

# Photographie und Photometrie des Planetensystems

Autor(en): **Gruschel, Wolfgang**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **34 (1976)**

Heft 154

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-899520>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Photographie und Photometrie des Planetensystems

VON WOLFGANG GRUSCHEL, Stuttgart

## 1. Wozu photometrische Berechnungen und Tabellen in der Astrophotographie?

Wie in der terrestrischen Photographie so benötigt man auch in der Astrophotographie Belichtungsdaten, um einwandfreie Aufnahmen zu erhalten. Das gilt besonders dann, wenn man als Aufnahmematerial Umkehrfarbfilme benutzt, weil hier durch die Belichtung auch die absolute Bildhelligkeit festgelegt wird, und eigentlich nur eine einzige Einstellung ein brauchbares Diapositiv zu liefern vermag.

Wie aber gelangt man zu genauen Expositionsdaten, z. B. bei einer Aufnahme des Planeten Venus als schmale Sichel kurz vor der unteren Konjunktion durch einen 15 cm-Reflektor? Möglich wäre eine Reihe von Testaufnahmen unter Durchlaufen einer Belichtungszeitenreihe. Doch wer wäre schon gern bereit, den damit verbundenen hohen Filmverschleiss hinzunehmen, zumal die so gewonnenen *Erfahrungswerte* infolge des ständigen Wechsels der Aufnahmebedingungen (Einfluss der Erdatmosphäre, Phase bei Mond und Venus) nahezu wertlos sind. Eine *photoelektrische Belichtungsmessung*, die vernünftige Daten liefern soll, halte ich – jedenfalls für den Amateur und bei Aufnahmen der Planeten – für mehr als problematisch.

Bleibe der Weg offen, sorgfältige Überlegungen darüber anzustellen, welche Faktoren alle Einfluss auf die Belichtungszeit bei Aufnahmen des Mondes und der grossen Planeten durch ein Teleskop haben könnten, und dann eine *brauchbare Theorie* zu entwickeln, die zur Erstellung von *Tabellen* führt. Mit diesen kann der Astrophotograph die jeweils für sein Motiv und seine Aufnahmeart richtigen Belichtungswerte ermitteln und vermeidet so Fehlpositionen.

Auf eine genaue Darstellung dieser Überlegungen muss hier verzichtet werden; sie sollen jedoch skizziert werden. Wichtig sind in erster Linie die Ergebnisse der Theorie und die Gewinnung einer Form, in der sie für den Astrophotographen praktisch anwendbar sind. Dabei werden immer wieder photometrische Begriffe auftauchen. Deshalb wollen wir uns zunächst kurz mit der *Photometrie* befassen, der Wissenschaft von der Lichtmessung und den Lichtgrössen.

## 2. Grundbegriffe der Photometrie

Benutzen wir zur Messung der Energie, die durch elektromagnetische Wellen übertragen wird, das menschliche Auge als «Messinstrument», dann betreiben wir Photometrie. Nur in einem relativ kleinen Wellenlängenbereich treten überhaupt «Messwerte» (= Lichtempfindungen) auf. Innerhalb dieses sogenannten optischen Bereichs (Wellenlängen zwischen 340 und 1000 nm<sup>1</sup>) weist das Auge sehr unterschiedliche Empfindlichkeiten auf. Charakterisiert wird die Wirkung von sichtbarer Strahlung auf ein (standardi-

siertes) menschliches Auge durch die *Lichtgrössen*. Als erste Lichtgrösse wollen wir den *Lichtstrom*  $\Phi$  einführen. Dieser entspricht der Leistung (= Energie pro Zeiteinheit), die von der Lichtstrahlung übertragen wird, *in bezug auf ihre Wirkung auf das Auge*. Eine Masseinheit für den Lichtstrom kann z. B. 1 Lumen (lm) sein. Für Strahlung der Wellenlänge 555 nm, bei der das menschliche Auge eine maximale Empfindlichkeit aufweist, beträgt der Lichtstrom pro Watt Strahlungsleistung 683 lm.

