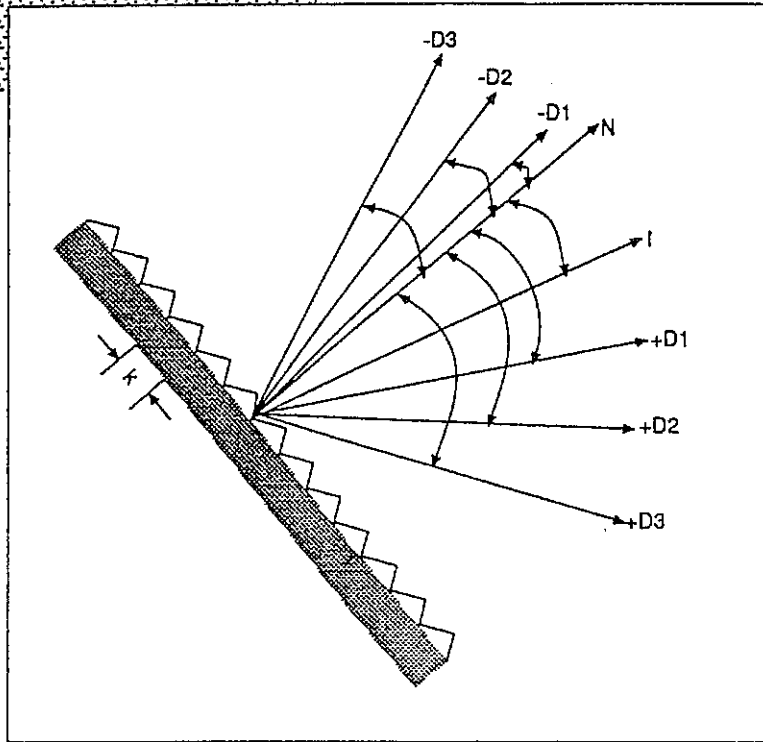


Beugungsgitter und ihr Einsatz in Spektrometern: Tips und Formeln



Autor
Wilfried Neumann
In den Ködern 41
6087 Büttelborn 3

Schutzgebühr: DM 20,-
inkl. Versandkosten

SOPRA GmbH
Schuberstrasse 9-11
6087 Büttelborn 1

SOPRA
Optische Spektroskopie

Beugungsgitter und ihr Einsatz in Spektrometern: Tips und Formeln.

Der Effekt der Beugung elektromagnetischer Wellen wird bei Gittern genutzt. An zwei eng beieinander liegenden Flächen wird das Licht gebeugt. Die Beugung ist eine Funktion linear mit der Wellenlänge und mit der Dichte der Beugungsflächen (Gitterfurchen). Bei einem Transmissionsgitter wird das Licht einmal, bei einem Reflexionsgitter zweimal gebeugt.

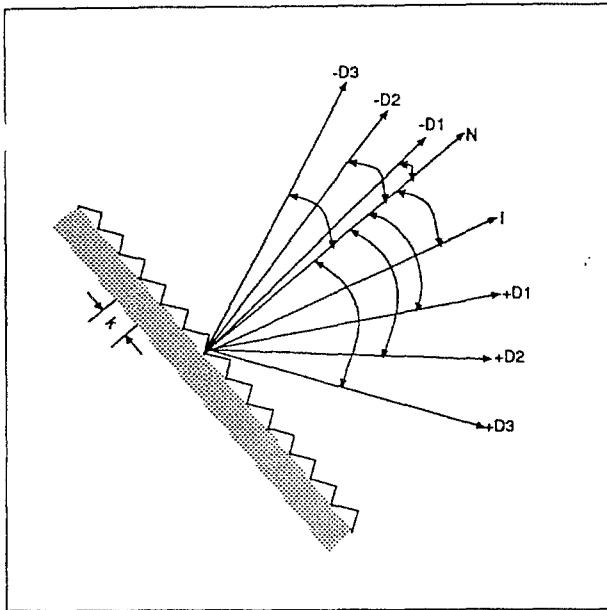
Bei einem Littrow-Aufbau, bei dem das Licht zum und vom Gitter auf der gleichen Achse (relativ zur Gitterfläche) verläuft, ist somit der Beleuchtungswinkel gleich dem Abstrahlwinkel.

Wird das Gitter gedreht, so tritt immer dann eine konstruktive Interferenz im vom Gitter abgehenden Licht ein, wenn

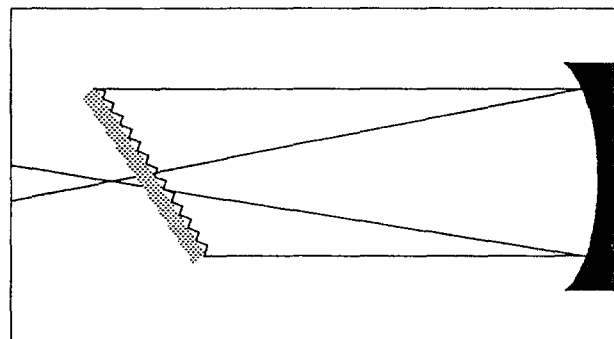
$$[1] \quad k (\sinus I \pm \sinus D) = m \times \lambda$$

wobei m die Ordnung ist, k die Gitterkonstante (der Abstand der Gitterlinien zueinander), λ die Wellenlänge, I der Eingangswinkel und D der Ausgangswinkel. [1] wird auch als „Allgemeine Gitterformel“ bezeichnet.

Es ist leicht möglich, daß die Gleichung für mehrere Ordnungen unterschiedlicher Wellenlängen bei gegebener Einstellung erfüllt ist. Beleuchtet man Gitter polychromatisch (breitbandig), dann ist dieser Umstand zu berücksichtigen. Ordnungsüberlagerung vermeidet man, indem man entweder Filter oder ein Prisma in den Strahlengang montiert oder den freien Spektralbereich so wählt, daß keine zwei Ordnungen zugleich vorhanden sein können.



Strahlverteilung am Gitter unter Reflexionsbetrieb. k ist der Furchenabstand, die Gitterkonstante. N ist die Gitternormale, rechtwinklig zum Substrat. I ist der Beleuchtungswinkel (Angle of Incidence) D sind die Dispersionswinkel
 $+D1, 2, 3$ ist die Dispersion in die positiven Ordnungen 1 bis 3
 $-D1, 2, 3$ ist die Dispersion in die negativen Ordnungen 1 - 3
 Positive Ordnungen liegen auf der gleichen Seite, bezogen auf die Gitternormale, wie der Eintritt I .
 Mit Rücksicht auf die Übersicht, wurden die Ordnungen nur mit einem Strahl dargestellt, wodurch die Überlappung innerhalb der Ordnungen nicht sichtbar wird.



Littrow-Spektrometer von oben betrachtet. Der Strahl tritt entweder mittig unter dem Gitter ein und mittig wieder über dem Gitter aus. Dort kann dann auch ein sehr großes Bildfeld realisiert werden. Oder das Gitter wird leicht gekippt und der Strahl nimmt für Eintritt und nach der Dispersion den gleichen Weg, das wäre der Original Littrow-Aufbau.

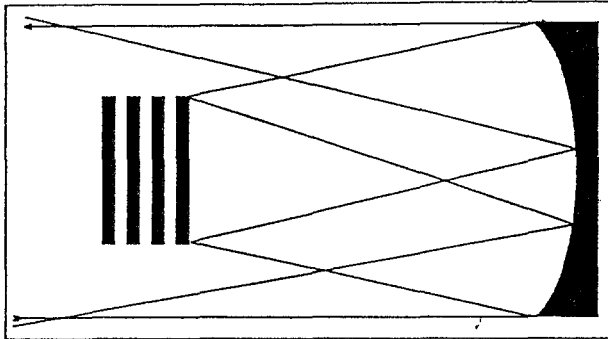
Bild 1 zeigt die für die Gitterkalkulation nötigen Kennwerte. Die Gitternormale liegt fast immer rechtwinklig zur Gitterfläche. Werden die Reflexionsbedingungen erfüllt, so wirkt ein Gitter wie ein Spiegel. Diesen Reflexionsbetrieb bezeichnet man als "Nullte-Ordnungs-Stellung". In dieser Betriebsart wird jedoch die Beugungsbedingung nicht erfüllt, das Licht wird nicht dispergiert, sondern nur reflektiert.

Die allgemeine Gitterformel reduziert sich bei einem Littrow-Aufbau nach Bild 2 zu:

$$[2] \quad k (2 \times \sinus I) = m \times \lambda$$

denn bei der Littrow-Konfiguration sind Eingangs- und Ausgangswinkel identisch.

