

Die 70 Minuten-Bedingung und ihre Folgen

Gerhard P. Herbig, gph@herbig-3d.de

1 Die Fakten

Um beim stereoskopischen Sehen eine störungsfreie Verschmelzung zweier Netzhautbilder zu **einem Objekt** zu ermöglichen, müssen die entsprechenden Bildpunkte auf jeweils zueinander korrespondierende Netzhautstellen fallen. Als obere Grenze für den Toleranzbereich der Tiefenausdehnung, der noch zu einem Objekt verschmolzen werden kann, gilt ein Wert von etwa 6' (Bogenminuten). Dieser Bereich störungsfreier Verschmelzung wird auch **Panum'scher Fusionsbereich** genannt.

Die Grenze des **lokalen Bildzerfalls** ist deutlich höher, denn hier wird nicht mehr die **Fusion zu einem Objekt**, sondern nur die **Wahrnehmung des räumlichen Bezuges zweier Objekte zueinander** gefordert. Dieser Wert mag individuell sehr unterschiedlich sein und dürfte in der Größenordnung von etwa 25' (Bogenminuten) liegen.

Soll dagegen ein zu großer Tiefenbereich auf einmal erfasst werden, treten Störungen des Bildeindrucks auf, welche sich im Erscheinen von Doppelbildern bis hin zum totalen Bildzerfall äußern. Während dieser Umstand beim freiäugigen Sehen durch die Konzentration auf nur wenige Bildelemente vom Bewusstsein offensichtlich weitgehend unbeachtet bleibt, macht er sich bei der Betrachtung von Stereobildern äußerst störend bemerkbar und darf deshalb bei ihrer Gestaltung nicht vernachlässigt werden. **Der in einem Stereobild abgebildete Tiefenbereich muss deshalb unbedingt begrenzt werden.**

Wie groß jedoch der zulässige Tiefenbereich eines Stereobildes **in seiner Gesamtheit** werden darf, ist aus diesen Zahlenwerten leider nicht ohne weiteres abzulesen.

Eingehend hat sich mit der Frage des zulässigen Tiefenbereiches H. Lüscher [1] befasst. Gestützt auf verschiedene Vorgänger hat er beim freiäugigen Sehen als obere Grenze für den von den Strecken 'Auge-Fernpunkt' und 'Auge-Nahpunkt' eingeschlossenen Parallaxenwinkel einen Betrag von 70 Bogenminuten (entspricht etwa 1,17°) angegeben und daraus die entsprechende Forderung für den maximal in einem Stereobildes enthaltenen Tiefenbereich abgeleitet.

Einerseits wird der von Lüscher angegeben Wert heute als zu klein angesehen, andererseits ist sicherlich auch der Ansatz, einen oberen Grenzwert für das **gesamte Stereobild** anzugeben, anfechtbar, da immer nur ein kleiner Bereich des Bildes auf einmal erfasst werden kann. So ist eine Kritik bei **sehr großen Stereobildern**, in denen man mit dem Auge herumwandern kann (wie beispielsweise in großformatigen Anaglyphendruckten), sicherlich berechtigt. Andererseits führt der (konservative) Ansatz mit der 70 Minuten-Bedingung zu einer **einfachen** und vor allen Dingen **sicheren** Regel, bei deren Einhaltung man sich über ein gelungenes Ergebnis einigermaßen sicher sein kann.

2 Die Annahmen

2.1 Maximaler Parallaxenwinkel

Angenommen, es existiert tatsächlich ein maximaler Parallaxenwinkel (und diese Annahme ist zumindest naheliegend), ist im ersten Schritt sein tatsächlicher Zahlenwert gar nicht so wichtig. Wir gehen also im folgenden nur von seiner Existenz aus, betrachten aber begleitend, welche Ergebnisse wir erhalten würden, wenn der 70 Minuten-Wert zuträfe.

Wenn der Unendlichpunkt in der zu betrachtenden Szene enthalten ist, bestimmt alleine die Nahpunktweite a_N den resultierenden Parallaxenwinkel α (b_0 ist die Augenbasis):

$$\alpha = \arctan \frac{b_0}{a_N} \approx \frac{b_0}{a_N}. \quad (2.1)$$

Die Näherung gilt für kleine Winkel, wie sie hier vorliegen. Die 70-Minuten Bedingung

$$\alpha \leq 70' = 1.17 = 0.02[\text{rad}] \quad (2.2)$$

lässt sich also sofort in die Nahpunktbedingung:

$$a_N \geq \frac{b_0}{\alpha} = \frac{60\text{mm}}{0.02[\text{rad}]} = 2.95\text{m}. \quad (2.3)$$

umrechnen.

In Worten: Die 70 Minuten-Bedingung sagt aus, dass zum störungsfreien Raumsehen kein Objekt einen kleineren Abstand als etwa 3m zum Betrachter haben sollte. (Zur Erinnerung: der Unendlichpunkt ist im Raumbild enthalten.) Diese Forderung gilt natürlich gleichermaßen für **reale** und **virtuelle Objekte**, also auch für solche **auf**, **vor** oder **hinter** der Leinwand.

2.2 Das Divergenzverbot

Das Divergenzverbot erfordert eine **natürliche Projektion**, d.h. eine Projektion der beiden korrespondierenden Unendlichpunkte im Augenabstand auf der Leinwand (Fernpunkt Abstand gleich Augenabstand). Für diesen Fall gilt folgender Zusammenhang zwischen der Nahpunktweite a_N und der im projizierten Stereobild enthaltenen Deviation d_P (der Abstand des Betrachters von der Leinwand sei a_B), siehe dazu auch das **Bild 1**:

$$a_N = a_B \frac{b_0}{d_P}. \quad (2.4)$$

Die Deviation ist immer die Differenz aus der maximalen und minimalen parallaktischen Verschiebung, die in einem Stereobild vorkommt. Im vorliegenden Fall ist die

parallaktische Verschiebung des Fernpunktes gleich b_0 und die des Nahpunktes gleich $(d_P - b_0)$.

