikon, oder Spezialgehäuse im System wie die Hasselblad Superwide, oder Laufbodenkameras bzw. technische Spezialkameras.

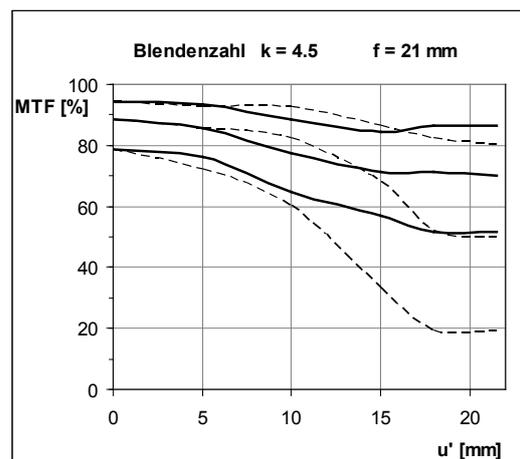


Optischer Aufbau der Biogon-Objektive f/4,5

Der Name ‚**Biogon**‘ war zum ersten Mal 1936 für ein 2,8/35mm-Objektiv für die Contax Mess-Sucherkamera verwendet worden, das auch von Ludwig Bertele gerechnet wurde. Er enthält wieder die Endsilbe ‚gon‘, die auf den Winkel hinweist. Die Silbe ‚Bio‘ hatte natürlich einen anderen Sinn als heute im Zusammenhang mit Lebensmitteln; sie wurde oft verwendet, um die Möglichkeit sehr lebendiger Fotografie auszudrücken, wobei ganz unterschiedliche technische Eigenschaften des Objektivs gemeint waren. Wir haben schon das ‚**Biotar**‘ kennengelernt, bei dem die hohe Lichtstärke lebendige Fotografie möglich machte.

Bei einem Superweitwinkelobjektiv mit 90° Bildwinkel denkt man eher daran, dass die Kamera das Motiv mit einer Perspektive darstellt, die bei entsprechend hoher Endvergrößerung des Bildes dem Betrachter den Eindruck vermittelt, mitten im Geschehen zu stehen.

Die Bildqualität des Biogon war in den 1950er Jahren sensationell und löste durch die Kombination von großem Bildwinkel mit trotzdem perfekter Schärfe bis in die Ecken eine wahre Weitwinkelwelle in der Fotografie aus. Diese Objektive müssten sich auch heute nicht verstecken:



MTF-Kurven eines Biogon 4,5/21 von 1956, bei voller Öffnung gemessen.

Zusätzlich zu exzellenten Eigenschaften von Kontrast und Schärfe boten diese Objektive auch eine perfekte Bildgeometrie, indem sie nahezu verzeichnungsfrei waren. Beim Biogon 4,5/21 betrug die größte radiale Abweichung 40µm, das ist weniger als 0.1%, also nichts im Vergleich zu den typischen 2 bis 4 % von Retrofokus-Objektiven mit gleichem Bildwinkel.

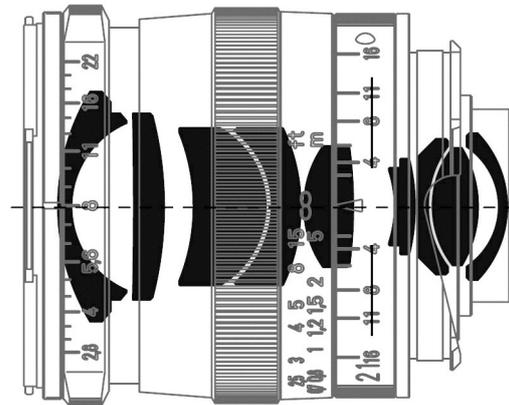
Deshalb ist es verständlich, dass diese Objektive auch noch eine zeitlang an SLR-Kameras mit hochgeklapptem Spiegel und Aufstecksucher verwendet wurden. Man verzichtete damit bewusst im Interesse der Bildqualität auf Arbeitskomfort, denn die Bildkomposition auf der Mattscheibe ist natürlich einfacher und besser als mit einem üblicherweise verzeichnenden Sucher.



