Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 36 (1978)
Heft: 165

Artikel: Filmkunde für Astroamateure [Fortsetzung]
Autor: Spahni, Thomas
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-899480

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

gol), so kommt es vor allem auf die exakte Bestimmung der (Haupt-)minimumszeiten an. Aus der Abweichung dieser Minima vom vorausberechneten Zeitpunkt (B—R; siehe oben), lassen sich Rückschlüsse auf Periodenschwankungen bzw. -änderungen ziehen.

Bei Cepheiden und verwandten Typen (RR Lyr-Sterne; δ Sct-Sterne) sollte man Maxima und Minima bestimmen, um auch hier das Periodenverhalten untersuchen zu können.

Bei Mira-Sternen können wir meist nur die Maxima beobachten, liegen doch die meisten Mira-Sterne im Minimum weit unter der Erfassungsgrenze für kleine und mittlere Amateurinstrumente. Ausnahmen hiervon sind u.a. o Cet (Mira), T Cep, SS Vir, X Oph, R Leo. Bei Mira-Sternen bestimmen wir die Maximalhelligkeit und die Periode. Diese beiden Parameter sind nämlich ständiger Veränderung unterworfen. So können die B-R-Werte mehrere Wochen ausmachen, die Maximalhelligkeiten Schwankungen von 1—2 Grössenklassen unterliegen.

Als Beispiel für einen Mira-Stern seien die physischen Werte für T Cephei genannt:

Spektrum M5e—M9e
Maximalhelligkeit 5.4^m
Ø Maximalhelligkeit 6.0^m
Minimalhelligkeit 11.0^m
Ø Mininalhelligkeit 10.3^m
Periode 387.79 d
Elemente des Lichtwechsels 2439 492 + 387.79 d · E
T Cephei ist zirkumpolar, was eine ganzjährige Beobachtung erlaubt.

Bei den Halb- und Unregelmässigen Veränderlichen beobachten wir den gesamten Lichtwechsel über längere Zeit, um die Periodizität, das Helligkeitsverhalten, Helligkeitsstillstände und ähnliche Phänomene untersuchen zu können. (s. Abb. 4). Jedoch sollte sich an diese Sterne nur der etwas erfahrenere Beobachter heranwagen.

Vereinigungen
Die wichtigsten Vereinigungen von Veränderlichenbeobachtern sind:
1. American Association of Variable Star Observers (AAVSO) 187 Concord Ave., Cambridge, Mass. 02138, USA
2. Berliner Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne e. V. (BAV) Sternwarte, Munsterdamm 90, D-1000 Berlin 41
3. BBSAG (Bedeckungsveränderlichen — Beobachter der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft, Schweiz)
4. A.F.O.E.V. (Association Française des Observateurs d'Etoiles Variables, Frankreich)

Literatur:

1) Voigt, Abriss der Astronomie, Mannheim 1975
2) Brandt, Himmelsbeobachtung mit dem Feldstecher, Leipzig 1972
3) Schröder, Praktische Astronomie, Stuttgart 1973
4) Baderschneider, Anleitung zum Bau eines Feldstecherstatives, SuW *7*, 26, 1968
Zeller, Feldstecher-Astronomie, ORION 157, 179, 1976
5) Roth (Hrsg.), Handbuch für Sternfreunde, Berlin 1967
6) Hoffmeister, Veränderliche Sterne, Leipzig 1970
7) Report of the Variables Group (beim Intern. Astron. Jugendlager) Havelte, NL 1975
8) Bischof, Bestimmung der Systemkonstanten bei Bedeckungsveränderlichen, BAV-Rundbrief *25*, 18, 1976
9) Vehrenberg, Falkauer Atlas, Düsseldorf 1972
10) Becvar, Atlas of the Heavens und Catalogue, Prag 1964
11) Müller/Hartwig, Geschichte und Literatur des Lichtwechsels 1.—3. Bd. Leipzig 1918
Kukarkin et al.,General Catalogue of Variable stars, Moskau 1948
12) Zimmermann, Astronomisches Praktikum, Mannheim 1969

Adresse des Autors:
Klaus-Peter Timm, Im Weidenblech 29, D-5090 Leverkusen 1.

Filmkunde für Astroamateure

von THOMAS SPAHNI, Winterthur

2. Spektrale Empfindlichkeit und Verarbeitung von Filmen.

1. Spektrale Empfindlichkeit

Bei der Entstehung eines photographischen Bildes wird der photochemische Primärprozess durch das auftreffende Licht ausgelöst. Das sichtbare Licht ist aber nur ein ganz kleiner Teil im grossen Spektrum elektromagnetischer Wellen. Nur wenige Wellenlängen haben die Eigenschaft, Silberbromidkristalle zu belichten. Es sind Gammastrahlen, RÖNTGENstrahlen und ultraviolettes bis blaues Licht. Ausser diesen elektromagnetischen Wellen können auch Elektronen, α-Strahlen und andere Partikel photochemische Prozesse auslösen. So wird zum Beispielt im Durchstrahlungs-Elektronenmikroskop eine Photoplatte nicht mit Licht, sondern mit Elektronen «belichtet».

Den Astrophotographen interessieren aber vor allem die Wirkungen des sichtbaren Lichtes und der daran angrenzenden Wellenlängen auf seine Aufnahmeemulsion. Man kann die Empfindlichkeit einer photographischen Schicht in Abhängigkeit von der Wellenlänge des verwendeten Lichtes in einem Diagramm aufzeichnen, und erhält so die Kurve der spektralen Empfindlichkeit. Fig. 1 zeigt als Beispiel die spektrale Empfindlichkeit einer Emulsion, die nicht für längere Wellenlängen sensibilisiert worden ist. Sie entspricht der natürlichen Empfindlichkeitskurve von Silberbromidkristallen. Oberhalb einer Wellenlänge von 250 nm würde die Kurve steil abfallen, weil die Gelatine des Films für ultraviolettes Licht undurchsichtig ist. Solche Filme sind deshalb selbst mit Optiken aus Quarzgläsern nur für das nahe UV brauchbar. Die Grenze kann zwar mit Spezialemulsionen, die viel weniger Gelatine enthalten, noch etwas hinausgeschoben werden, aber für Aufnahmen im kurzwelligen UV muss ein grundsätzlich anderer Weg beschritten werden. Eine fluoreszierende Schicht auf dem Film verwandelt die ultraviolette Strahlung in sichtbares Licht, welches dann vom Film registriert werden kann. Blauempfindliche Filme finden nur in der wissenschaftlichen Photographie Verwendung. Sie sind für Landschafts- und Porträtaufnahmen nicht brauchbar, weil die Zuordnung von Grautönen zu einem farbigen Bild je nach dem Blauanteil des reflektierten Lichts eine unnatürliche Abstufung ergibt. Deshalb enthalten die meisten

