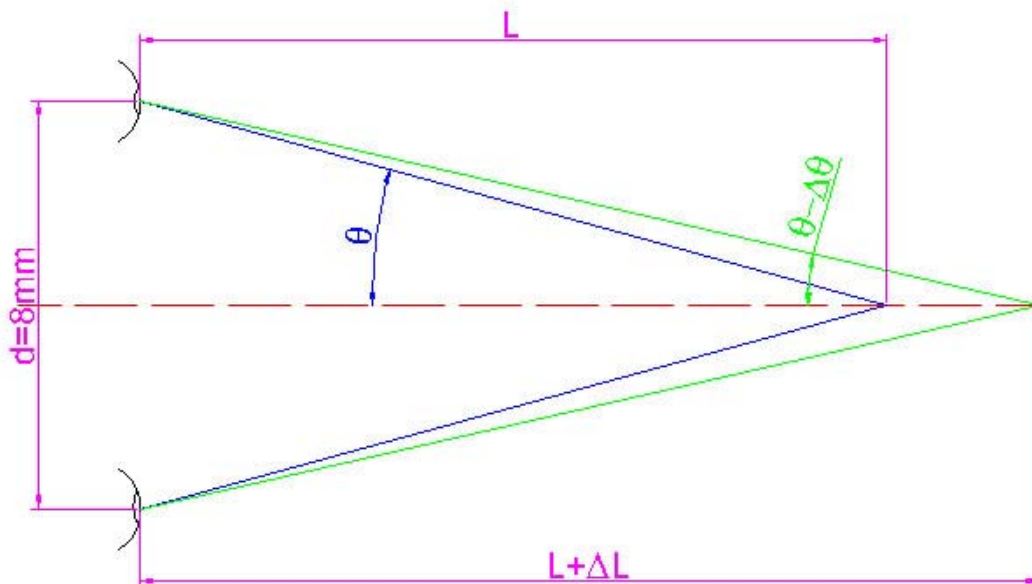


3D-seende och 3D-visualisering

Människans avståndsuppfattning bygger på flera olika stimuli från synsinnet. Det primära är emellertid konvergensen, dvs hur mycket ögonen behöver vinklas (skela), för att så identisk bild som möjligt ska uppkomma i bägge ögonen. Vinkelupplösningen ligger för ett normalsynt öga ($\text{Visus} = 1$) på knappt $\theta = 0,4 \text{ mrad}$ vilket vi i beräkningar nedan kommer att använda för beräkningar av synsinnets avståndsupplösning. Denna typ av avståndsbedömning förutsätter uppenbarligen två tämligen likvärdiga ögon dvs synen får inte vara avsevärt bättre på det ena ögat och näthinnebilderna måste vara ungefär likstora på bägge ögonen.

Sekundära metoder för avståndsbedömning är ackommodation (justering av styrkan på resp öga) vilken inte förutsätter två ögon. Vidare använder hjärnan olika typer av erfarenhet t ex av storlekar, hur förgrunder ser etc som inte kommer att behandlas i denna text.