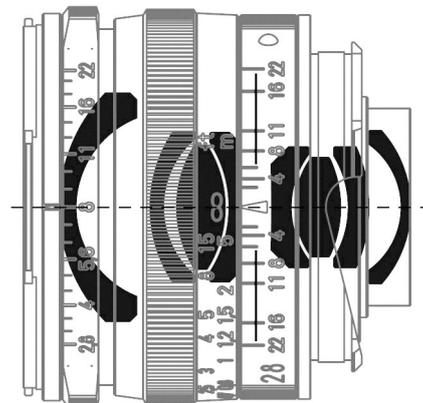
Dieser Vergleich eines Distagon 2,8/25 (rechts) mit einem Biogon 4,5/21 (links), beide in Fassung für die Contarex von Zeiss Ikon, verdeutlicht noch einmal die großen Unterschiede beider Bauprinzipien. Das Biogon ist fast gleich lang, verschwindet aber zum größten Teil in der Kamera; deren Spiegel hat dann natürlich Pause.

Die in jüngerer Vergangenheit neu gerechneten Biogon-Objektive haben eine etwas vergrößerte Schnittweite, um auch mit modernen Kameras die Belichtungsmessung durch das Objektiv zu ermöglichen. Eine bis unmittelbar vor den Schlitzverschluss reichende Objektivfassung könnte die Messzellen verdecken, welche das vom Verschluss reflektierte Licht zur Belichtungsmessung nutzen sollen. Während beim Biogon 4,5/21 die Schnittweite nur 9mm betrug, war sie beim Biogon 21 zur Contax-G auf 12mm vergrößert. Bei allen Objektiven der ZM-Reihe beträgt die kürzeste Schnittweite 15mm. Aus diesem Grund ist da auch die Verzeichnung ein klein wenig größer, aber

praktisch noch unsichtbar. Wenn man so will, sind bei den heutigen Biogon-Objektiven ein paar ‚Distagon-Gene‘ eingekreuzt worden. Dadurch verwischen sich letzten Endes die Grenzen zwischen den Typen etwas. Die noch kürzeren Brennweiten der ZM-Reihe heißen deshalb ‚Distagon‘ – trotzdem bestehen aber noch erhebliche Unterschiede zwischen einem Distagon für die SLR-Kamera und einem für die Mess-Sucherkamera. Denn die SLR im Kleinbildformat benötigt für die Bewegung des Spiegels eine Schnittweite von mindestens 38-40 mm. Bei einem gemäßigten Weitwinkelobjektiv (35mm beim Kleinbild, 24mm bei APS) ist also die Schnittweite ungefähr gleich der Brennweite – benötigt also schon ganz klar eine Konstruktion vom Distagon-Typ.



Optischer Aufbau des Biogon T* 2,8/21 ZM; es hat im Vergleich zu den ursprünglichen Biogon-Konstruktionen eine auf 15mm vergrößerte Schnittweite für die TTL-Belichtungsmessung.



Biogon T* 2,8/28 ZM; je einfacher die Schnittweitenbedingung zu erfüllen ist, desto ähnlicher wird die Konstruktion dem klassischen Biogon.

Weitwinkelobjektive und digitale Sensoren

Auch wenn die Kamera gar keinen Spiegel oder sonstige „Hindernisse“ im Bildraum besitzt, kann die Bauweise eines Weitwinkelobjektivs große Bedeutung haben, nämlich dann, wenn die Kamera einen digitalen Sensor hat – heute also fast immer. Das hängt mit einer Eigenschaft zusammen, die man Objektiven schon von außen ansieht, ohne ihren Aufbau im Inneren zu kennen:



Eintrittspupillen von Biogon T* 2,8/21 ZM und Distagon T* 2,8/21 ZE. Die von **vorn** gesehenen virtuellen Bilder der Blendenöffnung erscheinen uns gleich groß, weil ja Brennweite und Blendenzahl gleich sind – die Blendenzahl ist das Verhältnis aus Brennweite und Eintrittspupillendurchmesser.



Austrittspupillen von Biogon T* 2,8/21 ZM und Distagon T* 2,8/21 ZE. Die von **hinten** gesehenen virtuellen Bilder der Blendenöffnung sind verschieden groß. Da die Blendenzahl auch das Verhältnis von Durchmesser der Austrittspupille zu ihrem Abstand von der Bildebene ist, folgt aus diesem Bild, dass die Austrittspupille des Distagon weiter entfernt ist.

Die Eintrittspupille ist übrigens das Projektionszentrum des Objektivs für die zentralperspektivische Abbildung; um die Eintrittspupille muss man bei Panoramaaufnahmen schwenken, wenn die Lage von

Vordergrunddetails zum Hintergrund in benachbarten Bildern gleich sein soll. Man kann diesen Punkt also ziemlich einfach sehen. Bei manchen Objektiven kann er auch in oder sogar hinter der Bildebene liegen, allerdings nicht bei denen, über die wir heute reden. Das nur nebenbei.