Filme sensibilisierende Farbstoffe, welche die Empfindlichkeit der Schicht auf längere Wellenlängen ausdehnen. (Fig. 2)

Orthochromatische Filme: Sie sind wegen ihrer Feinkörnigkeit und des guten Kontrastes bei den Astroamateuren für Planetenaufnahmen beliebt. Die Farbempfindlichkeit erstreckt sich bis in den grünen Teil des Spektrums.

Panchromatische Filme: Sie werden heute in der Amateurphotographie allgemein verwendet und sind bis 650 nm empfindlich. (Fig. 3) Eine weitere Ausdehnung der Filmempfindlichkeit in den roten Bereich wäre für die normale Anwendung schädlich, weil rote Gegenstände sonst leicht überbelichtet würden. Deshalb sind panchromatische Filme für die Aufnahme von Spektren nur sehr bedingt brauchbar. Bereits die rote Linie des Wasserstoffs liegt ausserhalb des spektralen Arbeitsbereichs. Bilder von der Sonne im Licht dieser Linie müssten viel stärker belichtet werden, als Bilder im Licht einer kurzwelligeren Spektrallinie, um eine nützliche Schwärzung zu erzielen.

Infrarotempfindliche Emulsionen: Es ist möglich, die Lichtempfindlichkeit einer Emulsion bis in den infraroten Bereich auszudehnen. Darunter leidet aber die Haltbarkeit des Films. Deshalb müssen infrarotempfindliche Filme gekühlt gelagert werden. Sie registrieren Licht bis zu Wellenlängen von 900 nm, bei einigen extremen Platten ist die Sensibilisierung bis gegen 1200 nm erweitert. (Fig. 4) Das ist leider nur noch auf Kosten der Empfindlichkeit möglich. Solche Platten müssen vom Benützer vor der Belichtung hypersensibilisiert werden, um für astronomische Zwecke überhaupt noch genügend empfindlich zu sein.

Alle sensibilisierten Emulsionen behalten ihre Empfindlichkeit für blaues Licht. Infrarotbilder sind deshalb nur durch Kombination des Films mit Farbfiltern möglich. Je nach Wahl des Filters wird die kurzwellige Strahlung von einer bestimmten Wellenlänge an vom Film ferngehalten.

Anwendung spektroskopischer Emulsionen: Besonders in der Astrophotographie spielt die spektrale Empfindlichkeit der Emulsionen eine grosse Rolle. Wie Farbaufnahmen zeigen, strahlen viele galaktische Gasnebel, stark im roten Licht[1, 2, 3, 4]).

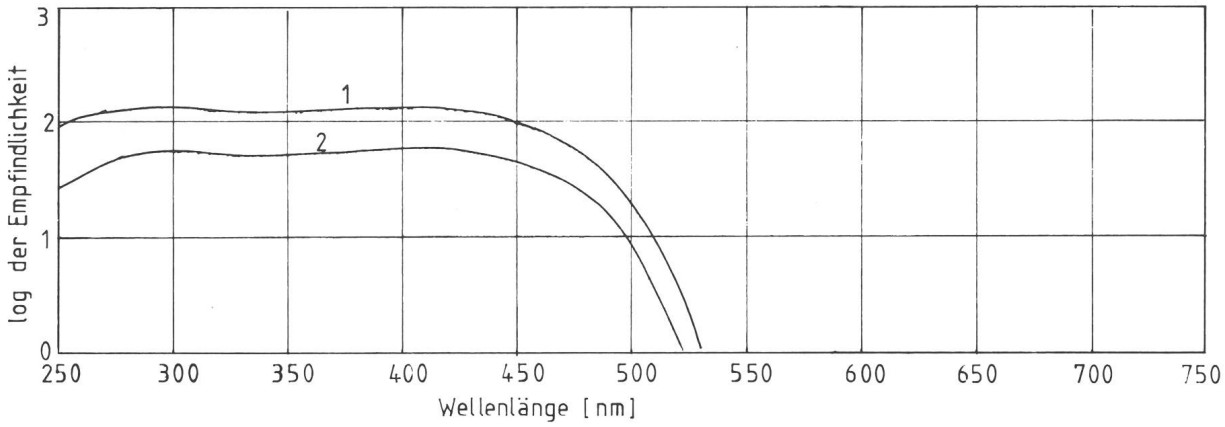

Fig. 1: Kurve der spektralen Empfindlichkeit für den Film Kodak 103-0. Die Empfindlichkeit ist der Kehrwert der Beleuchtungsenergie, ausgedrückt in erg/cm², welche zur Erreichung einer bestimmten Schwärzung nötig ist. In Kurve 1 ist die Schwärzung um 0,3 stärker als die Schwärzung des Filmschleiers, in Kurve 2 um 0,6. Der in der Astrophotographie eher gebräuchliche Film 103a-0 ergibt eine fast identische Kurve. Bei diesen Diagrammen ist die Empfindlichkeit eines Films für Licht einer bestimmten Wellenlänge umso grösser, je höher die Kurve verläuft[11]).