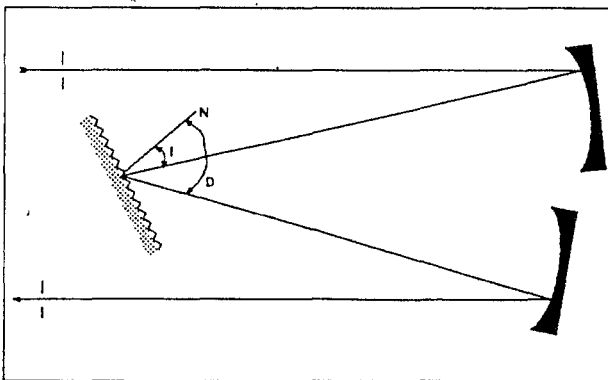
Heute ist der Littrow-Aufbau nur noch selten zu finden, denn das Licht durchläuft ein Littrow-Spektrometer entweder nicht „waagrecht“ sondern „schräg“ zur horizontalen Achse oder der Eingangs- und Ausgangsstrahl laufen auf dem selben Weg und müssen optisch entkoppelt werden. Heute sind Czerny-Turner- und Ebert-Aufbauten im ultravioletten (UV), im visuellen (VIS), sowie im infraroten (IR) Wellenlängenbereich am häufigsten vertreten.



Littrow-Aufbau, Seitenansicht

Das Meßlicht tritt unterhalb des Gitters ein, beleuchtet die untere Hälfte des Littrow-Spiegels und wird auf das Gitter kollimiert. Das dispergierte Licht beleuchtet den oberen Teil des Spiegels und verläßt das Spektrometer oberhalb des Gitters. Der Strahlengang kann umgekehrt werden. Ein Littrow ist voll symmetrisch. Eintrittswinkel I und Dispersionswinkel D sind gleich.

Bei Einsatz eines Gitters ist zu beachten, daß die Angaben der Gitter-Hersteller praktisch immer auf dem Littrow-Aufbau basieren. Czerny-Turner- (CT) und Ebert-Aufbauten weisen jedoch Unterschiede dazu auf.



Czerny-Turner Aufbau, Ansicht von oben.

I kennzeichnet den Eintrittswinkel und D den Austrittswinkel zur Gitternormalen. Bei den meisten Geräten ergibt sich Asymmetrie von I und D bezogen auf die Mittelachse.

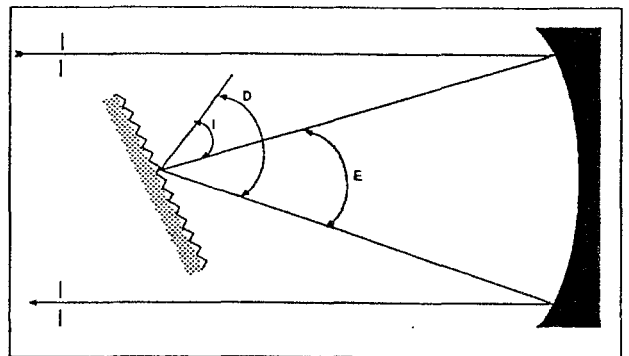
Weil bei einem CT-Gerät Einstrahl- und Abstrahlachse des Gitters nicht identisch sein müssen, gilt hier die Gleichung

$$[1] \quad k (\sin I \pm \cos D) = m \times \lambda$$

Dabei kann nun der Fall eintreten, daß I und D nicht auf der gleichen Seite des Gitternormals liegen. Ist dies der Fall, was bei Einstellung des Gitters auf höhere Ordnungen leicht möglich ist, so ergibt sich

$$[3] \quad k (\sin I - \sin D) = m \times \lambda$$

Für Ebert-Anordnungen (siehe Bild 4) gibt es eine weitere Berechnungsgrundlage.



Ebert-Spektrometer, von oben betrachtet.

Die Winkel bezeichnen:

I , den Eintrittswinkel zur Normalen

D , den Dispersionswinkel zur Normalen

E , den Öffnungswinkel (Ebert-Winkel)

Ebert-Geräte haben den Vorteil, daß nur ein Spiegel zur Kollimierung und Fokussierung des ein- und ausgehenden Lichtes genutzt wird, also immer Symmetrie herrscht, im Gegensatz zu CT-Geräten, wo jeder Spiegel unabhängig eingestellt sein kann. Die Korrekturgröße für die Öffnung der Winkel I und D ist beim Ebert somit identisch und wird als E eingeführt. So ergibt sich als Gitterformel für Ebert-Monochromatoren

$$[4] \quad k (2 \sin I \times \cos E) = m \times \lambda$$

wobei I sowohl Einstrahl- als auch Abstrahlwinkel zum Gitternormal ist und E der Öffnungswinkel von I und D zur Gitternormalen.

Dazu einige Beispiele:

Als gegeben nehmen wir an

$$m = 1;$$

$k = 0,833 \mu\text{m}$ (das entspricht 1200 Linien pro Millimeter);

dann ergeben sich bei einem Winkel von $I = D = 20$ Grad folgende Wellenlängen:

Für einen Littrow [2]: $\lambda = k (2 \times \sin I) / m$
 $\lambda = 0,833 \cdot 10^{-6} \text{ m } (2 \sin 20^\circ) / 1$
 $= 0,833 \times 10^{-6} \text{ m } (2 \times 0,342)$
 $= 569,78 \text{ nm.}$

Für einen Ebert mit einem Bestrahlungswinkel von 20° und einem Öffnungswinkel von 10° finden wir:
 $\lambda = 2 \times \sin 20^\circ \times \cos 10^\circ / 1$
 $= 0,833 \cdot 10^{-6} \text{ m } \times (2 \times 0,342) \times 0,9848$
 $= 561,11 \text{ nm.}$

Die eingestellte Wellenlänge ist etwas zum Blauen hin verschoben.

Für einen C-T finden wir unter gleichen Bedingungen:

$\lambda = k (\sin I + \sin D) / 1,$
 bei symmetrischer Justage des Aufbaus folgt daraus:
 $\lambda = 0,833 \cdot 10^{-6} \text{ m } (\sin 30^\circ + \sin 10^\circ) / 1$
 $= 0,833 \cdot 10^{-6} \text{ m } (0,5 + 0,1736)$
 $= 561,10 \text{ nm}$

somit minimal unterschiedlich zum Ebert. Ist der C-T jedoch (wie üblich) breiter gebaut als der Ebert, zum Beispiel mit einem Öffnungswinkel von 50° versehen, so wandert die Abstrahlung auf die andere Seite der Gitternormalen und wir finden für das gleiche Gitter:

$\lambda = k (\sin I - \sin D) / 1$
 $= 0,833 \cdot 10^{-6} \text{ m } (\sin 25^\circ - \sin 5^\circ)$
 $= 0,833 \times 10^{-6} \text{ m } (0,4226 - 0,0872)$
 $= 279,38 \text{ nm.}$

Betrachten wir den Fall eines asymmetrischen C-T, der zwar 20° Öffnung hat, dessen Asymmetrie jedoch 10° beträgt, so ergibt sich:

$\lambda = k (\sin I + \sin D) / 1$
 $= (1/1200) \cdot 10^{-6} \text{ m } (\sin 25^\circ + \sin 15^\circ)$
 $= 0,833 \cdot 10^{-6} \text{ m } (0,4226 + 0,2588)$
 $= 567,60 \text{ nm.}$

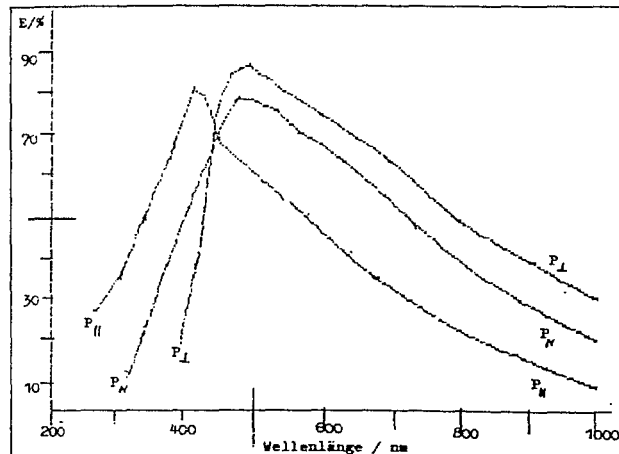
Bitte beachten Sie also bei Gitterkalkulationen und der Kalkulation des Blaze-Verhaltens Ihres Gitters die Bauart und Geometrie Ihres Gerätes.