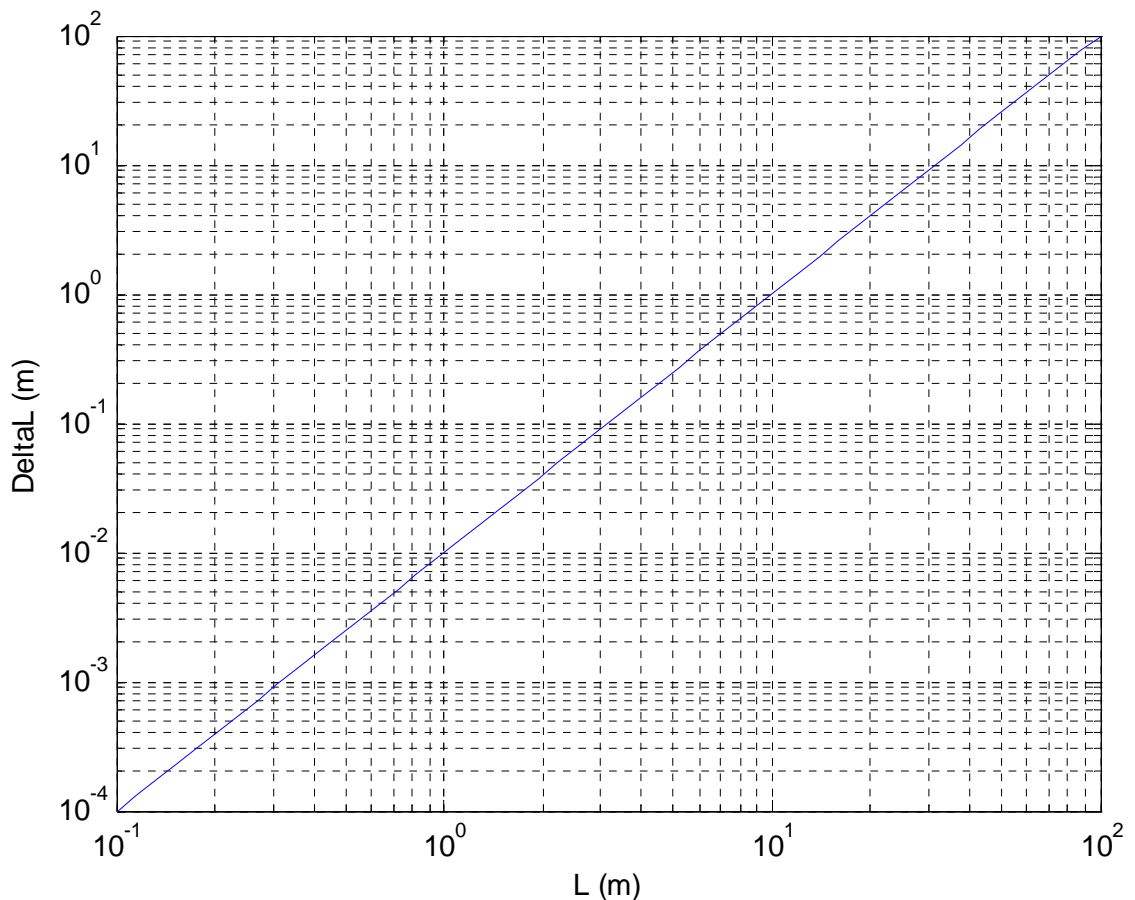
Konvergens



Ovanstående figure beskriver ögonens konvergens vid två olika objektsavstånd (blått fall och grönt fall). Geometrin ger:

$$\frac{d/2}{L} = \tan \theta \approx \theta \Rightarrow L = \frac{d}{2\theta} \Rightarrow \Delta L = \frac{-d}{2\theta^2} \Delta\theta = \frac{2L^2}{d} \Delta\theta$$

Om vi plottar upplösning som funktion av objektsavstånd så får vi nedanstående kurva (obs logaritmisk skala)



Konvergensen fungerar bäst om man har två objekt intill varandra i synfältet vars avstånd är lite olika. För avstånd större än 100 m, är upplösningen lika stor som avståndet dvs det finns ingen övre gräns för hur långt bort objektet kan vara