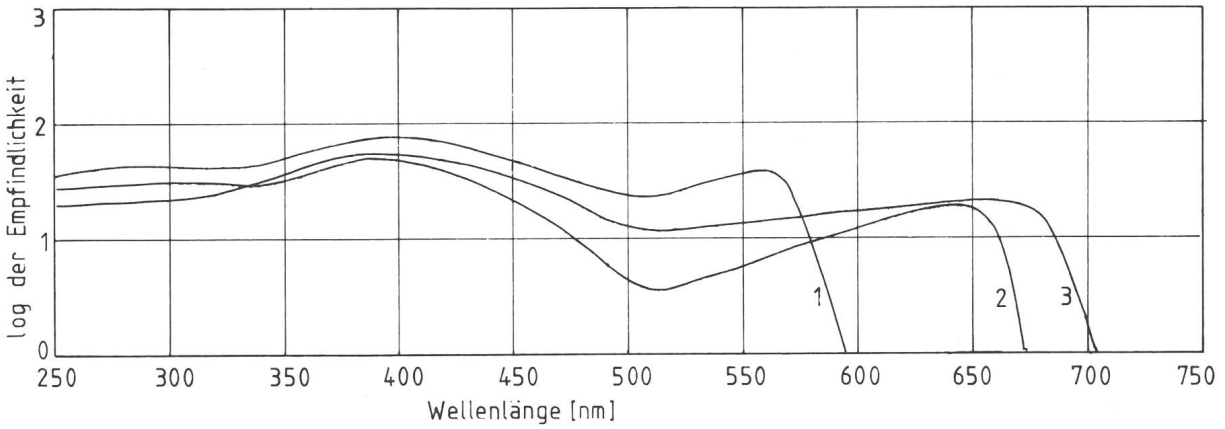

Fig. 2: Das Diagramm zeigt die Kurven der spektralen Empfindlichkeit der drei spektroskopischen Emulsionen Kodak 103a-G (1), 103a-E (2) und 103-F (3). Die Kurven sind für eine Schwärzung, die um 0,6 Skalenteile über der Dichte des Grauschleiers liegt, gezeichnet. Bei den Messungen betrug die Belichtungszeit 1/10 Sekunde; Entwicklung 4 Minuten in D-19 bei 20°C. Beim Film 103-F war die Belichtungszeit 1/25 Sekunde[11]).

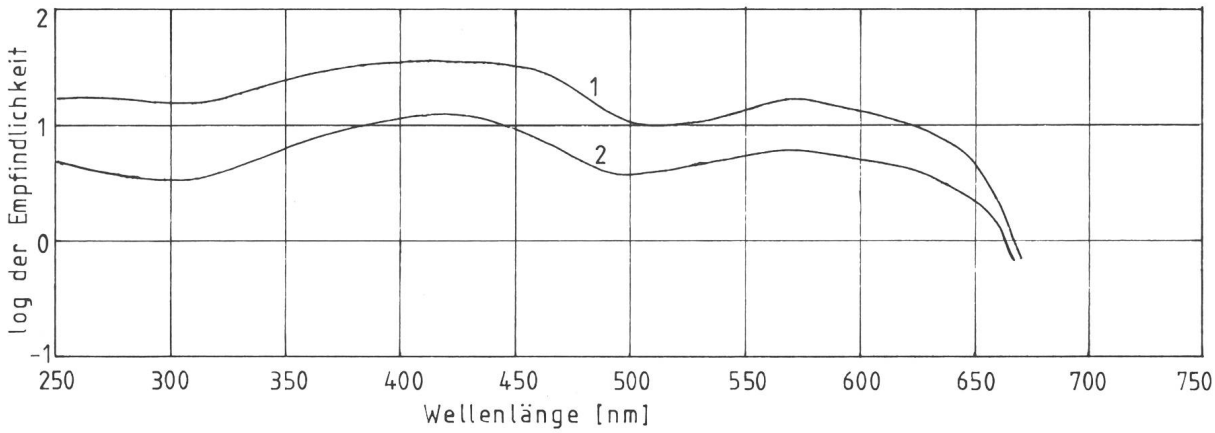

Fig. 3: Kurve der spektralen Empfindlichkeit von Kodak Tri-X Panchromatic Plate, Type B. Kurve 1 gilt für eine Schwärzung von 0,3, Kurve 2 für eine Schwärzung von 0,6 über der Dichte des Gräuschleiers. Belichtungszeit 1/25 Sekunde; Entwicklung 4 Minuten in D-19 bei 20°C, die Form der Kurve ist charakteristisch für die meisten panchromatischen Emulsionen[12]).

Dieses Licht sollte man auch bei Schwarzweiss-Aufnahmen ausnützen, wenn man mit kurzen Belichtungszeiten möglichst viel vom Nebel auf den Film bannen will.

Umgekehrt kann man bei Verwendung von blauempfindlichen Filmen das rote Licht gewollt ausschalten und erhält dann meist ganz andere Kontrastverhältnisse und Nebelformen. Besondere Bedeutung hat die Kombination mit einem geeigneten Farbglas erhält man Aufnahnen erlangt. Farbgläser sind für kurzwellige Strahlen bis zu einem gewissen Punkt undurchlässig, für langwelligeres Licht aber durchsichtig. Spektroskopische Emulsionen haben eine relativ scharfe Empfindlichkeitsgrenze auf der roten Seite des Spektrums. Durch Kombination mit einem geeigneten Farbglas erhält man Aufnahmen in einem engen Spektralbereich, ohne zu Interferenzfiltern greifen zu müssen.

Wenn nun ein galaktischer Nebel den grössten Teil seiner sichtbaren Strahlung gerade in diesem engen Bereich emittiert, gelangt sein Licht ungeschmälert auf den Film, während Streulicht vom Himmelshintergrund oder von Sternen, die in einem kontinuierlichen Spektrum strahlen, zum grössten Teil weggeschnitten wird[5]).

Ein weiterer Vorteil für den streulichtgeplagten Astrophotographen muss noch erwähnt werden. Die modernen Beleuchtungsanlagen für Sportplätze, Autobahnen und Schnellstrassen arbeiten nicht mehr mit Glühbirnen, sondern mit Quecksilber- oder Natriumdampf Hochdrucklampen. Das heisst, dass gerade diejenigen Beleuchtungseinrichtungen, die sich besonders stark auf den Widerschein über Städten auswirken, nur in ganz bestimmten Spektrallinien strahlen. Dieses Licht wird durch Farbgläser vollständig abgehalten, sofern man sich bei den Astroaufnahmen auf einen engen Spektralbereich beschränkt, der weder eine der Quecksilberlinien, noch die gelbe Natriumlinie enthält.

Die Bedeutung der spektroskopischen Emulsionen erschöpft sich nicht in der Stellarphotographie. Rot und infrarot-empfindliche Schichten eignen sich nämlich ganz besonders für Aufnahmen des Mondes und der Planeten.