Interessiert uns die Verteilung des Lichtstromes einer Lichtquelle auf die verschiedenen Raumrichtungen, so müssen wir eine weitere Grösse einführen, die *Lichtstärke*. Das ist der *Lichtstrom pro Raumwinkeleinheit*. Das Mass für einen Raumwinkel  $\Omega$  ist die Fläche, die dieser aus der Oberfläche einer Einheitskugel um seinen Scheitel «herausschneidet» (mehr zum Raumwinkel in einschlägigen Geometriebüchern). Die Einheit des Raumwinkels ist 1 Steradian (sr). Als Differentialquotient geschrieben ist dann die Lichtstärke  $d\Phi / d\Omega^2$ ; ihre Masseinheit ist z. B. 1 Lumen pro Steradian (lm/sr) = 1 Candela (cd).

Bezieht man die Lichtstärke auf den Inhalt der Fläche, von der das Licht stammt, so gelangt man zur *Leuchtdichte*  $L$ . Die Fläche, die hierbei zugrunde gelegt werden muss, ist allerdings die Projektion der wirklichen Fläche (Flächeninhalt  $A$ ) auf eine Ebene senkrecht zur Beobachtungsrichtung, also die Fläche  $A$  multipliziert mit dem Cosinus des Beobachtungswinkels  $e$ . Die Leuchtdichte ist also die *Lichtstärke pro Flächeneinheit* in dem gerade erläuterten Sinne – oder mathematisch formuliert:

$$L = d^2\Phi / d\Omega \cdot dA \cdot \cos(e).$$

Sie gibt an, wie intensiv leuchtend uns eine Fläche erscheint, ob ihr Anblick uns blendet oder ob sie nur schwach schimmert. Eine Einheit der Leuchtdichte ist 1 Candela pro Quadratmeter (cd/m<sup>2</sup>), eine andere 1 Apostilb (asb). Es gilt:

$$1 \text{ cd/m}^2 = \pi \cdot 1 \text{ asb}.$$

Betont werden muss, dass es noch viele andere Masseinheiten für Lichtgrössen gibt, z. B. solche, die den angelsächsischen Längenmassen angepasst sind (footlambert etc.). Wir benutzen im folgenden nur die eben eingeführte Einheit Apostilb (asb) für Leuchtdichte-Angaben.

Als letzte Lichtgrösse wollen wir die *Beleuchtungsstärke*  $E$  einführen. Sie ist das Verhältnis von ankommendem Lichtstrom  $\Phi$  zum Inhalt  $A$  der beleuchteten Fläche, kurz  $E = d\Phi / dA$ . Einheit ist z. B. 1 Lux (lx) = 1 lm/m<sup>2</sup>.

Was haben nun die hiermit eingeführten Lichtgrössen mit der Astrophotographie zu tun? Die Antwort auf diese Frage gibt uns der nächste Abschnitt.

### 3. Grundsätzliches zur Photographie beleuchteter Himmelskörper

Die Belichtungszeit bei der Photographie einer Licht aussendenden Fläche hängt von ihrer *Leuchtdichte*, von der *Blendenzahl* der Aufnahmeoptik und der *Filmempfindlichkeit* ab. Die Blendenzahl  $B$  ist der Quotient aus effektivem Durchmesser ( $d_{\text{eff}}$ ) des verwertbaren Lichtbündels (meist Öffnung des Teleskops) und der Äquivalentbrennweite ( $f_{\text{äq}}$ ) der Aufnahmeoptik, d. h.

$$B = f_{\text{äq}} / d_{\text{eff}}$$

Die Äquivalentbrennweite ist bei Aufnahmen in der Fokalebene des Fernrohrobjektivs gleich dessen angegebener Brennweite  $f$ . Projiziert man dagegen das Bild des Motivs mit einem Okular auf den Film (Kamera ohne Kameraobjektiv), so hat man die Objektivbrennweite  $f$  des Teleskops noch mit einem Faktor zu multiplizieren, dessen Wert gleich

$$\frac{\text{Projektionsabstand}}{\text{Okularbrennweite}} - 1 \text{ beträgt.}$$

Blendenzahl und Filmempfindlichkeit (z. B. angegeben in DIN) sind bei einer photographischen Aufnahme vorgegebene Grössen. Variabel dagegen ist die Leuchtdichte des Motivs.