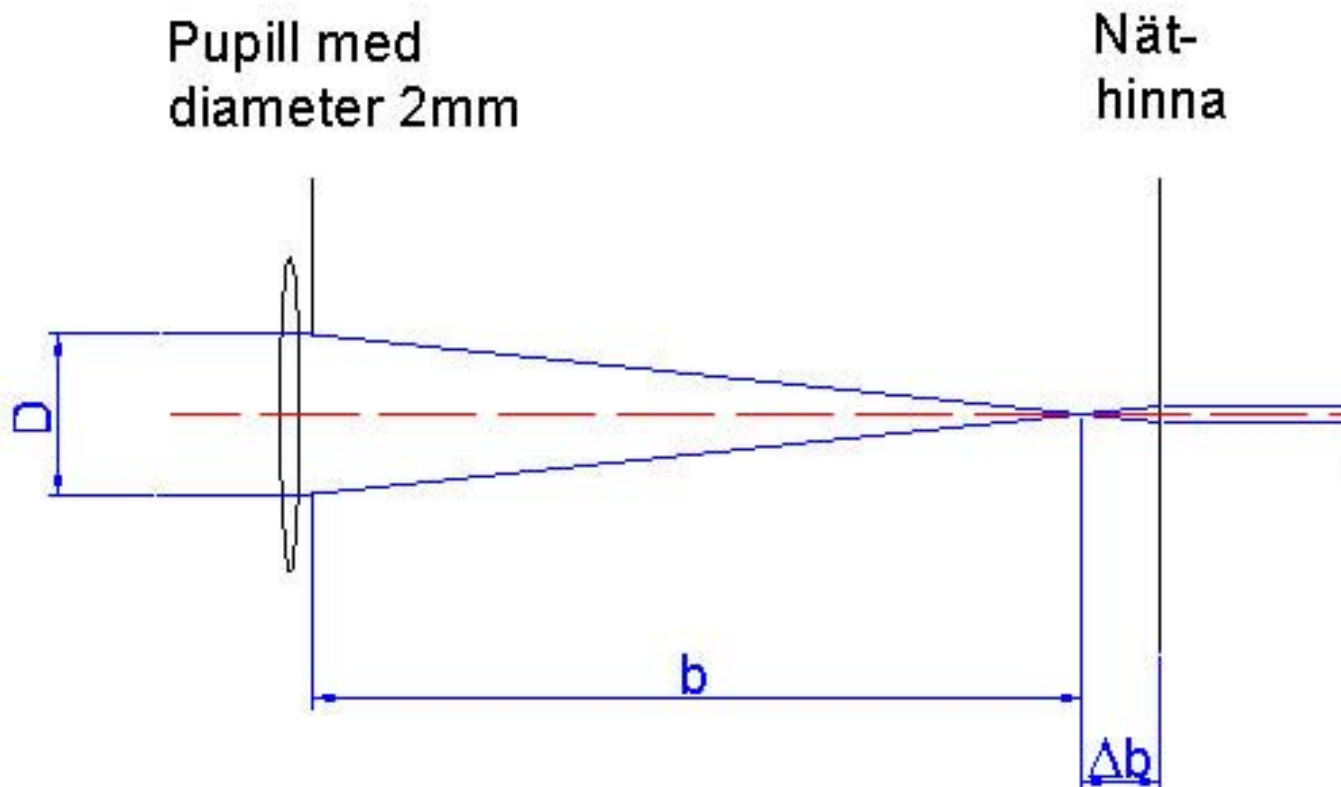
Ackommodation

För att beskriva den fysikaliska effekten av ackommodation behöver man en ögonmodell. Det finns flera sådana att välja på med olika grad av komplexitet, men för att åskådliggöra (och även i förbluffande utsträckning kvantifiera) de fenomen vi tittar på kan vi se ögat som en tunn lins med fokallängd 20mm i avslappnat läge (Styrka 50D) och avstånd mellan lins och näthinna 20mm. När ögat anpassar sig till seende på nära håll ökar linsen i styrka (minskar i fokallängd). Denna styrkeökning kallas ackommodation. Förmågan att ackomodera avtar med åldern, en 20-åring kan ackomodera 10D medan en medelålders person kan ackomodera 5 D och en åldring 1-2 D.

För att lättare förstå effekten kan man dela upp linsen i två, den ena representerande det oackomoderade ögat på 50D och den andra varierbar mellan 0 och maxackommodation. Dessa placeras på försumbart avstånd från varandra vilket innebär att ordningen mellan dem är godtycklig. Placera ackomoderationslinsen först. Då blir dennas uppgift att leverera parallellt ljus till 50D-linsen.