Rotes Licht durchdringt dünne Gase sehr viel besser als blaues Licht. Es wird durch die Luftunruhe in der Atmosphäre weniger abgelenkt und von Wassertröpfchen oder Staubteilchen auch weniger gestreut. Obwohl also ein Fernrohr im Infrarotbereich theoretisch eine schlechtere Auflösung erbringt, werden Infrarotbilder in der Regel schärfer, weil eben schon bei mittelgrossen Teleskopen nicht die Beugung, sondern die Luftunruhe die Leistung limitiert. Aufnahmen mit grossen Spiegelteleskopen beweisen, dass sogar in einer jener seltenen Nächte mit aussergewöhnlich ruhiger Luft ein Infrarotbild viel mehr feine Einzelheiten enthüllt, als eine Blauaufnahme[6]).

Solche Tricks haben nichts zu tun mit Manipulationen am Negativ *nach* der Entwicklung. Sie beeinträchtigen den wissenschaftlichen Wert einer Astroaufnahme nicht, sofern alle technischen Massnahmen genau aufgezeichnet werden und man bei der Auswertung des Bildes wieder davon ausgehen kann.

2. Kontrast und Wellenlänge

Da die Empfindlichkeit eines Films stark von der Wellenlänge des verwendeten Lichts abhängt, stellt sich natürlich die Frage, ob ausser der Stellung auch die Form der Schwärzungskurve mit der Farbe des Lichts ändert. Das ist zum Glück kaum der Fall. Im allgemeinen steigt der Kontrast gegen die längeren Wellenlängen hin leicht an. Das heisst, dass ein Film im roten Licht bei gleicher Entwicklung härter arbeitet als im blauen Licht. Der Astroamateur wird diese Abhängigkeit aber bei seinen Arbeiten vernachlässigen können.

3. Verarbeitung von Filmen

Bis jetzt ging es darum, unter Beachtung aller Einflüsse ein möglichst gutes latentes Bild auf der photographischen Schicht zu erzeugen. Damit ist aber erst ein Schritt auf dem Weg zu einer guten Astroaufnahme getan. Die genügend belichteten Silberbromidkristalle müssen durch die Entwicklung reduziert werden.

Am Anfang der Verarbeitung steht die Wahl des Entwicklers. Hier empfiehlt es sich unbedingt, den Empfehlungen des Filmherstellers zu folgen. Es bleibt dann immer noch eine kleine Auswahl von Chemikalien, die oft noch in verschiedenen Verdünnungen verwendet werden können. Die grösste Schwierigkeit besteht darin, alle Bedingungen genau zu kontrollieren, um exakt reproduzierbare Resultate zu erhalten. Wenn das nicht gelingt, ist es unmöglich, eigene Erfahrungen zu sammeln. Vor allem muss die Stärke des Entwicklers überwacht wer-

den. Bei kritischen Arbeiten benutzt man für jeden Film frischen Entwickler. Seine Kraft nimmt ab durch Oxydation an der Luft und durch die Reaktionsprodukte der Entwicklung, die in der Lösung verbleiben und den weiteren Entwicklungsprozess behindern. In grossen Tanks, wo man nicht nach der Wegwerf-Methode arbeiten kann, wird genau die Fläche der verarbeiteten Materialien errechnet und entsprechend in regelmässigen Abständen frische Lösung zugefügt.

Neben der Konzentration des Entwicklers hat vor allem die Temperatur einen entscheidenden Einfluss. Obwohl Entwicklungstemperatur und Entwicklungszeit proportional voneinander abhängig sind, sollte man peinlich darauf achten, dass die Temperatur immer genau 20° C beträgt. Andernfalls werden weitere schwer kontrollierbare Variabeln in den so schon genügend komplizierten Entwicklungsprozess eingeführt. Zudem erzeugt eine höhere Entwicklertemperatur, kompensiert durch kürzere Entwicklungszeit, einen stärkeren Schleier. Das ist in jedem Fall ein höchst unerwünschtes Ergebnis. Um Fehler zu vermeiden, muss die Temperatur des Entwicklers immer unmittelbar vor der Entwicklung gemessen werden. In offenen Schalen, wie sie zur Verarbeitung von Platten und Photopapier sehr beliebt sind, bleibt die Temperatur der Flüssigkeit wegen der Verdunstungskühle je nach Luftfeuchtigkeit des Raumes 1—5° C unter der Raumtemperatur.

Während der Verarbeitung dringt der Entwickler in die Gelatineschicht ein und reduziert die belichteten Silberbromidkristalle. Damit diese Reaktion ungehindert abläuft, müssen die Reaktionsprodukte weggespült werden und ständig frischer Entwickler in die Schicht eintreten. Diese Vorgänge werden durch eine lebhafte Bewegung der Flüssigkeit an der Oberfläche der Emulsion sehr begünstigt.

Ständige Bewegung sorgt am ehesten für eine gleichmässige Entwicklung über das ganze Bild. Jeder Photoamateur sollte einmal selbst prüfen, ob seine Art der Entwicklung gleichmässig auf das ganze Bild wirkt. Dazu wird ein Negativ mit einer punktförmigen Lichtquelle aus zwei bis drei Meter Distanz belichtet. Eine Lichtquelle, wie sie jeder Spiegelschleifer für die FOUCAULTprobe seines Spiegels benötigt, leistet hier gute Dienste. Man macht das Loch für den Versuch etwas grösser, und wählt die Belichtungszeit so, dass sich nach der Entwicklung ein mittlerer Grauton ergibt. Wenn eine Kontaktkopie auf extrahartes Vergrösserungspapier immer noch eine eintönige graue Fläche zeigt, waren die Verarbeitungsmethoden gut. Man darf sich aber ruhig auf böse Überraschungen gefasst machen.

In jedem Fall sind die Zonen entlang der Bildränder für photometrische Arbeiten nicht brauchbar. Wegen der Bildung von Wirbeln wird die Zufuhr von Entwickler hier immer eine andere sein, als in der Bildmitte.

