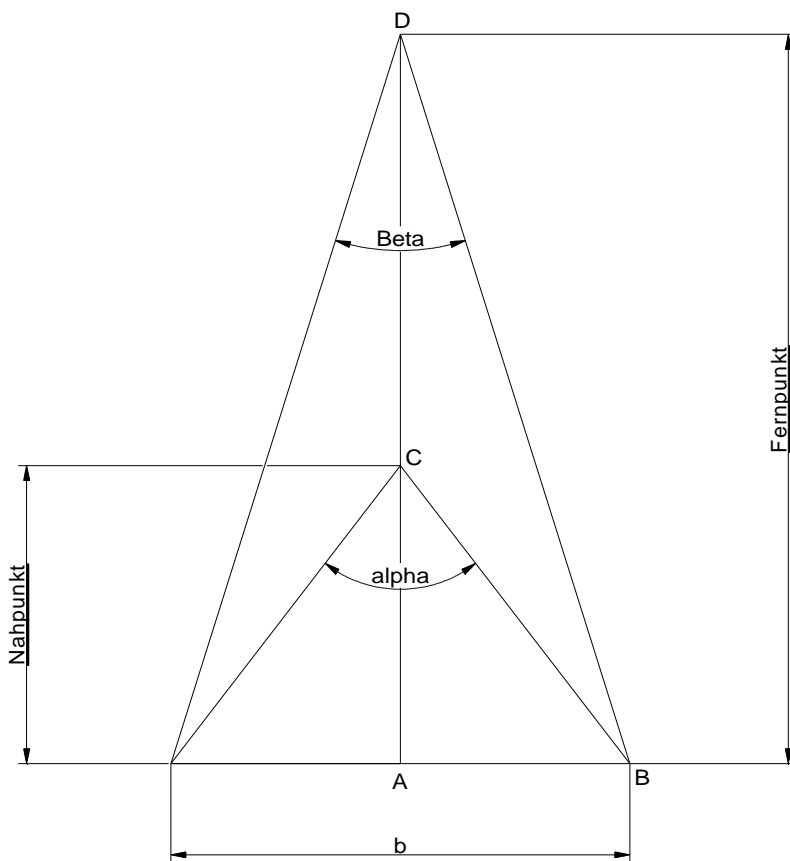


## Zur Berechnung stereoskopischer Aufnahmebedingungen

Die Erfahrung beim Sehen lehrt, dass die Parallaxe in einer Stereoaufnahme nicht beliebig groß sein darf, wenn die gesamte Tiefe der Aufnahme einwandfrei übersehen werden soll. Nach Untersuchungen des bekannten Stereoskopikers Dr. Lüscher ist eine störungsfreie, ruhige Bildbetrachtung und ein geschlossener Raumeindruck nur dann zu erzielen, wenn der Winkel des Konvergenzspielraumes bei konstanter Akkomodation als Maß der Parallaxe 70 Bogenminuten nicht übersteigt. Die 70'-Bedingung wurde aus dieser Erfahrung abgeleitet und als Grenzbedingung aufgestellt. Obwohl sich in der Folge gezeigt hat, dass diese Festlegung nicht in jedem Fall streng eingehalten werden muß, so sollte sie auch nicht ohne Bedenken überschritten werden. Diese Stereobedingung kann auch folgendermaßen beschrieben werden: Von dem nächsten Punkt des aufzunehmenden Objektes aus gesehen erscheine die Aufnahmebasis  $b$  unter dem Winkel  $\alpha$ , von dem entferntesten Punkt aus unter dem Winkel  $\beta$ ; Dann soll nach Lüscher  $\alpha - \beta = 1.16^\circ$  (70 Bogenminuten) sein.