Das Blaze-Verhalten eines Gitters

Leider hat sich der Begriff „Blazewellenlänge“ so eingebürgert, daß er auch in dieser Abhandlung mehrfach auftaucht. Dennoch ist er irreführend. Blaze (zu deutsch „maximale Helligkeit“) hat ein Gitter, wenn es so betrieben wird, daß die maximale Effizienz eintritt. Dies ist ein bestimmter Betriebswinkel. Deshalb ist der richtige Ausdruck „Blazewinkel“. Der Blazewinkel ist meist identisch mit dem Winkel der aktiven Dachschräge der Gitterlinien zur Gitternormalen. Der Blazewinkel ergibt sich also aus der Form und dem Anstellwinkel der Furchen. Je präziser dabei die Dreiecksform erreicht wird, desto schärfer ausgeprägt ist das Blaze-Verhalten eines Gitters.

Man kann üblicherweise davon ausgehen, daß mechanisch geritzte Gitter unter Blazebedingung eine

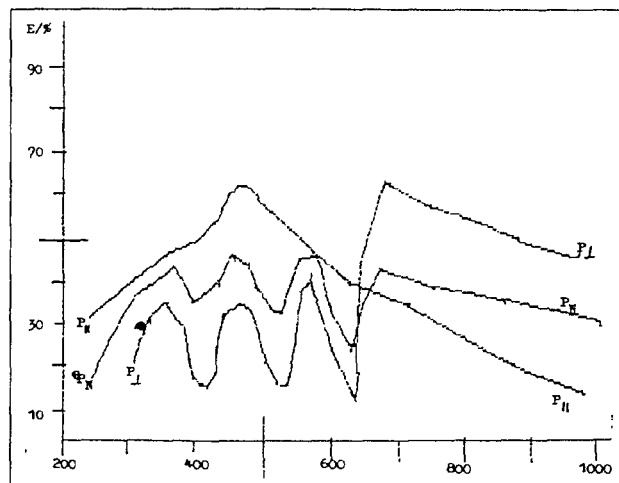
Effizienz von $> 60\%$ in die positive 1. Ordnung haben. Liegen höhere Ordnungen niedrigerer Wellenlängen unter Blazebedingung vor, so haben sie etwa gleiche Effizienz! Bei der Effizienzangabe ist die Relation zum Reflexionsgrad der Oberfläche gemeint.



Blazeverhalten eines Ritzgitters.

Dargestellt ist ein Gitter, dessen Blazewinkel so eingestellt ist, daß bei 500 nm ein Optimum erreicht wird. Man erkennt das asymmetrische Verhalten über die Wellenlänge. Bitte beachten Sie auch das Polarisationsverhalten, welches typisch für alle Gitter ist.

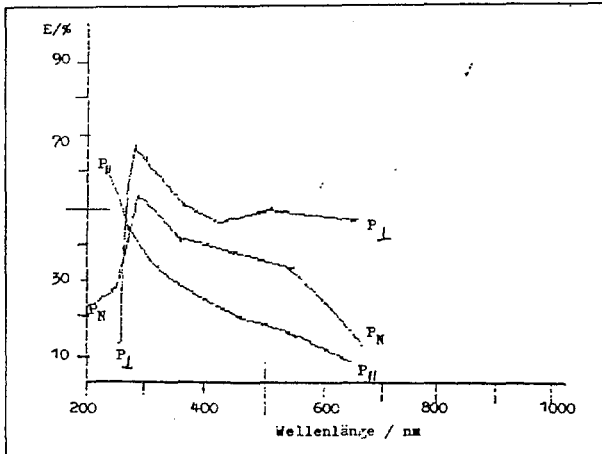
Ein aluminiumbeschichtetes Gitter mit 90% Reflexion und 70% Effizienz hat somit im Bereich 250 bis 900 nm etwa $0,9 \times 0,7 = 63\%$ Durchsatz. Holografisch gefertigte Gitter unterscheiden sich im Blazeverhalten deutlich von Ritzgittern.



Typisches Verhalten eines holografisch gefertigten Gitters ohne Nachbearbeitung.

Das Gitter hat einen breiten Einsatzbereich. In der Nähe von $\lambda=k$ kommt es zu starken Interferenzerscheinungen.

Die Herstellung eines Hologitters mittels Laserinterferenz erzeugt Sinuswellen. Diese Sinuswellen dispergieren das Licht gleichförmig in die 1. positive und negative Ordnung zu $1/e$ in der Summe. Das heißt, ca. 68% Effizienz (bezogen auf die Reflexion der Oberfläche) gehen in zwei Richtungen. Die Folge ist, daß etwa $0,9 \times 0,34$ oder 30% in die erste positive Ordnung gehen. In die beiden zweiten Ordnungen gehen wiederum $1/e$ des Restes und so fort. Die höheren Ordnungen eines Ritzgitters sind schwieriger zu berechnen als die eines Hologitters, sie werden jedoch immer deutlich schwächer repräsentiert. Es werden auch sogenannte „blazed“ Hologitter angeboten. Diese werden nach der Herstellung weiter bearbeitet und in Ihrem Verhalten einem Ritzgitter angenähert.



Verhalten eines holografisch gefertigten Blazegitters. Blaze wird in erster Ordnung bei 300 nm erreicht. Die Liniendichte des Gitters ist gering, hier 300/mm, deshalb ist der Einsatzbereich relativ eng, aber ohne Interferenzerscheinungen. Das Polarisationsverhalten ist stark ausgeprägt.

Sie finden im Abschnitt „Gitterherstellung“ nähere Angaben dazu. Die Maximierung eines Hologitters erreicht jedoch nicht die Effizienz eines sauber geritzten Gitters. Man kann Ritzgitter auch so herstellen, daß das Maximum der Effizienz nicht in der ersten, sondern in einer höheren Ordnung erreicht wird, einfach durch Optimieren des Blazewinkels.

Bitte benutzen Sie, um die Blazewellenlänge für ein gegebenes Gitter zu kalkulieren, die vorher gezeigten Formeln und setzen Sie den jeweiligen Blazewinkel ein.

Für die Blazewellenlänge eines Gitters in einem Littrowaufbau gelten immer die Angaben aus den Gittertabellen nach

$$[5] \quad m \times \lambda = k (2 \sin I).$$

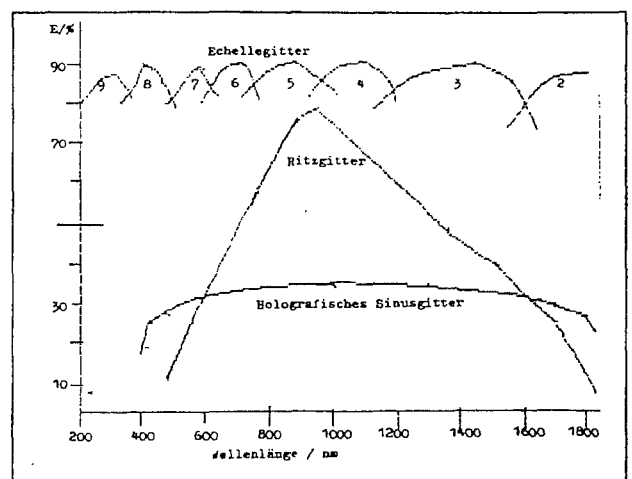
Man erkennt leicht, daß für Ebert-Geräte und C-T die aktuelle Blazewellenlänge für angegebene Blazewinkel als Funktion der Bestrahlungswinkel des jeweiligen Gerätes kleiner wird.

Beiderseits der so festgestellten Blazewellenlänge nimmt die Effizienz eines Gitters ab. Leider gibt es keine Formel, um diese Abnahme zu berechnen. Man kann jedoch folgende Schätzung ansetzen:

Ist das Gitter grob gefurcht (grob heißt $k > 2 \lambda$), so ist die jeweilige 50%-Marke (bezogen auf das Optimum) etwa erreicht bei $2/3 \lambda$ -Opt. und $3/2 \lambda$ -Opt. Ist das Gitter fein geritzt ($k < 0,5 \lambda$), dann wird der Einsatzbereich breiter, die 50%-Marke wird dann bei etwa $1/2 \lambda$ -Opt. und 2λ -Opt erreicht. Ein Gitter mit hoher Strichzahl hat somit einen breiteren Anwendungsbereich.