Haben Sie auch schon bemerkt, dass ein kleiner Kratzer auf dem Film meistens genau an der wichtigsten Stelle einer gutgelungenen Aufnahme prangt? Der erste Schritt um solche unliebsamen Zwischenfälle zu unterbinden besteht darin, einen kritischen Blick auf das verwendete Wasser zu werfen. Es enthält in vielen Gegenden beträchtliche Mengen von gelösten Mineralien. Diese bilden in Leitungen und Rohren Kalkablagerungen, von denen sich kleine Partikel ablösen und so in die Photochemikalien gelangen. Besonders spektroskopische Filme haben sehr weiche Emulsionen. Da genügen schon winzige Teilchen, um bei lebhafter Bewegung die empfindliche Schicht zu verletzen oder gar in ihr stekkenzubleiben. Man kann sie dann meist nur mit dem Mikroskop von einem echten Sternbildchen unterscheiden. Deshalb muss das verwendete Wasser vor dem Gebrauch filtriert werden, oder man gibt es zum mindesten zuerst in ein Gefäss, wo sich die festen Partikel absetzen können.

Gelöste Verunreinigungen stören die Verarbeitung von Filmen weit weniger. Die Karbonathärte des Wassers sollte aber eine äusserste Grenze von 150 ppm $CaCO_3$ nicht überschreiten. Andernfalls müssen die Chemikalien mit Wasser aus Ionentauschern angesetzt werden. *(Aqua demineralisata).* Nicht nötig ist es, das teurere destillierte Wasser zu verwenden. *(Aqua destillata).*

Diese Qualitätsanforderungen an das Wasser gelten für alle Verarbeitungsstufen.

Nachdem ein Bild unter Beachtung obenstehender Vorsichtsmassnahmen entwickelt ist, sollen die nächsten Verarbeitungsschritte ein haltbares Negativ erzeugen.

Das Stoppbad: Es soll die Entwicklung rasch und gleichmässig beenden. Das Stoppbad ist im Gegensatz zum basischen Entwickler sauer. Das kann zu Komplikationen führen. Wenn der Entwickler Karbonate enthielt, werden diese durch das Stoppbad in der Filmschicht zersetzt. Dabei entsteht CO_2-gas, welches in Form kleiner Luftbläschen in der Gelatine verbleibt. Dadurch wird ein Negativ völlig unbrauchbar. Man rückt dem unerwünschten Phänomen durch eine doppelt so starke Verdünnung des Stoppbades zu Leibe, und wenn auch das nichts nützen sollte, verwendet man als Stoppbad reines Wasser. Auch in diesem Fall muss das Wasser separat vorbereitet und möglichst genau auf die Temperatur des Entwicklers gebracht werden. Die Toleranzen liegen zwischen 18° C und 21° C. Grössere Temperaturunterschiede zum 20° C warmen Entwickler bewirken ein «Abschrecken» des Films. Dabei können sich mehrere Filmkörner zusammenballen. Man nennt diesen Effekt Runzelkornbildung. Das Negativ erscheint dann sehr grobkörnig und die Vergrösserungsfähigkeit des Bildes nimmt entsprechend ab.

Das Fixierbad: Für die Temperatur gelten die gleichen Toleranzen wie beim Stoppbad. Das Fixierbad löst das unbelichtete Bromsilber aus der Schicht heraus. Unbelichtete Stellen verlieren dadurch ihre milchigweisse Farbe und werden durchsichtig. Zudem wird das Negativ unempfindlich gegen Licht und somit haltbar. Für eine vollständige Fixierung muss die Lösung doppelt so lang auf den Film einwirken, als zur Auflösung der milchigweissen Schicht auf den unbelichteten Stellen nötig war. Bei orthochromatischen Filmen, die unter gedämpfter Dunkelkammerbeleuchtung in offenen Tanks verarbeitet werden dürfen, kann man die nötige Fixierzeit direkt bestimmen. In allen anderen Fällen muss man sich an die Richtzeiten des Filmherstellers halten.

Zu lange Fixierung wäscht die schwach belichteteten Stellen aus. Dadurch ändert sich die Schwärzungskurve der Emulsion in der Zone der Unterbelichtung. Solche schlecht kontrollierbaren Einwirkungen müssen unbedingt vermieden werden. Aus diesem Grund muss auch das Fixierbad möglichst frisch sein und darf nicht bis zur völligen Erschöpfung benutzt werden. Eine Faustregel besagt, dass ein Fixierbad erschöpft ist, wenn sich

die nötige Einwirkungsdauer unter dem Einfluss der gelösten Silbersalze verdoppelt hat.

Wässerung: Nun sollen anhaftende Reste des Fixierbades und gelöste Silbersalzreste aus der Emulsion entfernt werden. Sie würden sich sonst mit der Zeit zersetzen und das Negativ zerstören.

Auch beim Wässern muss ein Temperaturbereich von 18° C bis 21° C eingehalten werden. Abgesehen von der Gefahr der Runzelkornbildung nimmt die Wirkung des Wässerungsbades mit tieferen Temperaturen stark ab. Unterhalb von 16° C wird sie ungenügend.

Wegen der Gefahr von Kratzern darf selbst in der warmen Jahreszeit das Leitungswasser nicht direkt zum Wässern benutzt werden. Die Gelatineschicht wird zwar im Fixierbad leicht gehärtet, reagiert aber immer noch sehr empfindlich gegen die ungelösten Teilchen im Leitungswasser.

Während des Wässerns muss das Wasser bewegt werden. Die Zufuhr von Frischwasser ist im allgemeinen genügend, wenn das Wasser im Wässerungsbecken innerhalb von 5 Minuten ersetzt wird. Die Dauer der Wässerung hängt stark vom Typ der Emulsion ab. Deshalb sind auch hier die Angaben des Filmherstellers genauestens zu beachten.

Nach dem Wässern wird der Film aufgehängt und reichlich mit destilliertem Wasser abgespült. Das hilft garantiert gegen Kalkflecken. Filmabstreifer haben zwar die gleiche Wirkung, sie erzeugen aber zusätzlich auf spektroskopischen Emulsionen prachtvolle Kratzer von erheblicher Länge.