Det gör den om objektet placeras i dess främre fokus. Max ackommodation svarar mot kortast fokallängd på ack-linsen dvs en person som kan ackomodera från 0 till 5D, ser skarpt mellan oändligheten och 0,20m,

åldringen med ack mellan 0 och 2D ser skarpt mellan oändligheten och 0,50m.
 Hur små felackomodationer uppfattar då ögat? Vi börjar återigen med en figur



Figuren visar ett öga som ackomoderat mer än vad som behövs för att se ett givet objekt. Bilden hamnar på avståndet b bakom linsen och på avståndet Δb före näthinnan. Om d är suddfläckens storlek, och θ_{sudd} är den vinkel denna suddfläck upptar på näthinnan får vi

$$\frac{d}{D} = \frac{\Delta b}{b} \approx \frac{\Delta f}{f} \approx \frac{\Delta P}{P}$$

Den sista likheten eftersom relativ ändring av styrka, P , är lika med relativ ändring av fokallängd (visas med differentiering).

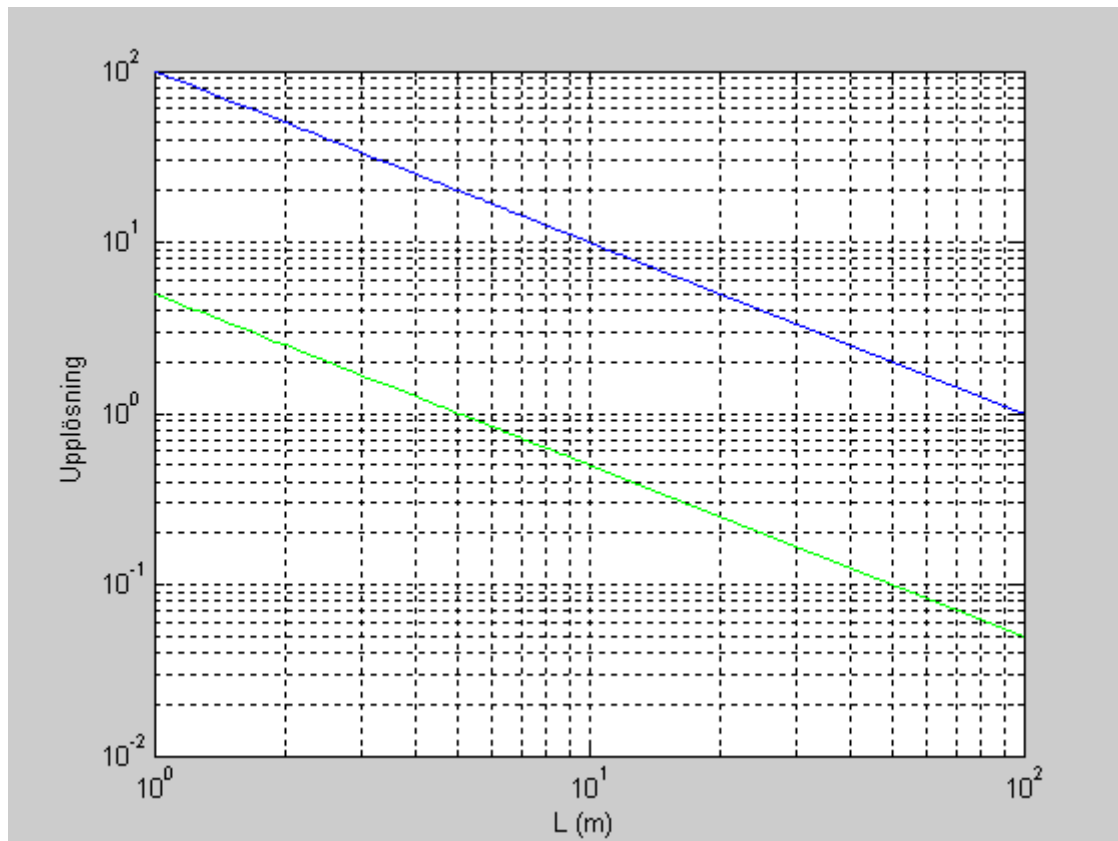
Den vinkel suddfläcken upptar från linsen är densamma som den vinkel som är suddig ute i verkligheten, dvs suddigheten (i radianer fås genom:

$$\theta_{sudd} = \frac{d}{f} = \frac{D\Delta P}{fP} = D\Delta P$$

Om denna suddighet ska vara märkbar måste vinkeln vara större än ögats upplösning dvs 0,4mrad (enligt ovan). Med 2mm pupill blir då minsta detekterbara ändring av ackomodationen ca 0,2D, vilket ger oss

$$\Delta L = L^2 \Delta P = 0,2m^{-1} L^2$$

Om vi plottar den relativa upplösningen ($= L/\Delta L$) för ackomodation som avståndsbestämningsmetod och konvergens får vi



Blå kurva motsvarar konvergens och grön ackomodation. När kurvan närmar sig 1 ($=10^0$) blir metoden oanvändbar ("felet" = 100%) och vi ser att för avstånd över 3-4m spelar ackomodationen ingen roll och utrustningar som syftar till att ge 3D-intryck behöver därför bara adressera konvergens. För avstånd under 2-3m kommer ackomodationsfel att märkas och en betraktare får motstridiga synintryck om simulerade 3D effekter inte adresserar både konvergens och ackomodation med samma avståndsinformation. Effekten av detta varierar mellan olika människor men kan inkludera illamående, yrsel och huvudvärk. Som vi ska se nedan är ackomodation mycket svårare att simulera varför de flesta metoder bör hålla sig till avstånd över 2-4m, men innanför 100m ty därutöver är 3D-effekter inte märkbara.