Holografisch erzeugte Gitter ohne Nachbearbeitung haben keinen scharfen Blazewinkel, somit kein scharfes Blazeverhalten, sondern einen optimalen Bereich. Dieser Bereich deckt sich etwa mit den beiden 50%-Marken eines Ritzgitters. Bitte bedenken Sie dabei, daß an den Einsatzgrenzen eines nicht nachbearbeiteten Hologitters und eines Ritzgitters die Effizienz zwar etwa gleich ist, ein Ritzgitter im Maximum jedoch etwa doppelt hohe Effizienz hat.

Bei holografischen Gittertypen sollte man Einsatzbereiche vermeiden, bei denen $k = \lambda$ (z.B. ein Gitter mit 2000 l/mm um 500 nm) ist; denn im Bereich $0,9$ bis $1,1 k/\lambda$ findet man Interferenzerscheinungen. Die Intensitätskalibrierung des Systemes ist schwierig. Bitte lesen Sie dazu auch das Kapitel „Polarisationsverhalten“.



Drei typische Gitterkennlinien.

Oben ein Echellegitter mit Angabe der jeweiligen Ordnung. Darunter ein Ritzgitter in erster Ordnung, optimiert auf $1 \mu\text{m}$. Unten ein sinusodiales Hologitter (Kurve idealisiert) optimiert auf 600 bis 1800 nm. Alle Gitter haben 600 l/mm.

Die f - Zahl.

Die f-Zahl eines Spektrometers beschreibt den Wirkungsquerschnitt, also das Verhältnis von Fokallänge zur aktiven Gitterfläche. Die f-Zahl wird als „Lichtstärke“ bezeichnet und ist mit der Blende einer Kamera gleichzusetzen. Hier gibt es einige Rechenmethoden, die alle „richtig“ und alle „falsch“ sind.

Die am häufigsten verwendete Methode nimmt Höhe mal Breite der Linien (die aktive Fläche), zieht daraus die Wurzel und nimmt diesen Wert zur Berechnung. Die f-Zahl berechnet man dann über

[6] $f\text{-Zahl} = \text{Fokallänge} / \text{Gitterfläche}^{1/2}$.

Ein Beispiel:

Fokallänge = 500 mm
Gittergröße außen = 110 mm x 110 mm
aktive Fläche = 102 mm x 102 mm
daraus folgt $f/n = 500 \text{ mm} / 102 \text{ mm} = 4,9$.

Aber diese f-Zahl gilt für ein Gitter in Nullter Ordnung! Nehmen wir das gleiche Gitter mit 1200l/mm bei 560 nm, so steht es unter 20° zur Gitternormalen, wodurch sich die wirksame Gitterbreite ändert.

Sie ist dann:

[7] Wirksame Gitterbreite:

Breite X (cos Einstellwinkel zur Gitternormalen), hier:

$102 \text{ mm} \times \cos. 20^\circ = 102 \text{ mm} \times 0,966 = 98,5 \text{ mm}$.
Berechnen wir so unsere Gitterfläche, ergibt sich $f/n = 500 / 100,25 = 4,88$.

Das sind runde 2%. Kein großer Unterschied, aber die Tendenz wird deutlich. Der Hinweis sollte nur dazu dienen, Sie zu animieren, auf Grund der bekannten Daten die f-Zahl für den jeweiligen Betriebszustand selbst auszurechnen.

Die soweit benutzte Formel [6] gilt, wenn der Eingangsspalt des Spektrometers in Höhe, Breite und spektral uniform beleuchtet wird. Weiterhin ist vorausgesetzt, daß das Gitter komplett ausgeleuchtet wird. Die Physik der Optik lehrt uns nun, daß nur unter diesen Bedingungen die Beleuchtungsstärke von der Gittermitte zu den Rändern hin nicht abnimmt. Meist aber tragen die Ecken nur wenig zur Gesamtlichtstärke bei, wodurch sich eine andere Rechnung ergibt. Man nimmt dann den Innenkreis der aktiven Fläche. Denn, selbst wenn es gelingt, die Ecken mit auszuleuchten, nimmt der Gesamtdurchsatz nur wenig zu.

Nun gibt es leider auch Geräteanbieter, die sich an diese Spielregel nicht halten, sondern so tun, als würde ein Gitter auch dort reflektieren, wo es gar nicht vorhanden ist. Das geht so:

Man nimmt die größte Diagonale der aktiven Gitterfläche, oder sogar des Außenmaßes, und berechnet den Außenkreis.

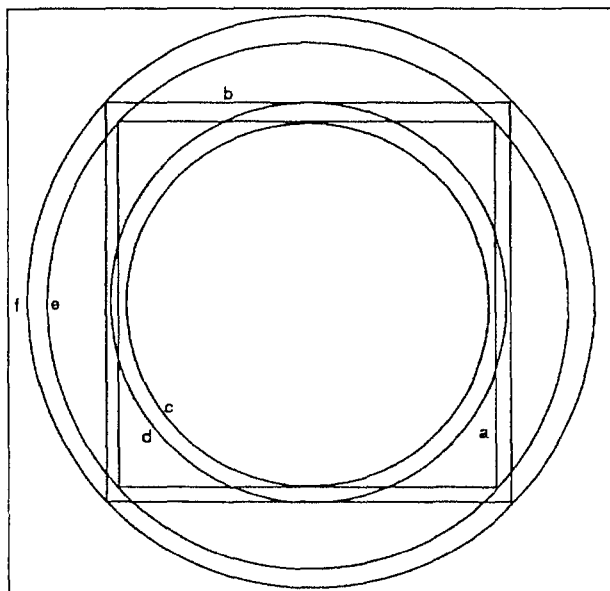
In unserem Beispiel unter der Bedingung der Nullten Ordnung ergäbe dies 144 mm (aktive Diagonale) oder 155 mm Außenkreis (statt 102 mm). Die so geschönte Rechnung präsentiert eine f-Zahl von

$f/n = 500 \text{ mm} / 144 \text{ mm} = 3,4$ (aktive Diagonale)
oder gar $f/n = 500 \text{ mm} / 155 \text{ mm} = 3,2$ (Außenkreis).

Wir haben eine scheinbare Wirkungs Zunahme von über 30%.

Sehen wir weiter: Weil die Lichtstärke (der Photonendurchsatz bei voller Ausleuchtung) quadratisch zur f-Zahl eingeht, wird Ihnen ein Gerät mit 2,25-facher Lichtstärke oder gar 2,89-facher vorgetäuscht, obwohl das gleiche Gerät beschrieben wird.

Ein anderer Fall entsteht, wenn eine Dimension des Gitters wesentlich größer ist als die andere. Zwei f-Zahlen sind dann richtig: Eine, die uniforme, kreisförmige Ausleuchtung beschreibt und durch die kleinere Seite bestimmt wird und eine, die für nicht-uniforme Ausleuchtung steht, z.B. durch Fokussierung mit Zylinderoptik. Für diese kann dann die größere Seite gelten.



Sechs Arten, die f-Zahl zu berechnen:

- a: Die aktive, uniform ausgeleuchtete Fläche.
- b: Wie a., jedoch bezogen auf das Außenmaß des Gitters.
- c: Der kleine Innenkreis, gilt für zentrisch beleuchtete Gitter.
- d: Wie c., aber auf Außenmaß bezogen.
- e: Die größte Innendiagonale
- f: Die größte Außendiagonale.

Die fairste Rechnung ist, wenn man nicht die exakten Betriebsbedingungen kennt, den Innenkreis bei einer mittleren Anwendungswellenlänge zu berechnen.

Somit wurde gezeigt, daß die Betriebs-f-Zahl von der Beleuchtung eines Gerätes abhängt und die f-Zahl nur bei ausgeleuchtetem Gitter gilt. Sehen Sie in diesem Zusammenhang unbedingt auch im Abschnitt „Auflösung“ nach.

Um die Effizienz eines vorhandenen Gerätes an das Experiment anzupassen, ist deshalb fast immer eine Abbildungsoptik nötig, die die Gesamtleistung des experimentellen Aufbaus entscheidend mitbestimmt. Auch hierzu soll ein möglicher Fall helfen:

Gitter mit 1200 l/mm; Meßwellenlänge 1200 nm; aktive Gittergröße 102 mm x 102 mm; Fokusslänge 500 mm; Ebert-Aufbau mit 10 Grad Öffnung; erste Ordnung. Nach [4] ergibt sich:

$$k (2 \sin l \times \cos E) = m \times \lambda \quad l = 61,33^\circ$$

Damit kommen wir zur aktiven Breite des Gitters, sie ist 102 mm x cos 61,33° = 49,5 mm.