$a_N$  : ist die Nahpunktentfernung , entspricht der Strecke AC

$a_F$  : ist die Fernpunktentfernung, entspricht der Strecke AD

$b$ : stereoskopische Aufnahmebasis

### Berechnung der Basis $b$ bei gegebener Nahpunkt- und Fernpunktdistanz

Im Dreieck ABC gilt:  $\tan(\angle BCA) = \frac{\overline{AB}}{\overline{AC}} = \frac{b}{2 \cdot a_N}$  (1)

Im Dreieck ABD gilt:  $\tan(\angle BDA) = \frac{\overline{AB}}{\overline{AD}} = \frac{b}{2 \cdot a_F}$  (2)

Die 70 Bogenminutenbedingung lautet dann:

$$a - b = 1.16^\circ \quad \text{bzw.} \quad \frac{a}{2} - \frac{b}{2} = \frac{1.16^\circ}{2} = 0.58^\circ \quad \text{wobei} \quad \frac{a}{2} = \mathbf{SBCA} \quad \text{und} \quad \frac{b}{2} = \mathbf{SBDA}$$

damit ergibt sich als Bestimmungsgleichung für b:

$$\arctan\left(\frac{b}{2 \cdot a_N}\right) - \arctan\left(\frac{b}{2 \cdot a_F}\right) = 0.58^\circ \quad (3)$$

Durch mehrfaches Umformen der Gleichung, insbesondere der Auflösung des arctan, ergibt sich eine quadratische Gleichung für b. Von den beiden Lösungen ist nur die folgende zu verwenden:

$$b = z_1 \cdot (a_F - a_N) - \sqrt{z_2 \cdot (a_F - a_N)^2 - 4 \cdot a_N \cdot a_F} \quad (4)$$

$$\text{darin sind:} \quad z_1 = 98.2179 \quad \text{und} \quad z_2 = 9646.7642$$

Mit Hilfe der Gleichung 4 kann nun unter Verwendung der 70 Bogenminutenbedingung zu jeder Nah- und Fernpunktdistanz die zugehörige Aufnahmebasis berechnet werden.

$$\text{Beispiel 1:} \quad a_N = 3.0m \quad a_F = 100m \quad (\text{unendlich}) \\ b = 63 \text{ mm}$$

$$\text{Beispiel 2:} \quad a_N = 0.50m \quad a_F = 0.80m \quad \text{Nahbereich} \\ b = 27 \text{ mm}$$

$$\text{Beispiel 3:} \quad a_N = 18.0m \quad a_F = 500.0m \quad \text{Fernaufnahme Großbasis} \\ b = 380 \text{ mm}$$

Probe des Ergebnisses zu Beispiel 1:

Nach Gleichung 3 gilt:

$$\arctan\left(\frac{b}{2 \cdot a_N}\right) - \arctan\left(\frac{b}{2 \cdot a_F}\right) = 0.58^\circ \\ \arctan\left(\frac{63}{2 \cdot 3000}\right) - \arctan\left(\frac{63}{2 \cdot 100000}\right) \rightarrow ? \\ \arctan(0.0105) - \arctan(0.000315) \rightarrow ? \\ 0.60158^\circ - 0.01805^\circ = 0.58353^\circ$$

Das ist, da wir hier mit den halben Winkeln gerechnet haben, die Hälfte von 70 Bogenminuten. Die Bedingung ist also bei dieser Basis erfüllt.

Vergleich mit den Ergebnissen, die mit der sogn. Bercovitz-Formel berechnet werden:

$$b = \frac{MAOFD}{f} \cdot \frac{a_N \cdot a_F}{a_F - a_N} \quad (5)$$

darin ist f die Kamerabrennweite und MAOFD die maximal akzeptable Verschiebung auf dem (35mm) Film (meist festgelegt zwischen 1.2 mm und 1.5 mm). In der Formel 4 spielt die Brennweite der Kamera überhaupt keine Rolle. Bei Aufnahmen, die mit unterschiedlichen Brennweiten gemacht werden, sind die Blickwinkel bei entsprechender Betrachtung der

Stereoskopbilder gleich und die Betrachtung erfolgt ohne Augenanstrengung. Natürlich nimmt mit wachsender Aufnahmebrennweite die Verschiebung zusammengehörender Bildpunkte in den Negativen zu. Die maximal zulässige Verschiebung ist bei Kleinbildfilm mit 1.2 mm bis 1.5 mm erreicht.(s.o.). Dann besitzen die zusammengehörigen Bildpunkte einen Abstand von 62 mm – das ist der genormte Abstand der Bildfenster in den Stereodiarahmen.