Welche Faktoren bestimmen nun die Leuchtdichte, mit der uns ein Planet oder der Mond erscheint?

Die Oberfläche des Himmelskörpers wird umso heller erscheinen, je stärker dieser von der Sonne beleuchtet wird, d. h. je höher die *Beleuchtungsstärke*  $E$  durch das Sonnenlicht beim Planeten ist. Im Abstand 1 A.E. (= mittlere Entfernung Sonne-Erde) von der Sonne beträgt die Beleuchtungsstärke ca. 137 000 lx, im Abstand 2 A.E. nur noch  $\frac{1}{4}$  dieses Wertes usw. (quadratisches Abstandsgesetz). Ferner hängt die Leuchtdichte vom Rückstrahlvermögen der Planeten- oder Mondoberfläche ab, genauer gesagt von ihrer (geometrischen) *Albedo*  $p$ , sowie dem zeitlich schwankenden Wert der *Phasenfunktion*  $f(\Psi)$ . Die Phasenfunktion gibt an, wie sich die (Gesamt-) Helligkeit eines beleuchteten Himmelskörpers mit dem *Phasenwinkel*  $\Psi$  (Fig. 1) ändert und zwar umgerechnet auf konstante Entfernung des Planeten von der Sonne und vom Beobachter. Der Verlauf der

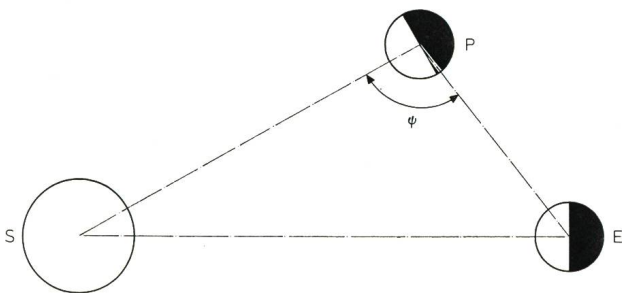


Fig. 1: Definition des Phasenwinkels.

Phasenfunktion ist i. a. von Planet zu Planet verschieden und hängt von der Beschaffenheit der lichtreflektierenden Schichten des Planeten bzw. des Mondes ab. Der Phasenwinkel unter dem uns ein beleuchteter Himmelskörper erscheint, ist der Winkel  $\Psi =$  Winkel (SPE) in der Fig. 1. Von ihm hängt auch die Grösse des «Beleuchteten Teils» (B.T.) der scheinbaren Planeten- oder Mondscheibe ab (vergl. Fig. 2 und Tabelle 1), der ebenfalls die Leuchtdichte (Flä-

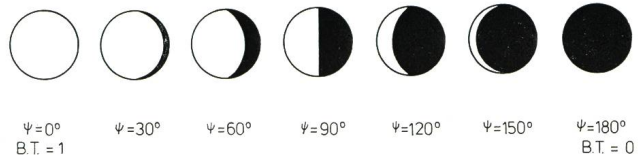


Fig. 2: Phasenwinkel und «Beleuchteter Teil» B. T.