Die Lage der Pupillen relativ zu den Hauptebenen, von denen die Brennweite zu messen ist, kann man auch an ihrem Größenverhältnis erkennen.

Bei symmetrischen Objektiven sind Eintritts- und Austrittspupille gleich groß; das ist bei den alten Biogon-Objektiven und auch bei den Planaren für die Mess-Sucherkamera gut erfüllt.

Die für die TTL-Belichtungsmessung leicht modifizierten Biogon-Typen zeigen eine kleine Unsymmetrie des Pupillenverhältnisses (z.B. EP/AP = 7,7/10,3mm beim Biogon T* 2,8/21 ZM, 9,9/10,9mm beim Biogon T* 2,8/28 ZM). Das ist auch so bei Planar-Objektiven für die SLR-Kamera, die auch schon ein ganz klein wenig in Richtung Distagon-Charakter verschoben sind, weil die Brechkräfte im Vorderglied des Gausstyps etwas kleiner sind, um genügend große Schnittweite zu erreichen.

Ist die Eintrittspupille deutlich kleiner als die Austrittspupille, dann hat man einen Distagon-Typ vor sich.

(z.B. EP/AP = 7,5/22,6mm beim Distagon T* 2,8/21, 17,6/35 beim Distagon T* 2/35). Bei den Teleobjektiven mit verkürzter Schnittweite, z.B. einem Sonnar, ist es genau umgekehrt.

Die Austrittspupille ist die Fläche, aus der alle Lichtstrahlen zu kommen scheinen, die auf einen Bildpunkt zulaufen. Ist sie weit entfernt vom Bild, dann haben die zum Bildrand oder zur Bildecke zielenden Strahlen einen geringeren Neigungswinkel zur Bildebene. Objektive, bei denen man diese Neigungswinkel so klein wie möglich macht, werden ‚telezentrisch‘ genannt, weil dann die Austrittspupille sehr weit vom Bild entfernt ist.

Telezentrische Objektive erfordern aber sehr große Bajonett Durchmesser, die mechanischen Maße der Kamera setzen da also Grenzen. Es ist auch keineswegs

so, dass bei telezentrischen Objektiven alle Lichtstrahlen senkrecht auf die Bildebene auftreffen. Die Öffnungswinkel der Strahlkegel sind bei allen Objektiven nur von der Blendenzahl abhängig und bei gleicher Blende ebenfalls identisch - ganz gleich wo die Austrittspupille liegt. Bei telezentrischen Objektiven ändern sich die Winkel lediglich im Bildfeld weniger.

Auf jeden Fall sind aber symmetrische Weitwinkelobjektive genau das Gegenteil von telezentrisch, ihre Austrittspupille liegt nahe am Bild. Das hat drei wichtige Konsequenzen:

1)

Die größere Strahlneigung am Rand bedingt einen größeren natürlichen Lichtabfall nach dem \cos^4 - Gesetz, im dem ja die Abstandsvariation zwischen Pupille und Bild von der Mitte bis in die Ecke und die photometrische Wirkung der Schrägprojektion zum Ausdruck kommen.

Meist haben diese Objektive nur geringe künstliche Vignettierung durch Fassungsänderer, und die Gleichmäßigkeit der Helligkeitsverteilung im Bild ändert sich beim Abblenden nur geringfügig.

Das ist bei den Distagon-Typen anders; da dominiert bei voller Öffnung die künstliche Vignettierung, und wenn sie beim Abblenden verschwindet, wird die Ausleuchtung erheblich gleichmäßiger. Das Distagon hat abgeblendet hellere Ecken.

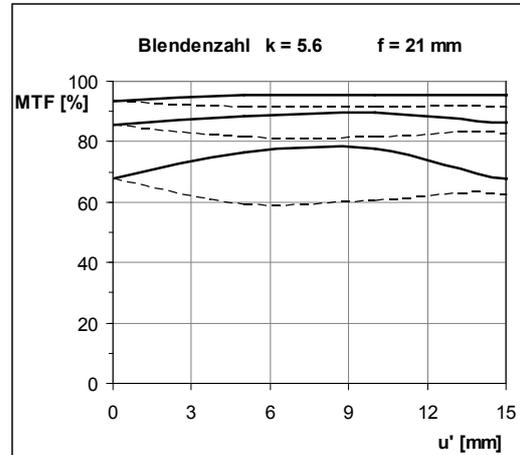
2)

Digitale Sensoren mögen sehr schräg einfallende Lichtstrahlen nicht so sehr, sie werden dann zumindest ineffizienter, oder sie machen kompensierende Maßnahmen erforderlich wie eine zur Strahlrichtung passende Verschiebung der licht-sammelnden Mikrolinsen über dem Pixelraster. Beim Film war das nicht erforderlich, weil er praktisch keine Richtungsabhängigkeit kennt.