Konstruiertes Beispiel:

Für  $a_N = 3.0m$  und  $a_F = 87.0m$  (unendlich) ergibt sich nach Formel 4 eine Basis

$b = 63.2 \text{ mm} = 62 \text{ mm} + 1.2 \text{ mm}$ .

Die Formel für die Berechnung der Brennweite ist:

$$f = \frac{2 \cdot d \cdot a_N \cdot a_F}{d \cdot (a_N + a_F) + 2 \cdot b \cdot (a_F - a_N)} \quad (6)$$

$$f = \frac{2 \cdot 1.2 \cdot 3000 \cdot 87000}{1.2 \cdot (3000 + 87000) + 2 \cdot 63.2 \cdot (87000 - 3000)}$$

$$f = 58.4 \text{ mm}$$

Für die Einhaltung der 70 Bogenminutenbedingung (Errechnung von b) und der zulässigen Verschiebung ( $d = 1.2\text{mm}$ ) zusammengehörender Bildpunkte sollte bei diesem Beispiel die Brennweite der Kamera nicht größer als 58mm sein . Im Hinblick auf die einfache Bercovitz-Formel sollte  $\frac{MAOFD}{f} = 0.02$  sein.

Mit der oben angegebenen Formel (4) lässt sich nun für jede erdenkliche Kombination von Nah- und Fernpunkt die Basis bestimmen. Die Frage ist aber, ob mit der vorgesehenen Kamera diese Aufnahme möglich ist.

Die Einstellentfernung:

Angenommen die Nahentfernung liegt nicht unterhalb der Einstellmöglichkeiten des Objektivs, so ist die Entfernung , auf die einzustellen ist:

$$e = \frac{2 \cdot a_N \cdot a_F}{a_N + a_F} \quad (7)$$

Für das Beispiel 1:  $e = \frac{2 \cdot 3.0 \cdot 100.0}{3.0 + 100.0} = \frac{600}{103} = 5.8$

Die Einstellentfernung beträgt 5,80m.

Die erforderliche Blende:

Es ist im Allgemeinen ein Erfordernis bei einem Stereobild, das der ganze dargestellte Bereich der Aufnahme (von  $a_N$  bis  $a_F$ ) bildscharf wird. Durch Abblenden lässt sich der Schärfebereich ausdehnen. Welche Blende ist aber erforderlich, dass der gesamte Tiefenbereich des Bildes scharf abgebildet wird. Das Bild soll dann als scharf gelten, wenn die Größe der Zerstreungskreise u nicht über einen festzulegenden Wert anwächst. Ein diesbezüglicher Wert ist zum Beispiel 1/1000 stel der Kamerabrennweite f :

$$u = f / 1000$$

Unter der Verwendung der aus (7) ermittelten Einstellentfernung ist die erforderliche Blende:

$$v = \frac{f^2 \cdot (e - a_N)}{u \cdot a_N \cdot (e - f)} \quad (8)$$

Mit dieser Blende ist die Unschärfe an den Grenzen (der Nah- und Fernpunktdistanz) höchstens von der Größe  $u$  und innerhalb der Grenzen kleiner.