Tabelle 1: Abhängigkeit des «Beleuchteten Teils» vom Phasenwinkel (die Werte gelten genau für einen kugelförmigen, atmosphärenlosen Himmelskörper)

$\Psi$	B. T.
0°	1.000
10°	0.992
20°	0.970
30°	0.933
40°	0.883
50°	0.821
60°	0.750
70°	0.671
80°	0.587
90°	0.500
100°	0.413
110°	0.329
120°	0.250
130°	0.179
140°	0.117
150°	0.067
160°	0.030
170°	0.008

chenhelligkeit) des Himmelskörpers beeinflusst. Man kann schliesslich folgende Formel für die Leuchtdichte einer Planeten- bzw. Mondoberfläche gewinnen:

$$L = E \cdot p \cdot f(\Psi) / B. T.$$

Mit Hilfe dieser Formel lassen sich *Leuchtdichtetabellen für den Erdmond und die Grossen Planeten* (Tabelle 2) aufstellen, die den Ausgangspunkt zur Bestimmung der Belichtungswerte bei Aufnahmen dieser Himmelskörper darstellen. Die dort (für mehrere Phasenwinkel) aufgeführten Leuchtdichten würde ein Beobachter ausserhalb der Erdatmosphäre wahrnehmen. In der irdischen Lufthülle erfährt das Licht des Himmelskörpers eine Abschwächung (Extinktion), die vom Trübungsgrad der Atmosphäre und von der Zenitdistanz  $z$  des Gestirns abhängt ( $z = 90^\circ - h$ ;  $h =$  Höhenwinkel des Gestirns). Die Faktoren, mit denen die Leuchtdichte-Werte aus Tab. 2 für den

*Tabelle 2:* Mittlere Leuchtdichten der Oberflächen von Venus, Mars, Jupiter, Saturn und Erdmond (gültig ausserhalb der Erdatmosphäre). Angaben für den irdischen Beobachter erhält man durch Multiplikation mit den Werten aus Tab. 3. Eine Unterscheidung zwischen zunehmendem und abnehmendem Mond wird nicht getroffen, da sich die Werte nur geringfügig unterscheiden. Angegeben sind Mittelwerte.

Phasenwinkel in Grad	Leuchtdichten L in asb für			
	Erdmond	Venus	Mars Sonnenabstand 1.5 A. E. 1.6 A. E.	
0		154000	9400	8250
1½	15750			
10	12300			
20	9600	145000	7100	6300
30	7750			
40	6300	123000	5800	5100
50	5200			
60	4400	100000		
70	3800			
80	3150	82000		
90	2500			
100	2150	68000		
110	1900			
120	1600	66000		
130	1350			
140	1250			
150	1100			

Mittlere Leuchtdichte der Oberfläche von Jupiter: 2250 asb.  
Mittlere Leuchtdichte der Oberfläche von Saturn: 700 asb.

*Tabelle 3:* Durchlässigkeit einer Standard-Erdatmosphäre für Licht der Wellenlänge 550 nm. (3 Trübungsstufen).

Zenitdistanz in Grad	$\beta = 0.05$ (sehr klar)	$\beta = 0.10$ (leicht trüb)	$\beta = 0.20$ (stark trüb)
0	0.819	0.735	0.592
30	0.794	0.701	0.545
45	0.754	0.647	0.476
60	0.662	0.541	0.350
70	0.560	0.408	0.217
75	0.466	0.308	0.134
78	0.390	0.234	0.084
80	0.327	0.178	0.053
82	0.253	0.120	0.027
84	0.169	0.064	0.009
85	0.125	0.040	0.004
86	0.084	0.021	0.001

Beobachter auf der Erdoberfläche multipliziert werden müssen, können in Tab. 3 für 3 verschiedene Trübungsstufen und mehrere Zenitdistanzen nachgesehen werden.

Die so modifizierten Leuchtdichte-Werte ergeben zusammen mit der Filmempfindlichkeit und der Blendenzahl der Aufnahmeoptik nach dem folgenden Schema die Belichtungszeiten: Man sucht in Tabelle 4 in der linken Spalte einen dem modifizierten Leuchtdichte-Wert nahekommenden Wert und findet in der entsprechenden Zeile unter dem DIN-Wert des verwendeten Films den photographischen *Lichtwert* (L.W.).

Die Blendenzahlen B der verwendeten Aufnahmeoptik (Fernrohrobjektiv mit oder ohne Okular oder einfach ein Teleobjektiv) sollte dem Astrophotogra-

*Tabelle 4:* Tafel zur Ermittlung der Lichtwerte aus modifiziertem Leuchtdichte-Wert und Filmempfindlichkeit (DIN).