3)

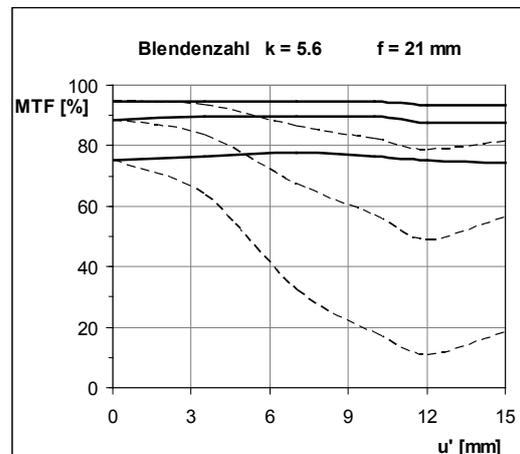
Objektive mit sehr großer Strahlneigung reagieren erheblich empfindlicher auf die Änderung der Brechzahl im Bildraum, die durch Filterplatten vor dem Sensor gegeben ist (Tiefpass und Infrarot-Sperrfilter). Wenn die Filterplatte nicht in der Rechnung des Objektivs berücksichtigt ist, leidet die Randschärfe. Die Wirkung des zusätzlichen Glaswegs statt Luft wächst exponentiell mit der Strahlneigung. Ein Distagon, das in der Bildecke nie mehr als rund 20°

Strahlneigung erreicht, reagiert viel gutmütiger als ein symmetrisches Weitwinkelobjektiv, das vielleicht 45° Neigung erreicht. Aus diesem Grund sind die Filter in digitalen Leicas sehr dünn, um kompatibel zu älteren Optiken zu bleiben.



MTF-Kurven eines Biogon T* 2,8/21 ZM, im APS-C Format dargestellt – traumhaft gut und gleichmäßig bis in die Ecken. Aber leider gelten diese Kurven nur für die dünnen Filter der Leica, jedoch nicht für alle Kameras, an die man dieses Objektiv auch adaptieren kann.

Ist das Filter erheblich dicker, dann wird am Bildrand die Kontrastübertragung für tangentielle Strukturen schlechter. Das sieht in der Kurvendarstellung so aus wie bei den alten Retrofocus-Objektiven, ist aber nicht den Farbquerfehler bedingt, sondern durch Astigmatismus. Der Fokus wird für tangentielle Strukturen durch den zusätzlichen Glasweg zu größeren Entfernungen verschoben. Da hilft dann nur, weiter abzublenden, wenn beste Randschärfe erreicht werden soll.



MTF-Kurven des gleichen Objektivs wie oben, jetzt mit dickerem Filter vor dem digitalen Sensor.

Die beiden Typen von Weitwinkelobjektiven, mit denen sich dieser Artikel beschäftigt hat, besitzen also jeweils ganz spezifische Vor- und Nachteile:

Vorteile der annähernd symmetrischen Weitwinkelobjektive:

- *kleine Baugröße und geringes Gewicht*
- *sehr gute und gleichmäßige Schärfe trotz des mäßig großen Aufwands*
- *meist sehr gute Reflexfreiheit*

Nachteile der annähernd symmetrischen Weitwinkelobjektive:

- *nicht an jeder Kamera verwendbar*
- *speziell abgestimmte digitale Sensoren erforderlich*
- *empfindlicher gegen Änderung der optischen Parameter im Bildraum*
- *größerer natürlicher Helligkeitsabfall zum Bildrand*



Größenvergleich von annähernd symmetrischem und Retrofocus-Weitwinkelobjektiv bei gleicher Brennweite und gleicher Anfangsöffnung

Vorteile des unsymmetrischen Weitwinkelobjektivs:

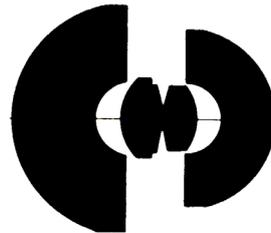
- *im Prinzip an allen Kameras verwendbar*
- *günstige Eigenschaften für digitale Sensoren*
- *sehr gleichmäßige Bildfeldausleuchtung bei mittleren Blenden*
- *hohe Anfangsöffnungen sind möglich*