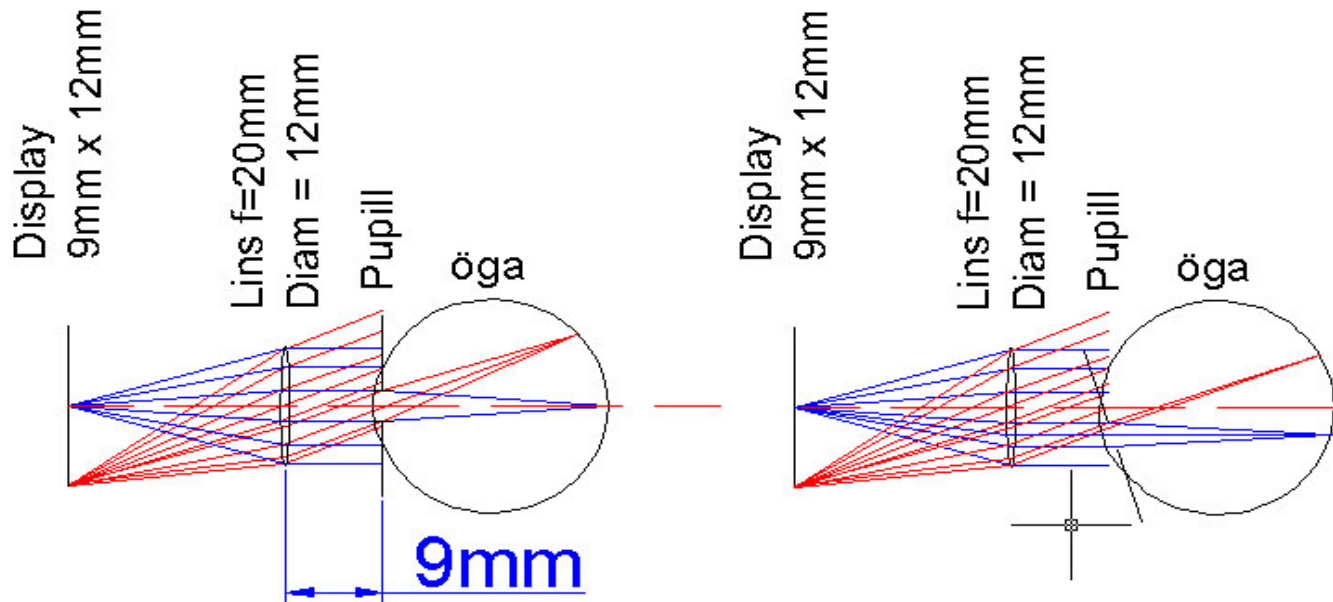
Metoder att ge 3D-illusion

Alla metoder som innehåller bildskärmar eller eljest plana bildytor, vare sig de är stora eller små, en eller två kommer att kunna påverka konvergens men inte ackomodationen. För att påverka även ackomodationen krävs att man kan generera en våg som verkligen divergerar från punkter olika belägna i djupled. För att åstadkomma detta en projektion som är distribuerad i djupled, holografi eller direkt projektion på näthinna. Dessa metoder kommer att behandlas sist.

En bildskärm per öga

Detta är den metod som vanligen används i sk virtual reality-hjälm. Skärmarna är små (vanligen ca 1") och betraktas genom en lupp där displayen placeras i främre fokallplanet till linsen. Den synvinkel skärmen upptar blir då $\arctan(\text{bildbredd/fokallängd})$, vilket för en 1" skärm (med 16mm bredd) och fokallängd 20mm ger $38,7^\circ$ eller 0,7mrad per pixel (vilket ju enligt ovan är ganska lagom, på gränsen till för bra). I och med att bilden fixeras till

oändligheten kan ackommodationen aldrig påverkas utan hela effekten handlar om konvergens. Ett problem i sammanhanget är att göra linsen tillräckligt stor. När ögat vrids för att se objekt i kanten av synfältet flyttas ju pupillen, och om linsen är för liten och/eller placerad på för långt avstånd från ögat får man bildförlust.



I det vänstra fallet ovan tittar ögat rakt fram och ser då utgångspunkten för de blå strålarna mitt i synfältet och utgångspunkten för de röda i perifert synfält. Men till höger, när ögat vrids sig (vridningscentrum ligger ca 10mm in i ögat) för att få den röda utgångspunkten mitt i synfältet (man tittar däråt helt enkelt) ser man att de röda strålarna missar nästan helt.

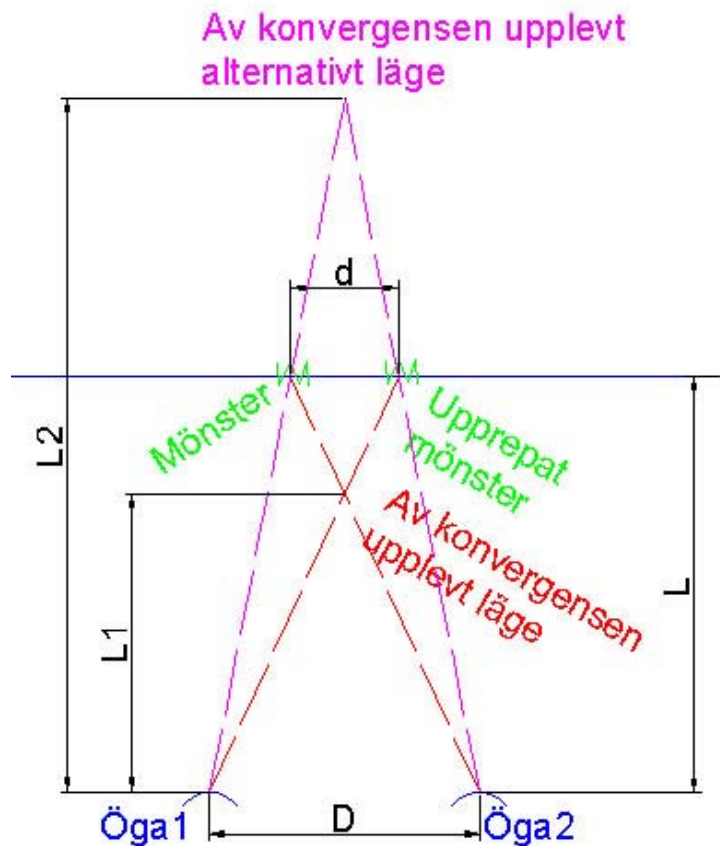
Skulle linsen varit mindre, linsen längre från ögat eller displayen större skulle den yttersta punkten inte syns alls.