Berücksichtigt man den Gitterwinkel bei der aktuell eingestellten Wellenlänge, so muß auch die Beleuchtung eines Spektrometers angepaßt werden. Tut man das nicht, verliert man an Intensität und erzeugt Streulicht.

Im angenommenen Fall muß der Eingangsspalt so beleuchtet werden, daß er die vertikale Ebene mit einer Öffnung von 8,6° und die horizontale Ebene unter 4,1° beleuchtet. Benutzt man die passenden optischen Teile, z.B. Zylinderlinsen, so bleibt die ursprüngliche f-Zahl (hier 4,9) weitgehend erhalten. Das Beispiel berechnet sich jetzt auf zwei Grundlagen: Es gibt eine horizontale und eine vertikale Öffnung. Die Vertikale bleibt konstant:

$$f/n(\text{vertikal}) = \tan h = 500 / 102 = 4,9$$

$$f/n(\text{horizontal}) = \tan b = 500 / 49,5 = 10,1$$

Es ist durchaus korrekt, die Arbeitsöffnung nur in einer Achse zu optimieren und auch zu berechnen (hier die Vertikale) um den effektiven Durchsatz zu berechnen; wenn die optische Abbildung den Gegebenheiten im Spektrometer angepaßt wurden!

Dies erklärt auch, warum man oft Gitter findet, die wesentlich breiter als hoch sind. Man kann dann

a: die Gitter auch noch unter hohen Einstellwinkeln betreiben (siehe auch „Echellegitter“);

b: gute Lichtstärken (kleine f-Zahlen) mit passender Eingangsoptik realisieren;

c: hohe Auflösung erreichen (siehe „Auflösung“).

Bedenken Sie bitte auch, daß bei großen Öffnungen nur ein kleiner Bereich der Schärfentiefe zur Verfügung steht.

Das Polarisationsverhalten von Gittern

Ist ein oft unterschätzter Parameter. Gitter sind aktive optische Bauelemente mit starkem Polarisationsverhalten. Holografisch gefertigte Gitter haben einen stärker ausgeprägten Polarisationsgang als geritzte.

Generell gilt, daß die senkrechte Polarisationssebene (das ist die Ebene, die nicht parallel zu den Gitterlinien verläuft) in der Nähe der Blazewellenlänge und zu höheren Wellenlängen hin dominiert. Etwa 10 bis 30% unterhalb der Blazewellenlänge schneiden sich die Effizienzkurven von senkrechter und paralleler Polarisationssebene. Zu kürzeren Wellenlängen hin dominiert dann die parallele Ebene, die parallel zu den Gitterlinien verläuft. Die Zahlenwerte unterscheiden sich stark von Typ zu Typ und Modell zu Modell. Hat man keine Meßkurven zu Hand, so kann man ganz grob annehmen:

Auf der Blazewellenlänge wird die senkrechte Ebene zwei- bis dreifach stärker reflektiert als die parallele; bei 2/3 der Blazewellenlänge wird die parallele Ebene etwa zwei- bis dreifach stärker reflektiert als die senkrechte; bei etwa 6/7 der Blazewellenlänge schneiden sich die Kurven; bei etwa zweifacher Blazewellenlänge ist die senkrechte Ebene etwa zweifach stärker als die parallele.

Wie gesagt, das sind sehr grobe Angaben, die zudem noch hauptsächlich auf geritzte Gitter zutreffen. Bei Hologittern ist der Effekt des Polarisationsverhalten noch deutlich stärker ausgeprägt und meist weniger kontinuierlich. Bei Hologittern kann es zu sehr abrupten Änderungen der Polarisationsfunktion kommen, je nach Strichzahl und Optimierung. Bitte sehen Sie dazu noch die Beispiele in den Bilder 5 a bis c.

Die Dispersion

Unter der Dispersion eines Gitters versteht man den Winkel, unter dem zwei benachbarte Wellenlängen das Gitter verlassen.

$$[8] \quad (dI / d\lambda) = m / (k \times \cos I),$$

wobei dI die Winkeldifferenz, dλ das Wellenlängenintervall, m die Ordnung, k die Gitterkonstante und I der Einstellwinkel des Gitters bezogen auf die Normale ist.

Nehmen wir auch hier wieder Beispiele:

Welches dI wird benötigt, um die Wellenlänge am Ausgang des Spektrometers um 1 nm zu verändern? Die erste Ordnung eines 1200-l/mm-Gitters wird genutzt, welches unter 20° (ca. 570 nm) steht.

Wir finden:

$$dI = (m \times d\lambda) / (k \times \cos I)$$

$$dI = (1 \times 10^{-9} \text{ m} \times 1) / (833 \times 10^{-9} \text{ m} \times 0,939692)$$

$$= 0,00127$$

$$d\lambda = 0,22^\circ$$

Drehen wir das gleiche Gitter auf 40° und lösen die Gleichung:

$$d\lambda = 1 / (833 \times \cos 40^\circ)$$

$$d\lambda = 0,24^\circ$$

Die Dispersion hat um etwa 10% zugenommen.

Es ist leicht zu erkennen, daß die Dispersion mit größerem Gitterwinkel zunimmt, linear mit dem Tangens l . Dieser Effekt wird bei Echellegittern genutzt, die bei extrem großen Betriebswinkeln „geblazed“ sind, typischerweise bei 60 bis 75° .

Die Auflösung eines Gitters

$$[12] \quad r = \lambda / d\lambda$$

beschreibt die Fähigkeit eines Gitters zwei gleich starke, nahe beieinander liegende, spektrale Informationen zu trennen.

$$[13] \quad r = ((n \times k (\sin l \pm \sin D)) / \lambda$$

beschreibt allgemein die Berechnung der Gitterauflösung, wobei:

n die Strichzahl;
 k der Strichabstand;
 l der Bestrahlungswinkel und
 D der Abstrahlwinkel
sind.

Nehmen wir $n \times k$ so finden wir, daß dies die aktive Breite eines Gitters ist. Setzen wir dies in unsere Formel [13] ein, so ergibt sich der überraschende Umstand, daß das Auflösungsvermögen eines Gitters nicht abhängt von der Strichzahl pro Millimeter, sondern von der Breite des Gitters, denn $n \times k = W$ und somit

$$[14] \quad r = (W (\sin l \pm \sin D)) / \lambda,$$

die mögliche Auflösung eines Gitters nicht von dessen Liniendichte/mm, sondern von der aktiven Breite des Gitters bestimmt wird.

Qualitativ hochstehende Produkte erreichen etwa 90% dieses jeweils theoretisch erreichbaren Wertes.

Nehmen wir auch wieder zwei Beispiele eines 600 l/mm-Gitters unter Littrow-Bedingung bei 600 nm:

$$r = (W (2 \sin 21^\circ) / 600 \text{ nm}$$

nun soll W einmal 10 mm, ein andermal 70 mm sein:

$$= (10 \text{ mm} (2 \times 0,3584)) / 600 \text{ nm}$$

$$= 11947;$$

bzw:

$$r = (70 \text{ mm} (2 \times 0,3584)) / 600 \text{ nm}$$

$$= 83627.$$

Wir erkennen, daß eine Auflösung von 50000 bei 600 nm (das sind 0,012 nm) von keinem Spektrometer der Welt erreicht wird, solange die Gittergröße nicht ausreicht, zumindest den theoretischen Wert annähernd zu erfüllen. Die besten kommerziell hergestellten Gitter sind wieder Echelle-Typen und erreichen Werte von über $r > 10^6$.

In einem realen Spektrometer werden nun leider die Systemparameter nicht nur vom Gitter, sondern auch von den Spiegeln, Spalten, dem gewählten Aufbau und der Justierung bestimmt. Im UV z.B. kann man die Spalte nur bis ca. 10 μm schließen, darunter tritt Spaltbeugung („Rayleigh Diffraction“) auf, die die Auflösung verschlechtert. Alles zusammen bedeutet für die Praxis: Wenn ein Spektrometer um 50% der theoretischen Auflösung schafft, hat man ein gutes Gerät.

Jedenfalls finden wir auch hier wieder gute Argumente für große Gitter, lange Brennweiten und Echelle-Ausführungen.

Der freie Spektralbereich

kennzeichnet den Bereich der Betriebsbedingung, in dem keine zwei Ordnungen zugleich vertreten sind:

$$[15] \quad \text{FSB} = \lambda_2 - \lambda_1$$

und wird berechnet über

$$[16] \quad m (\lambda_1 + \Delta\lambda) = (m + 1) \lambda_1,$$

woraus folgt

$$[17] \quad \text{FSB} = d\lambda = \lambda / m$$

der freie Spektralbereich (FSB) nimmt mit λ zu und mit m ab.