Leuchtdichte L in asb	Empfindlichkeit (DIN) Lichtwerte			
	12 DIN	15 DIN	18 DIN	21 DIN
0.8	-2	-1	0	1
1.6	-1	0	1	2
3.2	0	1	2	3
6.25	1	2	3	4
12.5	2	3	4	5
25	3	4	5	6
50	4	5	6	7
100	5	6	7	8
200	6	7	8	9
400	7	8	9	10
800	8	9	10	11
1 600	9	10	11	12
3 200	10	11	12	13
6 250	11	12	13	14
12 500	12	13	14	15
25 000	13	14	15	16
50 000	14	15	16	17
100 000	15	16	17	18
200 000	16	17	18	19
400 000	17	18	19	20

*Tabelle 5:* Blendenzahlen B (Blendenskala) und die ihnen zugeordneten Blendenstufen n.

B	n
1	0
1.4	1
2	2
2.8	3
4	4
5.6	5
8	6
11	7
16	8
22	9
32	10
45	11
64	12
90	13

*Tabelle 6:* Differenzen (n - L. W.) und die zugehörigen Belichtungszeiten in Sekunden nach der geometrisch abgestuften Belichtungszeitenreihe.

(n - L.W.)	Belichtungszeit
-11	1/2000
-10	1/1000
-9	1/500
-8	1/250
-7	1/125
-6	1/60
-5	1/30
-4	1/15
-3	1/8
-2	1/4
-1	1/2
0	1
1	2
2	4
3	8
4	15
5	30
6	60

phen bekannt sein<sup>3)</sup> (siehe auch Anwendungsbeispiele). Den Blendenzahlen  $B$  sind für unsere Zwecke Blendenstufen  $n$  zugeordnet (Tabelle 5).

Man braucht jetzt nur von dem Wert  $n$  den zuvor ermittelten Lichtwert ( $L.W.$ ) abzuziehen, d. h. ( $n - L.W.$ ) zu bilden (dabei treten oft negative Werte auf) und unter diesem Zahlenwert in Tabelle 6 die richtige Belichtungszeit für die Aufnahme einfach abzulesen!

Da sowohl  $L.W.$  als auch  $n$  ganze (und kleine) Zahlen sind, braucht man kein Rechenkünstler zu sein um ans Ziel zu gelangen. Mit Hilfe dieser Methode, die gleich in einigen Beispielen veranschaulicht werden soll, ist es dem Autor gelungen, eine mehrere Hundert Diapositive umfassende Color-Serie von unserem Erdtrabant in sämtlichen Phasen und vielen verschiedenen Abbildungsmaßstäben sowie von den Planeten Venus, Jupiter und Saturn anzufertigen. Unnötiger Filmverschleiss konnte fast völlig vermieden werden; meist mussten nur Aufnahmen aussortiert werden, bei denen während der Exposition die Nachführung des Teleskops nicht einwandfrei gearbeitet hatte.

#### 4. Anwendungsbeispiele

a) Der *Vollmond* soll mit einem Teleobjektiv, Blende 5.6, aufgenommen werden (die Brennweite ist hier uninteressant, wichtig ist nur die Blendenzahl  $B = 5.6$ ). Es sei ein *sehr klarer* Wintertag (der Mond erschien bereits beim Aufgang sehr hell und in fast weissem Licht). Der Mond stehe zum Zeitpunkt der Aufnahme nur  $30^\circ$  vom Zenit entfernt. In die Kamera sei ein Film der *Empfindlichkeit 15 DIN* (= 25 ASA) eingelegt. Soweit die Gegebenheiten.

Der Phasenwinkel beträgt bei Vollmond minimal  $1.5^\circ$  (beim Phasenwinkel  $0^\circ$ , den man eigentlich erwartet, stünde der Mond mitten im Kernschatten der Erde, wäre also total verfinstert).