Trocknung: Die Filme werden bei Zimmertemperatur an einem staubfreien Ort zum Trocknen aufgehängt. Bei normaler Luftfeuchtigkeit sind die gebräuchlichen Schichten in einer Stunde trocken. Jede schnellere Trocknung kann dazu führen, dass sich das Trägermaterial verzieht. Die Negative sind dann für Kompositbilder nicht mehr brauchbar. Für die Vermessung von Sternabständen aus einer Feldaufnahme, zum Beispiel für die Bestimmung der Eigenbewegung der Mitglieder eines offenen Sternhaufens, dürfen von vornherein nur Emulsionen auf Glasplatten verwendet werden. Nur Glas behält seine Dimensionen über Jahrzehnte unverändert bei. Das ist aber Voraussetzung für die Bestimmung von Eigenbewegungen.

Zum Abschluss werden die Negative in handliche Streifen zerschnitten und in einem Negativbuch mit Einschubtaschen abgelegt. Sie sollen niemals eingerollt in einer Dose gelagert werden. Das Einrollen geht selten ohne Beschädigung ab, und alle Mühe ist dann umsonst.

Für jedes einzelne Bild muss eine Buchhaltung über alle interessierenden Daten Auskunft geben. Im Minimum sollten folgende Angaben enthalten sein:

— Filmtyp
— Datum und Zeitpunkt der Aufnahme
— Belichtungszeit
— Brennweite und Blende
— Filter
— Entwickler und Entwicklungszeit
— Sujet
— Angaben über Luftunruhe und Durchsichtigkeit der Atmosphäre

4. Effekte durch die Filmentwicklung.

Ein Negativ ist nun bereit für die Auswertung und Vergrösserung. Um falsche Rückschlüsse zu vermeiden, müssen verschiedene Effekte berücksichtigt werden, die erst bei der Entwicklung entstanden sind.

Eine optimale Entwicklung erzeugt ein Bild, auf dem

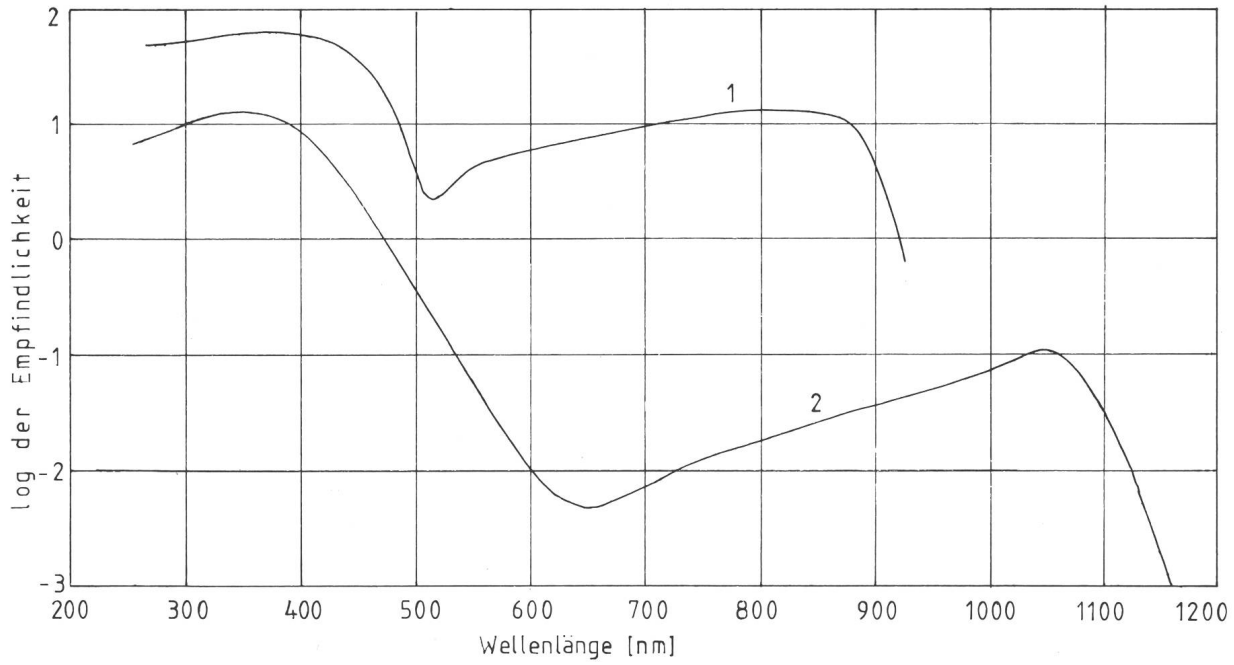

Fig. 4: Spektrale Empfindlichkeit von zwei infrarotempfindlichen Emulsionen. Es handelt sich um Kodak High Speed Infrared Film 4143 (Estar Thick Base), (Kurve 1) und um Kodak Spectroscopic Plate, Type I-Z (hypersensitized), (Kurve 2). Ohne spezielle Behandlung vor der Belichtung wäre der zweite Film viel weniger empfindlich. Die Belichtungszeiten betrugen 1,4 Sekunden, Film 1 ist 8 Minuten in D-76 entwickelt (20°C), Film 2 4 Minuten in D-19 bei gleicher Temperatur.
Beide Kurven gelten für eine Schwärzung von 0,6 über der Dichte des Grauschleiers.
Kodak High Speed Infrared Film und Kodak High Speed Infrared Film 2481 (Estar Base) haben eine ähnliche spektrale Empfindlichkeit wie Film1 [13]).

alle Punkte, die gleich viel Licht empfangen haben, auch die gleiche Schwärzung aufweisen. Das ist nun leider nicht der Fall. Die wichtigsten Abweichungen vom idealen Bild sollen kurz besprochen werden.

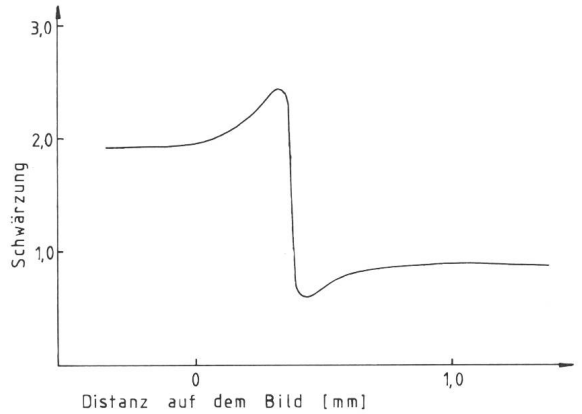

Fig. 5: Kanten-Effekt an der Grenze zwischen zwei gleichmässig beleuchteten Flächen grosser Ausdehnung[14]).