Für das Beispiel 1:  $a_N = 3 \text{ m}$

$$a_F = 100 \text{ m}$$

$$e = 5.8 \text{ m}$$

$$f = 37.5 \text{ mm}$$

$$u = 0.0375 \text{ mm}$$

alles in der Einheit mm eingesetzt:

$$v = \frac{37.5^2 \cdot (5800 - 3000)}{0.0375 \cdot 3000 \cdot (5800 - 35)} = 6.1$$

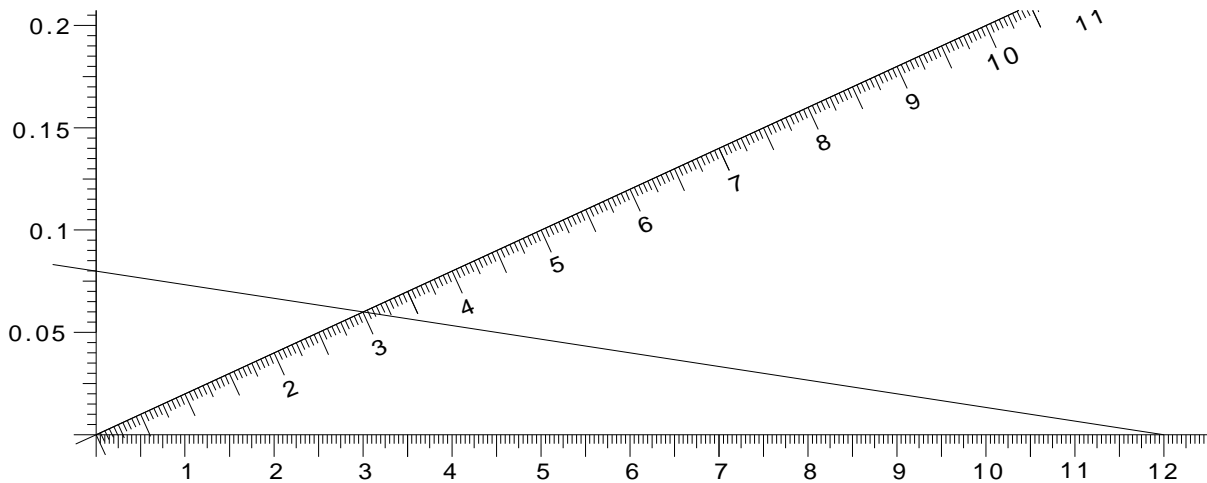
Durch Einstellen der Kamera mit Brennweite  $f = 37.5 \text{ mm}$  auf  $5.8 \text{ m}$  und Blende  $6.1$  wird die gesamte Tiefenzone von  $3 \text{ m}$  bis unendlich ( $100 \text{ m}$ ) im Bild scharf wiedergegeben.



Das Ergebnis entspricht auch im Wesentlichen der Einstellung der Belplasca ( $f = 37.5 \text{ mm}$ ) im oberen Bild als Beispiel für eine durchgeführte Berechnung der Schärfentiefenzonen. Die Schärfentiefenskala zeigt bei Einstellung auf  $6 \text{ m}$  Entfernung und etwa Blende  $6$  eine Schärfentiefe im Bereich  $3 \text{ m}$  bis unendlich an. (s.o) In diesem Sinne wäre es unökonomisch gewesen, die Kamera mit einem wesentlich lichtstärkeren Objektiv (z.B.  $f/2.8$ ) auszustatten.