Eine Objektivlegende

Die auf den vorangegangenen Seiten beschriebene Bedeutung der Strahlneigung ist auch der Grund dafür, dass ein Comeback einer der großen Objektivlegenden kaum denkbar ist. Das **Hologon** aus dem Jahr 1966, ein Extremweitwinkel mit 110° diagonalem Bildwinkel begeisterte durch gleichmäßige hohe Schärfe bis in die Bildecken und völlige Verzeichnungsfreiheit. Deshalb wundert es uns nicht, dass immer wieder gefragt wird, wann es wieder kommt. Leider müssen wir dann seine Fans enttäuschen, denn seine Strahlneigung von rund 55° in der Bildecke verträgt sich zumindest heute noch nicht mit digitalen Sensoren.

Der Name des Objektivs enthält das griechische Wort ‚holos‘ für ‚alles‘, ‚vollständig‘. Es war aus nur drei Linsen aufgebaut, zwei stark gekrümmten und sehr dicken negativen Meniskuslinsen außen und einer Sammellinse in der Mitte, man konnte es als inverses Triplet auffassen.

Der einfach aussehende Aufbau heißt übrigens nicht, dass es simpel herzustellen war. Die Anforderungen an die Genauigkeit der Linsenform und ihre Zentrierung sind extrem hoch. Wegen der Fertigungs-Schwierigkeiten hatte auch das später gebaute Hologon 16mm für die **Contax-G** fünf Linsen - eine reine Täuschung, denn die Kittglieder bestanden aus identischen Gläsern, waren also nur ein fertigungstechnischer Trick.



Optischer Aufbau des Hologon 8/15 mm für das Kleinbildformat. Seine Schnittweite betrug nur 4.5 mm.





Das ‚Familienfoto‘ der Weitwinkelobjektive zeigt:

1. Distagon T* 2,8/15 ZM für Kleinbild-Mess-Sucherkamera
2. Distagon 3,5/15 für CONTAX Kleinbild-SLR
3. Distagon 2,8/25 für Contarex Kleinbild-SLR
4. Distagon 5,6/60 für Hasselblad 1000 F 6x6
5. Distagon 4/50 für Hasselblad 500 C 6x6
6. F-Distagon 3,5/30 Fisheye-Objektiv für Hasselblad V-System 6x6
7. Distagon 4/40 IF für Hasselblad V-System 6x6
8. Distagon 4/40 für Hasselblad 500 C 6x6
9. F-Distagon 3,5/24 Fisheye mit kreisförmigem Bild für Hasselblad
10. Distagon 2,8/21 für CONTAX Kleinbild-SLR
11. Distagon T* 2,8/21 ZE für Canon EF
12. Distagon T* 1,4/35 ZF.2 für Nikon F-mount
13. PC-Distagon 2,8/35 Shift-Objektiv mit Springblende für CONTAX
14. PC-Distagon 4/18 Shift-Objektiv für 35mm-Filmkamera
15. Hologon 8/16 für CONTAX-G Kleinbild Sucherkamera
16. Biogon 4,5/21 für Contarex Kleinbild-SLR
17. Biogon 2,8/21 für CONTAX-G Kleinbild Sucherkamera
18. Biogon T* 2,8/21 ZM für Kleinbild-Mess-Sucherkamera
19. Biogon 4,5/38 an Hasselblad Superwide 6x6
20. Biogon 4,5/38 in NASA-Ausführung für Weltraumfotografie
21. Biogon 2,8/38 lichtstärkerer Prototyp des 6x6-Biogon
22. S-Biogon 5,6/40 für Reproduktionen
23. Biogon 4,5/76 9-linsige Variante für Luftbild 114x114 mm
24. Hologon 8/110 für das Grossformat 13x18 cm
25. Distagon 12/T1.3 für 35mm-Filmkamera PL-mount
26. Distagon 8/T1.3 für 16mm-Filmkamera PL-mount
27. Distagon 2/10 für 35mm-Filmkamera PL-mount
28. Distagon 2,8/8R für 35mm-Filmkamera, 130° Bildwinkel
29. Distagon 1,7/3.9 für 2/3" 3-chip Kamera
30. Distagon 1,5/70 für 2/3" 3-chip Kamera (kein Weitwinkel!)
31. P-Distagon 3,5/75 Projektionsobjektiv für das Format 6x6