Eftersom man ska kunna titta såpass snett genom linsen ställs vidare ganska stora krav på linsen. Framför allt måste den sneda astigmatismen vara under kontroll.

En bildskärm, info växelvis till ögonen

Ögats integrationstid är ca 10-20ms beroende på hur man räknar. Det innebär att man får samma synintryck av en bild som lyser hela tiden och en bild som är tänd 2ms och släckt 8ms men med 5ggr högre luminans. Om betraktaren då bär glasögon med slutare (t ex baserade på flytande kristaller) som växlar mellan transmission för ena och för andra ögat synkroniserat med att bilden på displayen växlar mellan en höger-öga bild och en vänsterögabild så kan man skapa rätt konvergens för ögonen.

En variant på detta är att låta högerbild och vänsterbild gå ut med olika polarisation och har polaroidglasögon med motsvarande olika polarisation. Detta medför naturligtvis restriktioner mot att "vicka på huvudet".



Nackdelen i bägge fall är kravet på glasögon.

En skärm, riktad info

En annan variant är att göra varje pixel dubbel så en del riktar ljuset mot ena ögat och den andra mot det andra. Detta görs genom att på varje TFT-pixel lägga en lins med den riktningsverkan. Nackdelen är att huvudet måste hållas på samma ställe

Autostereogram

De prickmönster (eller andra mönster) som ibland dyker upp i tidningar och böcker och som gör att man efter en stunds "fixering" ser delar av mönster framträda i relief framför pappret,

bygger på att man upprepar mönstret så att ögonen kan få samma bild utan att konvergera mot en punkt på pappret.

Jfr fig till vänster.

Upprepningsavståndet, d , väljs oftast mindre än avståndet mellan ögonen, D , vilket gör att det finns två konvergenser för vilka man får upprepning. Den ena ledar till en bild framför pappret (på avst L_1 från betraktaren) och den andra bakom pappret (på avstånd L_2)

För det första läget ger geometrin

$$\frac{D}{L_1} = \frac{d}{L - L_1} \Rightarrow L_1 = \frac{D}{d + D} L$$

Detta läge kommer alltid att kunna hittas men man får inte hålla pappret så nära att L_1 kommer innanför närpunkten.