Kanten-Effekt: Er tritt an jeder scharfen Begrenzung zwischen einer hellen und einer dunklen Fläche auf. Die Entwicklerflüssigkeit diffundiert innerhalb der Schicht auch in der Richtung der Schichtebene. An einer scharfen Trennungslinie gelangt unverbrauchter Entwickler von der hellen Fläche auf das dunkle Gebiet. Dieses wird entlang seiner Begrenzung bevorzugt entwickelt, verglichen mit zentral gelegenen Stellen, die nicht von der seitlichen Versorgung profitieren. Umgekehrt diffundiert von ihm aus verbrauchter Entwickler in die schwächer belichtete Fläche. Ihre Randzonen erhalten damit mehr verbrauchte Flüssigkeit und werden entsprechend schwächer entwickelt als andere Zonen, die weiter von der Kante entfernt sind. Fig. 5 zeigt, wie der Übergang der Schwärzung an der Begrenzungslinie zweier völlig gleichmässig belichteter Flächen aussehen kann.

EBERHARD-*Effekt:* Dieser Effekt hat die gleichen Ursachen, wie der Effekt an scharfen Kanten. Die ungleichmässige Entwicklung führt dazu, dass bei kleinen Objekten mit gleicher Flächenhelligkeit das kleinere der beiden nach der Entwicklung stärker geschwärzt ist. Bei sehr kleinen Objekten ist das Ergebnis genau umgekehrt. Fig. 6 stellt diese Erscheinung an verschieden grossen runden Punkten dar, die alle die gleiche Flächenhelligkeit haben. Bei Sternfeldaufnahmen tritt der EBERHARD-Effekt stark in Erscheinung. Die Verhältnisse liegen dort aber nicht so einfach wie in Fig. 6, weil das Bild jedes Sternes, je nach der verwendeten Optik, eine komplizierte Uberlagerung des Beugungsbildes und der Bildfiguren von Koma und Astigmatismus darstellt. Allgemein werden aber Sternbilder mit Durchmessern von ein bis zwei Zehntel Millimeter bei der Entwicklung bevorzugt. Ständige Bewegung des Films während der Entwicklung kann diesen Effekt zwar verkleinern, aber er lässt sich nicht völlig ausschalten.

KOSTINSKY-*Effekt:* Dieser Effekt ist vor allem in der Astrophotographie von besonderem Interesse. Er bewirkt, dass Doppelsterne, die auf dem Film gerade noch getrennt sind, nach der Entwicklung stärker getrennt erscheinen. Die schmale Aufhellung zwischen den beiden schwarzen Punkten erhält von allen Seiten her nur Zufuhr von verbrauchtem Entwickler. Er sammelt sich auf der Trennlinie gleichsam an und behindert dort die Ent-

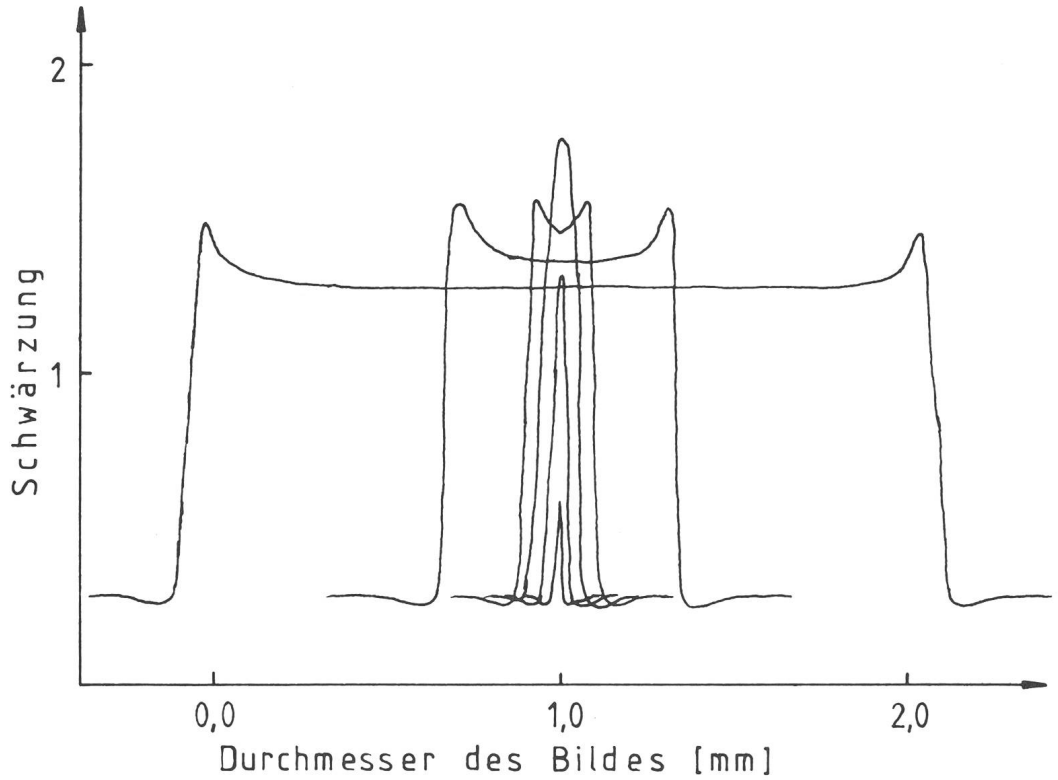

Fig. 6: Eberhard-Effekt. Punkte oder Linien werden bevorzugt entwickelt, sofern ihr Durchmesser 1/10 Millimeter übersteigt. Bei grösseren Ausmassen der Objekte geht der Effekt stufenlos in den Kanten-Effekt über. Extrem feine Punkte und Linien bleiben in der Entwicklung zurück[14]).

wicklung. Dadurch wird die Trennung der Sterne verbreitert. Der KOSTINSKY-Effekt kann auch zur Verstärkung von feinen Absorptionslinien in Spektren führen. Deshalb braucht es sehr umfangreiche Eichungen, um Spektren photometrisch genau zu vermessen.