Suchen wir also in Tab. 2 die mittlere Leuchtdichte der «Mondscheibe» bei einem Phasenwinkel von  $1\frac{1}{2}$  Grad heraus. Wir finden den Wert  $15\ 750\ asb$ . Diesen Leuchtdichtewert würde z. B. ein Raumfahrer ausserhalb der irdischen Atmosphäre messen. Uns Erdbewohnern am Grunde des «Luftmeeres» erscheint der Mond weniger intensiv leuchtend. Da die Luft über dem Beobachtungsort hier im Beispiel ausserordentlich klar sein soll, müssen wir in Tab. 3 gleich in der ersten Spalte ( $\beta = 0.05$  bzw. «sehr klar») nachsehen: dort finden wir für die Zenitdistanz  $30^\circ$  eine optische Durchlässigkeit von  $0.794$ , d.h.  $79.4\%$ <sup>4)</sup>.

Mit dieser Zahl multiplizieren wir die oben festgestellte Leuchtdichte von  $15\ 750\ asb$  und erhalten so den modifizierten Leuchtdichtewert von  $15\ 750\ asb \cdot 0.794 = 12\ 500\ asb$ . Diesen Wert finden wir (sogar ganz genau) in der linken Spalte von Tab. 4. Für die vorgegebene Filmempfindlichkeit von 15 DIN findet man sofort den *Lichtwert* (auch «Belichtungswert» genannt)  $13$ . Die Blendenzahl  $B$  unserer Aufnahmeoptik soll ja 5.6 betragen; nach Tabelle 5 entspricht dies der *Blendenstufe*  $n = 5$ . Jetzt brauchen wir nur

noch die Differenz ( $n - \text{Lichtwert}$ ) zu bilden:  $n - L.W. = 5 - 13 = -8$ ; das ergibt laut Tab. 6 eine *Belichtungszeit* von  $1/250\ Sekunde!$

b) Wir möchten eine Aufnahme der *Venussichel* (Phasenwinkel  $\Psi = 120^\circ$ ) erhalten. Der helle Planet stehe  $12^\circ$  über dem (mathematischen) Horizont. Seine Zenitdistanz beträgt also  $z = 90^\circ - 12^\circ = 78^\circ$ . Wir haben normale Witterung (Himmel «leicht trüb»). Es stehe uns ein 15 cm-Spiegelteleskop mit 120 cm Brennweite zur Verfügung. Um ein genügend grosses Bild des Planeten auf dem Film zu bekommen, projizieren wir das Fokalbild des Teleskopspiegels mit einem 5 mm-Okular auf das Photomaterial, beispielsweise auf einen *18 DIN*-Umkehrfarbfilm in einem Kameragehäuse (Kameraobjektiv abgeschraubt). Der optische Weg Okular-Film (Projektionsabstand) betrage 45 mm. Die Gesamtbrennweite erhöht sich dadurch um einen Faktor

$$\frac{\text{Projektionsabstand}}{\text{Okularbrennweite}} - 1 = \frac{45\ \text{mm}}{5\ \text{mm}} - 1 = 9 - 1 = 8.$$

Die Äquivalentbrennweite dieses optischen Systems beträgt damit  $f_{\text{äq}} = 120\ \text{cm} \cdot 8 = 960\ \text{cm}$  und die Blendenzahl  $B = f_{\text{äq}} / d = 960\ \text{cm} / 15\ \text{cm} = 64$ . Für  $B = 64$  steht in Tabelle 5

$$n = 12.$$

Venus hat bei  $\Psi = 120^\circ$  laut Tabelle 2 eine Leuchtdichte von  $66\ 000\ asb$  (ohne Atmosphäre). Die Durchlässigkeit der Atmosphäre für  $z = 78^\circ$  und «leicht trüb» ist laut Tabelle 3 gleich  $0.234$ , d. h. modifizierte Leuchtdichte gleich  $15\ 500\ asb$ . Für  $12\ 500\ asb$  findet man in Tabelle 4 bei 18 DIN den Lichtwert  $L.W. = 14$ . Für  $n$  hatten wir den Wert 12 gefunden, also  $n - L.W. = -2$ . Aus Tabelle 6 entnehmen wir: *Belichtungszeit* =  $\frac{1}{4}\ Sekunde$ .