Ein Beispiel:

Erste Ordnung bei 500 nm ergibt

$$m (\lambda_1 + \Delta\lambda) = (m + 1) \lambda_1;$$

$$\Delta\lambda = 500 \text{ nm} = \text{FSB};$$

der FSB geht von 500 bis 1000 nm. Betrachten wir die gleiche Wellenlänge in vierter Ordnung, so gilt:

$$m/m + 1 = \lambda / (\lambda_1 + \Delta\lambda)$$

$$\Delta\lambda = 125 \text{ nm} = \text{FSB};$$

der freie Spektralbereich wird mit der Ordnungszahl kleiner.

Gittergeister und Falschlicht

Gittergeister sind Lichtsignale, die an Stellen erscheinen, die nicht der eingestellten Wellenlänge entsprechen. Sie rühren her von Unregelmäßigkeiten im Linienabstand (k), der Parallelität der Linien, dem Winkel der Linien und Variationen im Hub der Furchen.

Man findet Gittergeister in der Nähe der wahren Wellenlänge, aber auch bei ganzzahligen Vielfachen, wo sie sich wie Ordnungsfehler darstellen. Die Zahl aller Gittergeister sollte so gering wie möglich sein, ihre integrale Intensität sollte 0,1% des wahren Signales nicht übersteigen. Die Freiheit von Gittergeistern bei einem geritzten Gitter zeugt von einem präzise hergestellten Master-Gitter. Richtig hergestellte Hologitter haben ebenfalls keine Gittergeister.

Die Gefahr, die von Geistern ausgeht, ist je nach Anwendung verschieden. Hat ein Gitter viele Geister, die weit im Wellenlängenbereich verteilt sind, so können diese oft nicht von eigentlichem Streulicht unterschieden werden.

Als Streulicht bezeichnet man Lichtanteile, die vom Gitter ausgehen und nicht direkten Wellenlängen zugeordnet werden können. Streulicht entsteht an einem Gitter durch Unregelmäßigkeiten beim Ritzten, Grate in den Furchen, Zacken im Ritzverlauf u.ä.

Leider ist jedes Gitter eine Quelle von Streulicht, denn perfekte Gitter können nicht hergestellt werden. Hologitter erzeugen auf Grund Ihrer Produktionsweise weniger Streulicht als geritzte Replika, die ihrerseits im Mittel weniger Streulicht erzeugen als geritzte Master. Beachten sollte man, daß der Einfluß von Geistern und Streulicht bei einem schlecht ausgeleuchteten Gitter schnell zunimmt.

Den Streulichtpegel eines Gitters oder Spektrometers kann man auf viele Weise definieren. Lassen Sie sich nicht damit abspesen, daß man sagt: „Streulicht $< 10^{-3}$.“ Ohne Angabe der Wellenlänge, der Lichtart, der Strahlführung, der Hilfsfilter usw. sagt diese Spezifikation nämlich gar nichts aus. Denken Sie bitte auch daran, daß das Falschlicht etwa mit Wellenzahl hoch 2 bis 4 eingeht, man also bei 200 nm fünf- bis 25-faches Falschlicht hat, verglichen mit 1000 nm! Zum gesamten des Falschlichtanteiles im Meßergebnis tragen in starkem Maße auch Lichtquellen- und Detektorverlauf bei. Und: der Verlauf des Falschlichtanteiles (Geister + Streulicht) muß durchaus nicht kontinuierlich sein.

Mit zunehmender Fokusslänge des Spektrometers nimmt der Streulichteinfluß gleichermaßen ab, nämlich mit f^2 . Dadurch ergibt sich der Rückschluß, mit kürzerer Wellenlänge größere Fokusslängen zu wählen.

Die Herstellung von Gittern

Mechanisch geritzte Gitter werden fast immer nach dem Vater-Sohn-Prinzip hergestellt. Die Herstellung eines Originals (Master) geschieht durch Ritzten eines Diamanten in Glas, Quarz oder Metall. Der Rohling wird vorher so präzise als möglich planiert, wobei als Unregelmäßigkeiten 1/10 der späteren Arbeitswellenlänge unterschritten werden müssen. Dann wird der Rohling mit Aluminium, Gold oder einem ähnlich weichen Werkstoff beschichtet. Beim Ritzten spielt die Form und der Anstellwinkel des Diamanten eine große Rolle, denn sie legen das Blazeverhalten der späteren Produkte fest. Der Ritzvorgang selbst wird auf hochpräzisen, interferometrisch geregelten Maschinen durchgeführt, wobei die Maschinen mit Hilfe von Mikroskopen oder Elektronenmikroskopen eingestellt und kontrolliert werden. Ein Ritzprozeß kann sich über Wochen hinziehen und erst am Ende kann man den Erfolg meßtechnisch erfassen. Deshalb sind mechanisch geritzte Originalgitter sehr teuer.

Replika von Mastergittern entstehen, indem ein relativ weiches Harz auf ein Substrat aufgebracht wird. Dann wird das Ganze auf dem Original abgedrückt und anschließend ausgeheizt. Danach wird es mit einer Reflexionsschicht (Standard ist Aluminium) versehen. Weil Replika Spiegelbilder des Originals sind, muß vor dessen Herstellung festgelegt werden, ob es zur Reproduktion dienen oder direkt eingesetzt werden soll. Die spektroskopischen Daten von Replika sind normalerweise etwa gleich oder besser als die der Master, während die Master Stresssituationen (Druck, hohe Temperaturen, hohe Leistung durch Laser) besser aushalten.

Holografische Gitter sind, wenn es um Qualitätsprodukte geht, als Originale hergestellt. Dazu wird ein lichtempfindliches Harz auf einem Substrat (z.B. Pyrex) aufgebracht. Durch Laserinterferenz wird dann in einem parallelen Arbeitsgang die Linienstruktur belichtet. Je länger übrigens die Belichtungszeit, desto größer die Modulationsamplitude der Interferenz-Sinus-Wellen. Später wird die Schicht fixiert, mit einer reflektierenden Oberfläche versehen und fertig ist das Hologitter. Aus der Sinusstruktur der Linien ergibt sich im Zusammenhang mit der Modulationstiefe ein optimaler Arbeitsbereich, aber keine Blazewellenlänge. Will man ein Hologitter schärfer optimieren, so muß man aus der Sinusmodulation eine Dreiecksfunktion der Linien machen. Dazu wird das Gitter vor der Beschichtung in eine Ätzeinrichtung verbracht. Dann wird eine Seite der Sinusstruktur teilweise begradigt. Dieser Vorgang erreicht jedoch nicht die Furchenform eines Ritzgitters. Außerdem ist der Ätzprozeß in der Mitte des Gitters effizienter als an den Rändern. Kurz gesagt: Ein Ritzgitter ist praktisch immer geblazed, ein Hologitter niemals echt geblazed. Damit ist aufge-

zeigt, daß im Maximum eines Ritzgitters unter Blazebedingung eine höhere Effizienz zu erwarten ist, als mit einem vergleichbaren Hologitter.

Spezielle Gitter, z.B. Transmissionsgitter

unterscheiden sich von Reflexionsgittern wesentlich. Das Meßlicht muß das Substrat passieren, wodurch die Materialauswahl eingeschränkt wird. Weiterhin ist der Brechungsindex des Substrates von Einfluß auf das Dispersions- und Blazeverhalten des Gitters. Weil keine Reflexionsbedingung herrscht, erreicht man für ein Transmissionsgitter nur die halbe Dispersion eines Reflexionsgitters. Die Formel ist nun

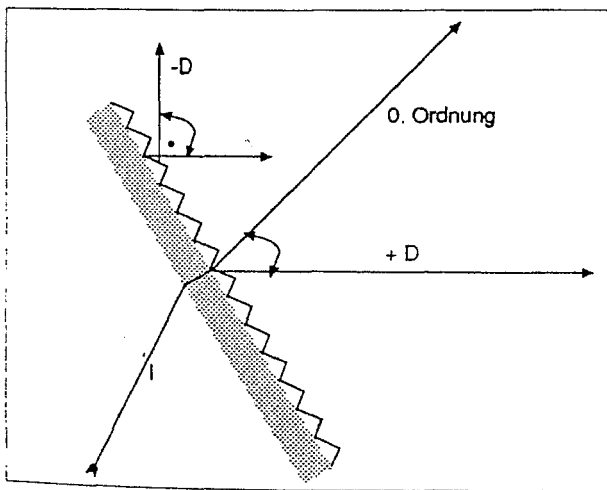
$$[18] \quad m \times \lambda = k \times \sin D.$$

Die Blazekondition ist komplizierter als bei Reflexionsgittern. Dort ist der Blazewinkel nahe dem Anstellwinkel der Furchen; hier ist der Blazewinkel eine Funktion aus der Brechzahl des Substrates, dem Einstrahlwinkel I des Lichtes und dem Anstellwinkel der Gitterfurchen. Solange I nahe 0° ist gilt:

$$[19] \quad \sin D = (m \times \lambda) / k$$

Deshalb sollten Transmissionsgitter möglichst so betrieben werden, daß die Einstrahlebene etwa senkrecht auf der Gitterfläche steht.