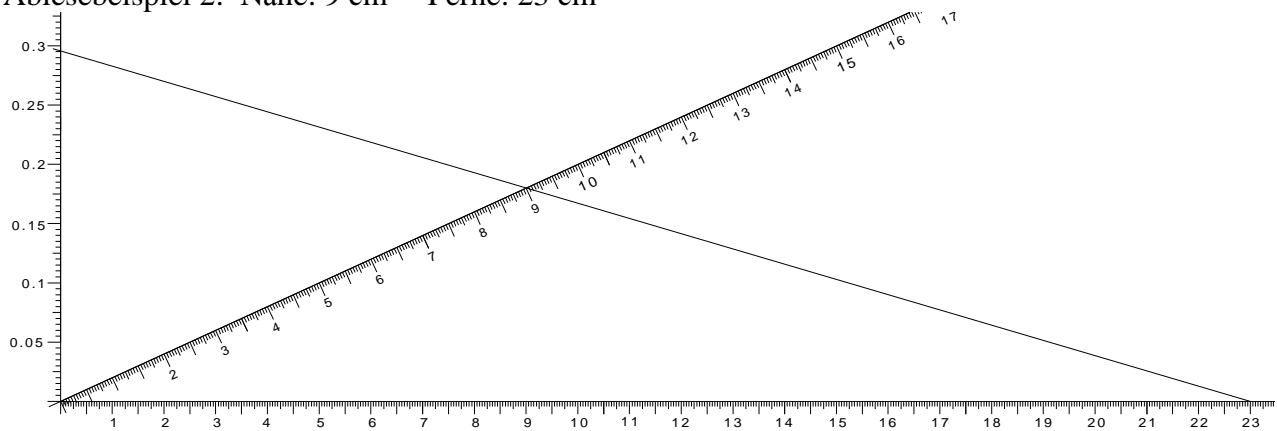
Für Diejenigen, die die Aufnahmebasis aus der festgelegten Nah- und Fernpunktdistanz nicht errechnen wollen, ist im Anschluss ein Nomogramm gezeichnet, bei dem man mit Hilfe eines Lineals aus beiden Werten die Basis durch Anlegen an die Zahlenstrahlen ermittelt. Die Skalen für Nah- und Fernpunktdistanz sind von  $0$  bis  $25$  beziffert. Die Basisskala geht von Null bis  $0.70$ . Damit kann man als Einheit  $\text{mm}$ ,  $\text{cm}$ ,  $\text{dm}$ ,  $\text{m}$ ,  $\text{km}$  verbinden, aber immer die gleiche Maßeinheit für alle 3 Skalen. Das Gleiche gilt auch für die sogn. Verzifferung. Weil es z.B.  $100$  nicht auf den Skalen gibt, kann man zum Anlegen des Lineals die  $10$  wählen und meint auf den  $3$  Skalen das Zehnfache - oder die  $25$  wählen und meint auf den  $3$  Skalen das Vierfache. Auf diese Weise reicht eine Zeichnung für die Ermittlung der Basis aus.

Ablesebeispiel 1: Nähe: 3m    Ferne: 12m



Die Einheit ist **m**. Ergebnis: Die Basis beträgt 0.08 (**m**) = 80mm.

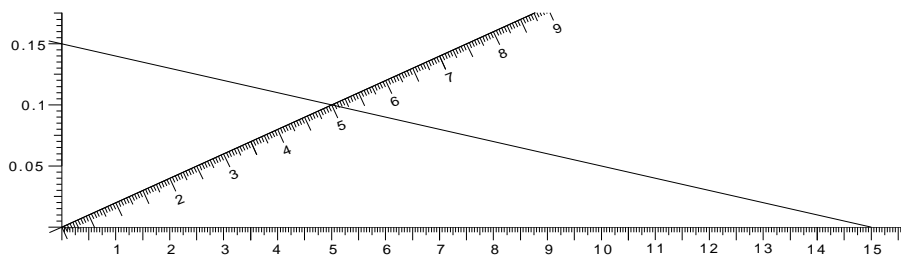
Ablesebeispiel 2: Nähe: 9 cm    Ferne: 23 cm



Die Einheit ist **cm**. Ergebnis: Die Basis beträgt 0.295 (**cm**) = 3mm

Ablesebeispiel 3: Nähe: 10 m    Ferne: 30 m (auf Skale nicht vorhanden).

Wir wählen: Nähe: 5 m    Ferne: 15 m  
und müssen demnach das Basisergebnis verdoppeln.



Die Einheit ist **m**. Ergebnis: Die abgelesene Basis beträgt 0.15 (**m**) = 150 mm.  
Die Basis für Nähe 10m und Ferne 30m beträgt demnach 300 mm.

Stereobasis

0.7  
0.6  
0.5  
0.4  
0.3  
0.2  
0.1

Nomogramm zur Bestimmung  
der stereoskopischen Aufnahmebasis  
70' - Bedingung

Nahpunkt

Fernpunkt