c) Objekt: *Saturn*, Zenitdistanz  $z = 60^\circ$ , *leicht trüb*, Film (Platte): *21 DIN* (= 100 ASA). Fernrohr: Öffnung 17 cm, Objektivbrennweite 127,5 cm. Daraus ergibt sich ein Öffnungsverhältnis von  $17\ \text{cm} : 127,5\ \text{cm} = 1 : 7,5$ . Wir verwenden wieder ein Okular der Brennweite 5 mm, haben aber jetzt zusätzlich ein Kameraobjektiv der Brennweite 60 mm im Strahlengang, machen die Aufnahme also mit einer kompletten Kamera. Zur Berechnung der Blendenzahl multiplizieren wir nun den Kehrwert des Öffnungsverhältnisses (= 7,5) mit dem Faktor

$$\frac{\text{Brennweite des Kameraobjektivs}}{\text{Okularbrennweite}}, \text{ also } B =$$

$$7,5 \cdot \frac{60\ \text{mm}}{5\ \text{mm}} = 90.$$

$B = 90$  ergibt (Tab. 5)  $n = 13$ . Tabelle 2, Saturn: Leuchtdichte =  $700\ asb$ . Diesen Wert mal  $0.541$  (Tab. 3 für  $z = 60^\circ$ ) ergibt  $380\ asb$ . Tabelle 4 ( $400\ asb$ , 21 DIN): Lichtwert  $L.W. = 10$ . Damit wird  $n - L.W. = 13 - 10 = 3$ . Tabelle 6: *Belichtungszeit* =  $8\ Sekunden$ .

Bei einer so langen Expositionsdauer benötigt man für das Teleskop schon eine recht genau arbeitende Nachführung!

Diese drei Beispiele dürften veranschaulicht haben, wie man mit relativ wenig Rechenaufwand für ein breites Spektrum von Aufnahmebedingungen systematisch die Belichtungszeiten bei der Astrophotographie der Körper unseres Sonnensystems ermitteln kann.

*Anmerkungen:*

- 1) 1 Nanometer (nm) =  $10^{-9}$  m.
- 2) d. h. den auf ein kleines Raumwinkелеlement entfallenden Lichtstrom dividiert durch die Grösse dieses Raumwinkелеlements.

3) Anzumerken ist, dass B an und für sich eine rein geometrische Grösse ist, da der Durchlassgrad der einzelnen optischen Elemente nicht berücksichtigt ist. Die Tabellen sind aber so konzipiert, dass normalen Verhältnissen in dieser Hinsicht Rechnung getragen ist.

4) Dieser Wert ist natürlich rein theoretisch; er ist für eine Modell-Atmosphäre (Standard-Erdatmosphäre) berechnet worden. Die Erfahrungen des Autors zeigten jedoch, dass sich mit dem angenommenen Modell (nach BEMPORAD) der Einfluss der irdischen Lufthülle bezüglich der Himmelsphotographie in guter Näherung beschreiben lässt. Der Trübungszustand der Atmosphäre (sehr klar; leicht u. stark getrübt) kann durch Beobachtung der Gestirne in Horizontnähe (Helligkeit und Rötung des Lichtes) gut abgeschätzt werden.

*Adresse des Autors:*

WOLFGANG GRUSCHEL, Friesenstrasse 25, D-7000 Stuttgart 40.

### Rectification

à l'article «Un cadran solaire oublié» de M. L. JANIN (ORION 151, p. 179).

Lors de la reproduction des illustrations 7 et 8 selon les indications de l'auteur, la rédaction a commis

quelques petites erreurs dont elle s'excuse. Sur demande de M. JANIN, nous reproduisons ces deux illustrations qui ont été corrigées par lui.