Die Deviation des projizierten Bildes auf der Leinwand ist natürlich gleich der Deviation des Stereobildes d , skaliert mit der Projektionsvergrößerung V :

$$d_P = V \cdot d. \quad (2.5)$$

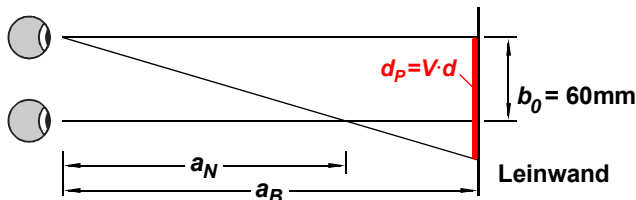


Bild 1: Skizze zu Gleichung (2.4)

2.3 Die Präsenz

Schließlich ist noch die Projektionsvergrößerung und die Entfernung, aus der das Raumbild betrachtet wird, von Bedeutung. Es macht für die Berechnung der maximal zulässigen Deviation eines Stereobildes eben einen großen Unterschied, ob ein großes Leinwandbild aus nächster Nähe oder ein kleines Leinwandbild aus großer Entfernung betrachtet wird. Dazu wird das Verhältnis aus der Breite des projizierten Bildes w_P und des Betrachterabstandes a_B gebildet. Dieses Verhältnis nennen wir **Präsenz** P :

$$P = \frac{w_P}{a_B}. \quad (2.6)$$

Für die Bildbreite gilt natürlich wieder:

$$w_P = V \cdot w, \quad (2.7)$$

mit der Bildbreite des Stereobildes w , beispielsweise für ein Kleinbild: $w = 33\text{mm}$.

Welche Präsenzwerte kommen in der Praxis vor?

In der folgenden kleinen Tabelle sind 3 typische Projektionsszenarien aufgelistet, einmal für die Projektion "zu Hause", im "kleinen Saal" und im "großen Saal". Für alle 3 Fälle wurden Annahmen für die Vergrößerung V sowie für den Bereich der Betrachtungsabstände getroffen:

Szenarium	V	w_P	a_B	P
zu Hause	50	1,65m	4m-6m	0.41-0.27
kleiner Saal	100	3,30m	5m-10m	0.66-0.33
großer Saal	200	6,60m	6m-20m	1.10-0.33

Tabelle1: Typische Projektionsszenarien

Die obere Grenze der Präsenz für eine angenehme Betrachtung (gesamte Erfassung des Raumbildes ohne lästige Kopfbewegung) ist sicherlich individuell unterschiedlich (und eine Frage des Geschmacks), durch Eigentest wurde dafür ein Wert von etwa $P = 0.6 \dots 0.7$ ermittelt - daran gemessen wären die vorderen Sitzplätze

im "großen" Saal mit 6m Abstand zur Leinwand schon zu dicht am Bild.

3 Die Resultate

Aus den 3 Annahmen "**begrenzter Parallaxenwinkel**", "**keine Divergenz**" und "**begrenzte Präsenz**" lässt sich nun leicht ein Wert für die maximale Deviation in einem Stereobild ableiten. Wir fassen also zusammen:

Rein rechnerisch ergibt sich aus (2.1) für die minimale Nahpunktweite

$$a_N|_{\min} = \frac{b_0}{\alpha|_{\max}}, \quad (3.1)$$

aus Gleichung (2.4) und (2.5) unter Berücksichtigung des Betrachters, der am dichtesten vor der Leinwand sitzt, für die maximale Deviation:

$$d|_{\max} = \frac{a_B|_{\min} \cdot b_0}{V \cdot a_N|_{\min}}, \quad (3.2)$$

und schließlich aus den Gleichungen (2.6) und (2.7) für eben diesen dichtesten Abstand:

$$a_B|_{\min} = \frac{V \cdot w}{P|_{\max}}. \quad (3.3)$$

Fasst man diese 3 Gleichungen zusammen, erhält man schließlich das gewünschte Ergebnis:

$$\boxed{\frac{d_{\max}}{w} = \frac{\alpha_{\max}}{P_{\max}}}. \quad (3.4)$$

Die auf die Bildbreite normierte Deviation darf nicht größer sein als der Quotient aus maximal zulässigem Parallaxenwinkel und maximal sinnvoller Präsenz.

Um nun einen allgemein gültigen Richtwert für diese normierte Deviation zu erhalten, setzen wir einmal die oben ermittelten Werte $\alpha_{\max} = 0.02$ (70 Minuten-Bedingung, siehe (2.2)) und $P_{\max} = 0,6$ ein:

$$\boxed{\frac{d_{\max}}{w} = \frac{\alpha_{\max}}{P_{\max}} = \frac{0,02}{0,6} = \frac{1}{30}}. \quad (3.5)$$

Obwohl der Ausgangspunkt der Überlegungen nicht unumstritten ist, hat sich in der Praxis für die **Diaprojektion** die Beschränkung der Deviation auf **1/30 der Bildbreite** seit Jahrzehnten bewährt. Für das Kleinbildformat ergibt sich daraus eine maximale Deviation von $36\text{mm}/30 = 1.2\text{mm}$, für das Mittelformat $60\text{mm}/30 = 2\text{mm}$ und für das sogenannte amerikanische Format mit 24mm Bildbreite $24\text{mm}/30 = 0.8\text{mm}$.

[1] H. Lüscher: Stereophotographie. Union Deutsche Verlagsgesellschaft. Berlin 1931.