5. Hypersensibilisierung

Unter Hypersensibilisierung versteht man die Empfindlichkeitssteigerung von Emulsionen durch Behandlung mit verschiedenen Chemikalien vor der Belichtung. Sie ist zu unterscheiden vom Baking-Prozess, wo Platten in einer Stickstoffatmosphäre für einige Stunden auf 65° C erwärmt werden. In beiden Fällen steigt die Empfindlichkeit und auch der Grauschleier. Für den Amateur kommt am ehesten die Hypersensibilisierung von rotempfindlichen Filmen in Betracht. Im Orion sind verschiedene Rezepte dafür angegeben worden[7]). Am einfachsten ist die Behandlung der spektroskopischen Emulsionen Kodak 103a-E und 103a-F mit destilliertem Wasser, das einige cm^3 Kodak Photo-Flo-Lösung enthält. Die Filme werden für 2 Minuten in der 5° C kalten Lösung gebadet und anschliessend in einem Strom möglichst kalter Luft getrocknet. Die Filme sind nach der Behandlung im Tiefkühlschrank bis zu 5 Wochen haltbar. Verglichen mit der Haltbarkeit von infrarotempfindlichem Material, das nach der Hypersensibilisierung nur noch wenige Tage aufbewahrt werden kann, ist das sehr praktisch. Für eine ausführliche Beschreibung der verschiedenen Methoden und der erzielbaren Ergebnisse sei auf die Literatur verweisen[8,9,10]).

Literatur:

1) E. Alt, E. Brodkorb, R. Mehrmann, K. Rihm, Weitere Farbaufnahmen von Objekten des Südhimmels, ORION 33. Jg. (1975) No. 151, Seite 201 ff.
2) E. Alt, E. Brodkorb, R. Mehrmann, K. Rihm, Astrofotografie am Südhimmel, ORION 33. Jg. (1975) No. 150, Seite 152 ff.
3) Max Lammerer, ORION 32. Jg. (1974) No. 143, Titelbild Seite 141.
4) E. Alt, ORION 32. Jg. (1974) No. 140, Titelbild Seite 1.
5) A. Heck, Une heureuse combinaison de filtre et d'émulsion astronomiques, ORION 34. Jg. (1976) No. 153, Seite 32 ff.
6) Dinsmore Alter, Lunar Atlas, Dover Publications, INC. New York 1968, Seite 122 und Seite 306.
7) E. Wiedemann, Empfindlichkeitssteigerungen bei Astro-Emulsionen, ORION 33. Jg. (1975) No. 150, Seite 147.
8) Kodak Plates and Films for Scientific Photography, Kodak Publication No. P-315, First Edition 1973, Seite 20.
9) Morrison, D., and Greenberg, E. H., 1968. Hypersensitization of infrared-sensitive photographic emulsions. Astronomical Journal, 73, 518—21.
10) Spinrad, H., and Wilder, J., 1972. Waterhypersensitization of Kodak special plates, type 098-02. AAS Photo-Bulletin, Nr. 1, 14.
11) Die Kurven entstammen der Publikation 8) Seite 15d.
12) Die Kurve ist Publikation 8) Seite 19 d entnommen.
13) Die Kurven entstammen der Publikation 8) Seite 16d und Seite 17d.
14) Die Zeichnung wurde nach einem Diagramm in Publikation 8) Seite 16 angefertigt.

Adresse des Autors:
Thomas Spahni, Alte Römerstrasse 23, CH-8404 Winterthur.

Zur numerischen Berechnung der Normalrefraktion

von H. BEUCHAT

Als Normalrefraktion wird der von der scheinbaren Zenitdistanz z abhängige Winkel r bezeichnet, um den ein Lichtstrahl in der Normalatmosphäre der Erde von der wahren Zenitdistanz ζ abgelenkt wird.

Das Aufkommen der (programmierbaren) Taschenrechner mit eingebauten mathematischen Funktionen (sin, tan, log usw.) hat den rechnenden Astro-Amateuren dadurch grosse Vorteile gebracht, dass bei Berechnungen die Verwendung von Tabellen dieser Funktionen entfällt.

Hingegen gibt es in der Astronomie manchmal benutzte empirische Standardfunktionen, welche tabelliert vorliegen. Es wäre dabei praktisch, Formeln für solche Funktionen anzugeben, welche an Stelle der Tabelle verwendet würden.

In dieser Form liegt eine durch R. Radau[1]) veröffentlichte Tabelle der Normalrefraktion vor.

Eine ältere Tafel der Refraktion ist etwa diejenige von F. W. Bessel[2]). Die Normalrefraktion spielt eine Rolle bei der Reduktion von beobachteten Zenitdistanzen oder Höhen über dem Horizont. Um bei Zenitdistanzen von ca. 90° die Auf- und Untergangszeiten von Gestirnen unter Berücksichtigung des topographisch gegebenen Horizontes zu bestimmen, benötigt man ebenfalls die Kenntnis der Refraktion, wenn die Zeiten einigermassen genau sein sollten. Die Umkehrfunktion, nämlich den Betrag der Refraktion als Funktion der wahren Zenitdistanz, benötigt man, wenn beispielsweise vorausgerechnete Örter eines Erdsatelliten am Himmel genauer korrigiert sein sollen.

Formeln zur Berechnung der Refraktion

Es lässt sich zeigen, dass bei nicht zu grossen Zenitdistanzen die Refraktion proportional dem Tangens der scheinbaren Zenitdistanz ist

$$r = \alpha \tan z \qquad (1)$$

α ist dabei die Refraktionskonstante.

Bei grösseren und sogar schon bei mässigen Zenitdistanzen weichen die mit dieser Formel berechneten Werte erheblich von den tabellierten ab. Daher besteht die Notwendigkeit, eine diesen Bereich grosser Zenitdistanzen abdeckende mathematische Formel anzugeben.

Hierzu hatte bereits Th. Simpson[3]) die folgende einfach gebaute Näherungsformel angegeben

$$r = \alpha \tan(z - \beta r) \qquad (2)$$

Für den Koeffizienten β schlug J. Bradley[4]) den Wert 3 vor. In Formel (2) geht die Refraktion r sowohl links wie rechts vom Gleichheitszeichen ein. Dies lädt geradezu ein, die Berechnung der Refraktion auf iterativem Wege zu versuchen, das heisst, etwa von $r_o = 0$ ausgehend in die rechte Seite der Formel einzusetzen bis der mit der