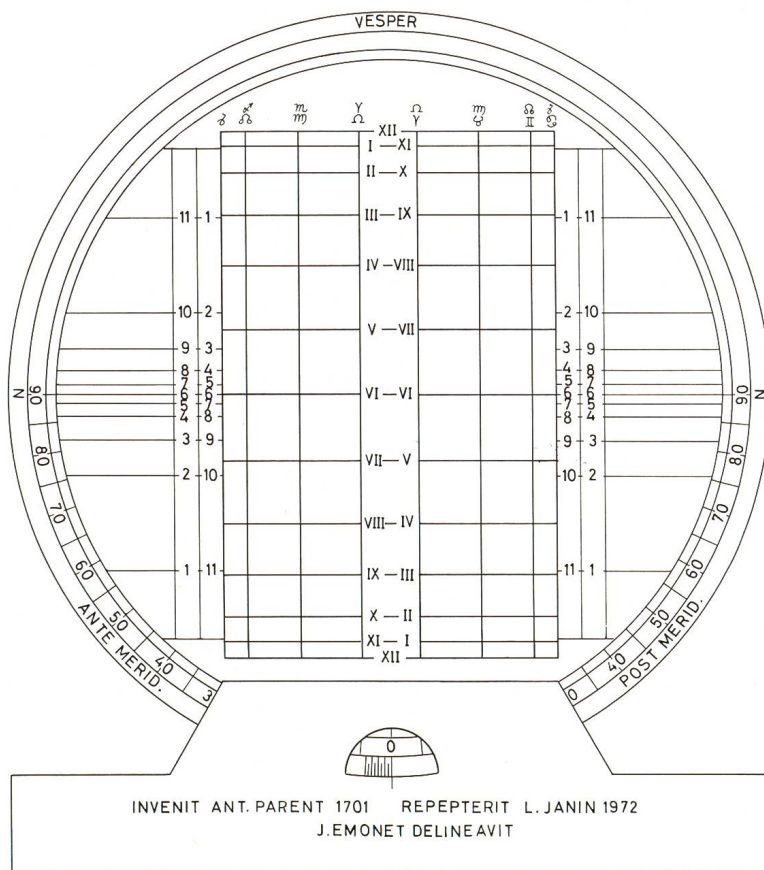


Fig. 7: Dessin d'un cadran-boussole, vue frontale

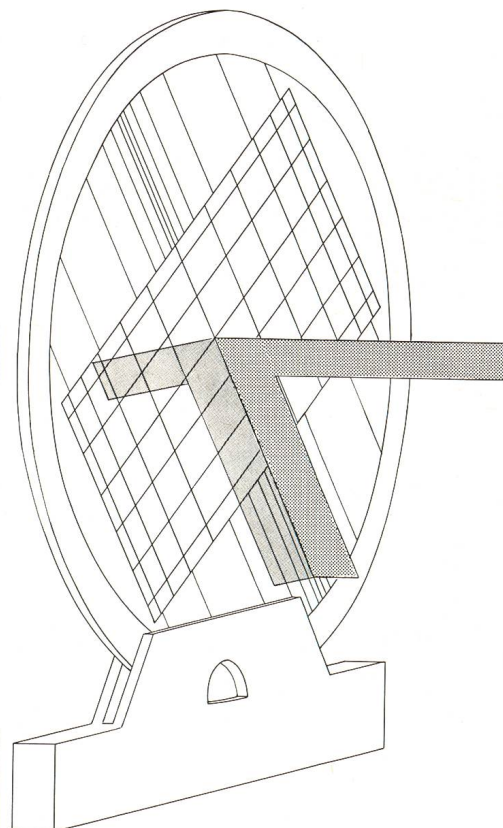


Fig. 8: Dessin d'un cadran-boussole, vue perspective montrant l'appareil sous la latitude de Paris (48° 50') le 21 janvier (ou novembre) à 2<sup>h</sup>45<sup>m</sup> de l'après-midi.