Ab ca. 30° Drehwinkel kann, je nach Werkstoff, die Brewster-Bedingung erfüllt sein, wodurch aus dem Transmissionsgitter ein Reflexionsspiegel wird.



*Transmissionsgitter.
Der Beleuchtungsstrahl passiert zuerst das Substrat und wird dort gebeugt. Die Dispersion ist die Hälfte eines Reflexionsgitters.*

Transmissionsgitter werden dünner als Reflexionsgitter hergestellt, um Substrateinflüsse gering zu halten. Fordern Sie bitte für Transmissionsgitter immer ein spezielles Angebot an, falls in der Liste kein exakt passendes ist.

Ein besonderes Transmissionsgitter kann das „Grism“ (siehe unten) sein.

Der Standardwerkstoff für Gittersubstrate ist Pyrex. Bei der Anwendung von Pyrex bei Transmissionsgittern, bedeutet dies, daß der Transmissionsbereich 280 bis 3200 nm ist. Für andere Bereiche werden abweichende Substrate benutzt. Transmissionsgitter können auch mit Antireflexionsschichten vergütet werden.

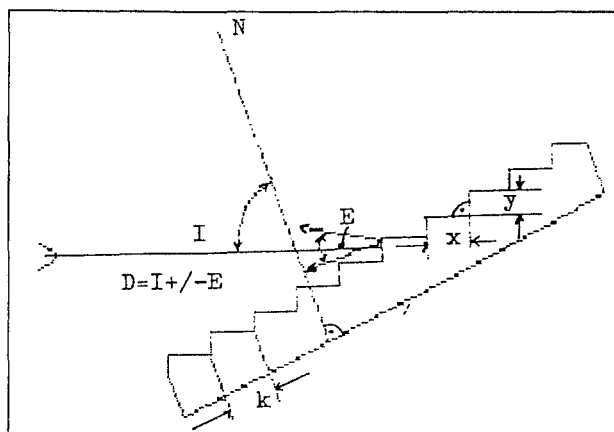
Konkavgitter

sind besonders schwierig herzustellen. Häufig muß der Arbeitsgang der Masterherstellung segmentiert werden, um die Kohärenzbedingungen einzuhalten, die sich aus Ritzwinkel und Gitterradius über die Fläche ergeben. Bei Hologittern ist es auch nicht einfach, denn die Krümmung setzt hier spezielle Abbildungen voraus.

Das Substrat eines Konkavgitters sollte möglichst rund sein, weil dies die Herstellung erleichtert. Dennoch kann eine Orientierung markiert sein, z.B. durch Abflachen einer Stelle. Beachten Sie bitte, daß bei Konkavgittern die aktive Fläche üblicherweise deutlich kleiner ist als die eines gleich großen Plangitters.

Echellgitter

Wenn wir uns die Kapitel „Auflösung“ und „Dispersion“ in Erinnerung rufen, so wissen wir, daß die Auflösung mit steigender Gitterbreite zunimmt, während die Dispersion mit dem Anstellwinkel zunimmt.



*Echellgitter.
Beleuchtet werden die kurzen Fanken. Die Flanken sind rechtwinklig zueinander angeordnet. Der Betriebswinkel ist groß.*

Beim Echellegitter sind beide Parameter berücksichtigt. Ein Echellegitter wird sozusagen invertiert betrieben. Will sagen, die Reflexion kommt nicht von den längeren Flanken der Furchen sondern den kurzen; dadurch ergibt sich ein hoher Anstellwinkel für Blazekondition. Weil zugleich die Auflösung eines Gitters nicht Folge einer hohen Strichdichte ist, sondern der Gitterbreite, werden Echelles nur mit kleinen Strichdichten von bis zu ca. 600 l/mm hergestellt. Echelles arbeiten nur vernünftig in entsprechend konstruierten Spektrometern, denn der Strahlengang muß symmetrisch und so schlank als möglich sein. Weiterhin werden Echellegitter so geritzt, daß der nicht am Blaze beteiligte Winkel möglichst 90° ist. Erreicht man dies, dann ist unter Blaze die aktive, nicht abgeschattete Gitterfläche 100%, wodurch die Effizienz von über 70% erreicht wird. Weitere Vorteile der Echelles: besonders saubere Kanten, wenig Streulicht; und durch die relativ geringe Liniendichte kaum Geister.

Unter Littrow-Bedingung gilt als Echelleformel:

$$[20] \quad m \times \lambda = 2 \times k \times \sin I$$

für Ebertgeräte gilt:

$$[21] \quad m \times \lambda = 2 (k \times (\sinus I) \times (\cos E))$$

Der freie Spektralbereich in der jeweiligen Ordnung ist:

$$[22] \quad \text{FSB} = \lambda / m.$$

Die Auflösung des Echelle-Spektrometers:

$$[23] \quad (\lambda / d \lambda) = (2 \times k \times n / \lambda).$$

Mit Echellegittern erreichen Sie die größten Auflösungen. Mit dieser Gitterart arbeitet man immer in der Nähe des Blazewinkels, der üblicherweise zwischen 60 bis 80° liegt.

Man erreicht Effizienzen von bis zu 90% über den ganzen Einsatzbereich (z.B. 200 nm bis 5400 nm). Allerdings muß man eventuell die Ordnungen sortieren. Echellegitter der Breite 220 mm und mehr erreichen bei Wellenlängen um 500 nm und weniger Auflösungen von über 10⁶. Sie liegen damit zwischen „normalen“ Gittern und Etalons, ohne die jeweiligen Nachteile zu haben.

Anwendungsorientierte Gitter

Astronomie: Für astronomische Anwendungen werden oft besonders große Gitter benötigt, die außerdem noch spezielle Anforderungen in der

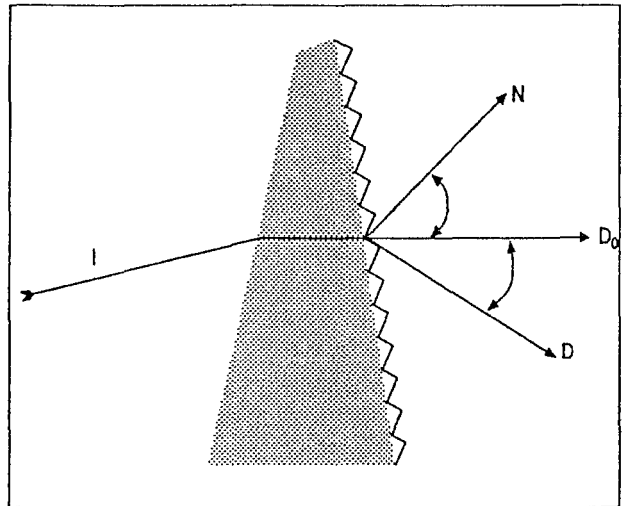
Oberflächengüte erfüllen müssen.

Laser: Gitter zum Abgleich von Lasern werden oft nach Ihrer Widerstandskraft gegen hohe Leistung und ihrem Temperaturverhalten beurteilt. Dazu werden spezielle Materialien verwandt. Z.B. können Gitter für Hochleistungs-CO₂-Laser direkt als Master in Kupfer oder Stahl geritzt werden. Diese Gitter verkraften dann mehrere Kilowatt.

OEM-Anwender entscheiden oft nach genauer Definition ihrer Anforderungen, Größe und Preis. So ist es z.B. möglich, viele kleine Gitter aus einem großen zu sägen, wodurch hohe Gleichmäßigkeit und günstiger Stückpreis resultieren. Außerdem sind Gitterhersteller gerne bereit, auf spezielle Anforderungen hin genaue Angebote zu erstellen.