Det bakre läget ges av

$$\frac{D}{L_2} = \frac{d}{L_2 - L} \Rightarrow L_2 = \frac{D}{D - d} L$$

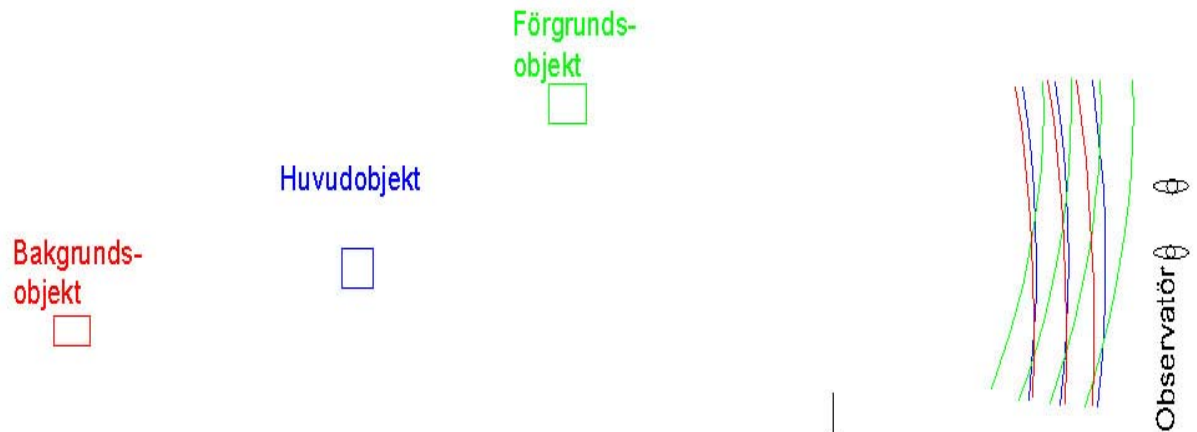
Man ser att detta läge inte finns om $d > D$, vilket kan användas om man vill undvika tvetydigheten.

Autostereogram ska mer ses som en metod att skapa illusioner än som en verklig avbildningsform. Det har förekommit förslag på hur man skulle kunna göra verkliga bilder baserat på denna princip, men dessa har haft tveksamt värde.

Metoden förutsätter uppenbart att man konvergerar mot ett avstånd och ackomoderar mot ett annat. Detta är ett "onaturligt" läge för ögonen vilket förklarar att inte alla kan se denna effekt.

Att påverka ackomodationen

Det är inte svårt att i t ex en VR-hjälm påverka ackomodationen genom att ersätta linsen med ett zoombart objektiv. Problemet är att man får samma ackomodation i hela bilden vilket ju inte är det som behövs för djupkänsla. För att påverka både ackomodation och konvergens korrekt måste vågrfronterna verkligen se ut att härstamma från olika objekt



Detta kan vid projektion bara ske om de ljusspridande punkterna verkligen ligger på olika avstånd från observatören, vilket man försökt realisera på flera mer eller mindre misslyckade sätt. Exempelvis florstunn gasväv, rökridåer, eller genom att jonisera luften i varje oixel som flör ögenblicket ska sprida ljuset. En annan variant är att styra laserstrålar så att de verkligen ritar upp en reell bild av objektet i luften och sedan inte sprida ljuset utan se på de ickespridda strålarna.

Den enda metod som verkligen utför uppgiften är holografi, som inte är realistiskt för rörliga bilder inom överskådlig tid. Skälet till det är att man behöver åtminstone ca några hundra linjer/mm i upplösning på den skärm man använder, dvs ca 100000 pixlar/mm², vilket på en rimligt stor skärm ger 10¹⁰ pixlar. Om dessa ska uppdateras 50ggr per sekund med 24 bits per pixel (3 färger) så behöver man 10¹³ bit/s, vilket ligger en bra bit utanför de mest himlastormande entusiasternas förhoppningar idag. Normala kompressionsalgoritmer som jpg och mpg går heller inte att använda eftersom det är just ett väldigt tätt linjemönster man vill ha. Den som uppfinner en kompressionsalgoritm som klarar detta behöver inte komma på så mycket mer i sitt yrkesverksamma liv..

Näthinne-ritning

En tänkbar metod att modifiera konceptet "en skärm per öga" är att i stället för skärm med optik rita direkt på näthinnan med en skannande laserstråle (eller tre skannande laserstrålar om man vill ha färg). Om man för varje skannad pixel kan ändra divergensen hos laserstrålen kan man på det sättet skapa en sann 3D-bild som verkligen adresserar både konvergens och ackomodation. Det låter inte riskfritt men laserritning direkt på näthinna (med välavvägd lasereffekt) har använts i decennier i exvis flygsimulatorer.

Detta är författarens gissning om hur 3D kommer att skapas om något decennium.