Gitter-Prismen („GRISM“ von GRating prISM) sind eine Spezies die aus einem Gitter auf einem Prisma besteht. Nun gibt es mehrere Variationen:

a: In einem Reflexionsaufbau soll das Prisma die Dispersion erhöhen. Dann „liegt“ das Gitter auf dem Prisma, das Ganze wird zweimal durchlaufen, die Ordnungsprobleme werden reduziert, aber der Aufbau wird schwer kontrollierbar, denn man hat es mit diversen Parametern zu tun: Gitterdispersion und Prismenwinkel sowie die Brechungsindizes Luft-Gitter-Prisma-Spiegel-Prisma-Gitter-Luft.



Das Grism.

Die Kombination aus Gitter und Prisma. Es kann in Transmission und Reflexion betrieben werden.

b: Es gibt eine sehr erfolgreiche Anwendung des Grisms:

Wie wir weiter oben sahen, ist der Einsatz eines Transmissionsgitters durch die Adaption der Bre-

chungsindizes eingeeengt. Genau hier gibt es eine gute Möglichkeit, ein Grism einzusetzen. Baut man das Ganze als Transmissionselement, so kann man mit dem vorgeschalteten Prisma den Brechzahlverlauf beeinflussen und beispielsweise dafür sorgen, daß die erste dispergierte Ordnung in der optischen Achse eines Aufbaues liegt.

Strahlteiler: Wenn ein Laserstrahl in zwei gleich starke Hälften aufgeteilt werden soll, so muß das Gitter
a: das Licht bei der gewünschten Wellenlänge gleichmäßig in zwei Richtungen aufteilen;
b: muß die benötigte geometrische Dimension erreicht werden.

Dazu gibt es zwei Möglichkeiten. Man kann ein holografisches Standardgitter nehmen, welches von Haus aus eine gleiche Verteilung in die positiven und negativen Ordnungen hat, dessen Effizienz jedoch begrenzt ist. Die Alternative ist ein spezielles, geritztes Gitter, welches entweder eine symmetrische Dreieckfunktion, oder eine Trapezfunktion in seinen Gitterfurchen hat.

Kalibriergitter,

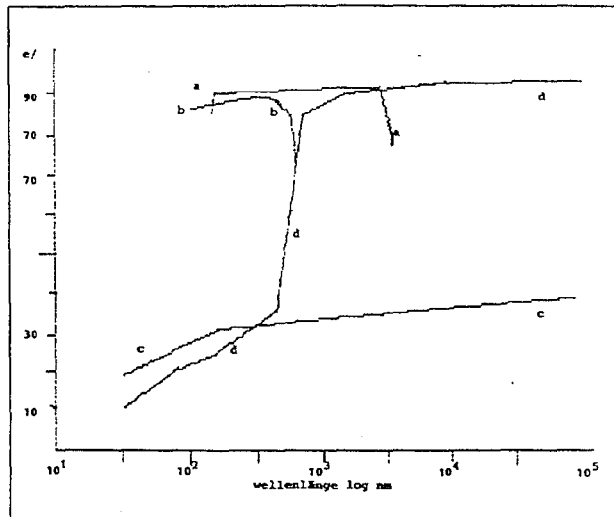
um z.B. Elektronenmikroskope zu kalibrieren. Ideal sind dazu Gitter, die in beiden Achsen über eine gegebenen Fläche sowohl in X-, wie in Y-Richtung und im Idealfall auch noch in der Modulationstiefe genau bekannt sind. Mit Rastermikroskopen kann dann die Struktur aufgenommen werden und das Mikroskop kalibriert werden. Diese Gitter müssen in jedem Fall eine elektrisch leitende Oberfläche haben.

Die Vergütung von Gittern.

Reflexionsgitter sind normalerweise mit einer Aluminiumoberfläche versehen. Aluminium hat den weitesten spektralen Reflexionsbereich aller in Frage kommenden Materialien. Der optimale Bereich für Al ist etwa 180 bis 3000 nm und hat dort im Mittel 90% Reflexion. Unterhalb 180 nm bietet sich eine Kombination aus Al mit MgF₂ an. Die Beschichtung muß in einem Arbeitsgang vorgenommen werden, denn das Aluminium darf nicht oxidieren. Die erwähnte Vergütung ist gut bis etwa 110 nm (um 80%). Will man noch tiefer in der Wellenlängenskala, so bieten sich an: Platin bis zu etwa 30 nm mit etwa 20% Reflexion, die bei 200 nm bis auf etwa 25% steigt. Gold kann ebenfalls ab ca. 30 nm mit 10% eingesetzt werden, es steigt dann auf über ca 20% bei 200 nm und auf ca. 80% bei 900 nm. Seine echte Stärke liegt jedoch im IR oberhalb etwa 900 nm, wo die Reflexion des Aluminium im Mittel überschritten wird.

Bei der Vergütung mit Gold ergibt sich noch ein Vorteil: Man kann es eventuell reinigen und es ist wenig oxidationsanfällig.

Ergänzend gibt es für enge Spektralbereiche noch Spezialvergütungen, die multidielctrisch sein können und für enge Bereiche, z.B. 400 bis 700 nm über 96% Effizienz erzielen.



Verschiedene Vergütungen für Gitter und Spiegel.

- a. Aluminium
- b. Magnesium-Fluorid
- c. Platin
- d. Gold

Die Behandlung von Gittern:

Gitter sind optische Präzisionselemente. Man soll sie deshalb nur mit frischgewaschenen Baumwollhandschuhen anfassen. Staub kann von der Oberfläche eventuell mit Preßluft abgeblasen werden. Diese MUSS jedoch ölfrei sein. Mit Abblasen mittels Atemluft sollte man sehr vorichtig sein, denn Speichel ist sehr aggressiv.

Ist dennoch eine Reinigung nötig (z.B. der berühmte Fingerabdruck), so kann man mit Reinigungsflüssigkeiten wie Xylol oder Tuluven oder Alkohol und reichlichem Nachspülen mit destilliertem Wasser gute Resultate erzielen. In jedem Fall ist der Reinheitsgrad „PA“ erforderlich. Und: Garantie gibt es keine. Manchmal ist eine Nachbearbeitung durch den Hersteller die letzte Chance.

Werden Gitter im Vakuum eingesetzt, so ist auf absolute Ölfreiheit zu achten. Öle setzen sich auf der Gitterfläche fest, wodurch das Gitter zerstört wird.

Bewahren Sie bitte Ihre Gitter immer (auch im Spektrometer) trocken auf. Dies gilt besonders für vergütete Gitter. Bei jeder Vergütung bildet sich bei hoher Luftfeuchtigkeit ein elektrochemisches Element, welches das Gitter zerfrißt. Es ist deshalb immer gut, trocken zu arbeiten. Ein Beutel Silicagel im Spektrometer ist billig, hält Monate und ist leicht zu wechseln!

Standardgitter vertragen Temperaturen um ca. -30 bis +70° Celsius. Spezialgitter diverser Materialeien gibt es auf Anfrage. Kupfergitter z.B. vertragen über 250° Celsius, Gold von -170 bis zu +200° Celcius.

Einige Fragen?

Bevor Sie Ihr Gitter oder Spektrometer bestellen, sollten folgende Fragen geklärt sein.

Bitte überlegen oder fragen Sie:

1. Spektralbereich, der überhaupt in Frage kommt
2. Dispersion
3. Auflösung
4. Freier Spektralbereich
5. anzuschließender Detektor
6. Öffnungsverhältnis (f/Zahl)
7. Blase oder Bereich im dem bevorzugt gemessen werden soll
8. Außenmaße
9. Temperaturbereich
10. geritzt oder holografisch
11. Plangitter oder Konkavgitter

Weitere Literaturstellen:

1. "The Design of Optical Spectrometers" J.-F. James and R.S. Sternberg, Chapman and Hall Ltd., London
2. "The Spectroscope", K.I. Tarasov, The Institute of Physics, Techno House, Redcliffe Way, Bristol, BS1 6NX, GB
3. "Diffraction Grating Handbook" Firmenschrift der Milton Roy Company, 820, Linden Ave., Rochester NY 14625, USA
4. "The Optics of Spectroscopy", Firmenschrift der Jobin-Yvon, Division of ISA, 16-18, Rue de Canal, F-91163 Longjumeau, Frankreich

Diese Schrift unterliegt dem Urheberrecht. Jede Kopie oder Weiterverbreitung bedarf der schriftlichen Genehmigung des Autors.

Genehmigung erteilt!