

# Supers

Vad är "Supersyn" och kommer vi skyttar att ha glädje av det? Supersyn har utvecklats de sista 5-6 åren och står under utveckling och forskning på universitet, högskolor och sjukhus. Optiken blir bättre vilket i kombination med laserteknik, optisk kabel, nanoteknik och elektriskt ledande material i olika plaster hjälper ögat till finare och skarpere avbildning.

U tvecklingen av den adaptiva optiken och elektriskt ledande material i olika plaster belönades med Nobelpriset år 2000. Detta framsteg

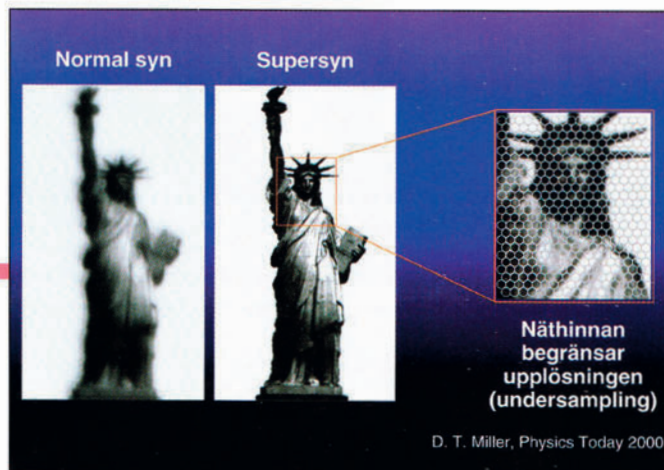
är till stor hjälp för människor som genom olika ögonsjukdomar och defekter har låg synskärpa. Med den adaptiva optiken kan man höja synskärpan väsentligt. Om jag som pistolskytt ser bra på tavla och riktmedel innebär de nya framstegen att jag kan se ännu bättre. Jag ser minsta avvikelse i riktmedlen och skjuter tätare träffbilder. Hur går det till? Först lite beskrivning av de egenheter och avbildningsfel ögonen har.

## Ögats begränsningar

Synprocessen kan indelas i tre steg:

1. Ögats optik ger en bild på näthinnan av objektet.
2. Receptorerna i näthinnan (tappar och stavar) tar emot "bilden", börjar bearbeta, stimulera och sänder information till hjärnan.
3. Hjärnan bearbetar signalerna som gör att bilden byggs upp och tolkas.

Ögats optiska system och tätheten av receptorerna utgör de fundamentala begränsningarna av synskärpan. Vil-



**Frihetsgudinnan på 3 km avstånd sedd genom (vä) normalt öga med 3 mm pupill. Mittbilden 8 mm pupill och fullständig korrektion av ögats aberrationer. Statyn upptar totalt ca 0,9° synvinkel. Förstorade bilden visar receptorernas storlek i förhållande till bilden på näthinnan. Receptortätheten begränsar här den upplevda skärpan i bilden.**

ka optiska fel på ögat gör att vi ser sämre? Den vanligaste och mest betydelsefulla optiska begränsningen är brytningsfel av olika slag som närsynthet, översynthet och astigmatism. Dessa avbildningsfel innebär att den optiska bilden är defokuserad d.v.s. bilden hamnar framför, bakom eller bara delvis på näthinnan. Detta korrigeras med lämplig lins i form av sfärisk eller astigmatisk lins som flyttar bilden till näthinnan och bilden är då fokuserad, man ser "skarpt".

Andra optiska fel som ger en sämre bild är *aberrationen*. Det är ett fel i optiska systemet, där strålar i periferin av linsen bryter mera, bilden kommer då delvis framför

näthinnan och ger ett mera utdraget strålknippe. Sedan har vi färgspridningen i ögat, där kortvågigt ljus, blått-violett sprids eftersom de bryts mera när det optiska systemet träffas. Dessutom ger de partiklar som finns inuti ögat spridningskretsar och sänker synskärpan (*kromatisk aberration*). Ögat har också oregelbundna aberrationer som inte finns i tekniska system, t.ex. kameraoptik, mikroskop, kikare mm. Ögat har både vågräta och lodräta kromatiska aberrationer. Om ögats pupill minskar i diameter minskar också aberrationernas inverkan på bilden. Man ser skarpere till en viss gräns, sedan uppstår nästa fel i form av *diffraction*.

## Dioptrihållets storlek avgörande

Vad är diffraction? Om en pupill eller ett hål blir mindre minskar aberrationen,

men vid en viss gräns är ljuset inte axelparallellt utan börjar sprida ut sig på näthinnan till en större fläck. Ögat blir *diffraktionsbegränsat*. Man kan även beskriva detta fenomen så här: Vi tänker oss en hamn med två pirar med en öppning för båttrafiken. Om vågorna ligger på mot öppningen och denna är stor, går vågorna rakt fram in i hamnen. Är öppningen trängre går vågorna rakt igenom, men sprider ut sig på insidan bakom pirarna och ut över hamnen. Detta är *diffraction*. Samma sak händer i en dioptrier. Man minskar hålet, skärpedjupet ökar, man ser riktmedlen som mer svarta och tydliga mot tavla/figurer. Vid c:a 1mm o hål får man sudd i hålet, även olikfärgade ringar. Hålet är nu för litet. Ljusstrålarna är inte längre axelparallella utan *divergenta*. Hela ljusvågen släpps inte in i ögat som får arbeta mera, ackommodera, och synskärpan sjunker. Öppningen i dioptrern måste ökas tills strålarna går rakt fram igenom hålet. Hela vågfronten av ljus



# Syn

Text: Hans Bark  
Bilder: Peter Unsbo

måste igenom. Detta måste man justera med hänsyn till de olika ljusförhållanden som råder på skjutplatsen.

## Varför korrigera aberrationer?

En anledning till att korrigera ögats aberrationer är att försöka förbättra synen, även om aberrationerna normalt inte besvärar oss till vardags. Ögats aberrationer påverkar dessutom hur mycket vi kan se när man tittar in i ögat för att undersöka näthinna. Ljuset från en liten detalj på näthinna sprider sig och bryts på vägen ut genom ögat. Om ögats optik var perfekt skulle ljuset ut ur ögat bestå av ett parallellt strålnippe som kan fokuseras till en punkt och bli avfotograferat.

I det verkliga ögat begränsar aberrationerna möjligheterna för ljuset att samlas till en punkt igen. Drömmen är att direkt kunna se nya typer av celler eller andra fina strukturer i ett levande öga. Detta skulle ge stora möjligheter att upptäcka och förstå olika ögonsjukdomar.

## Vågfront = recept på linsen

Aberrationens storlek i ett optiskt system kan anges i två

plan. I bildplanet eller pupillplanet. Avvikelsen mellan vågfronten i pupillplanet och den ideala plana vägen ger oss systemets vågfronts aberration som mäts i mikrometer. Vågfronten är mycket användbar eftersom formen på denna samtidigt är receptet på korrektionslinsens styrka och

form för att minimera aberrationen. De delar av vågfronten som ligger före måste fördröjas och de som ligger efter måste snabbas på. En lins gjord efter denna princip skulle få en tjockleksvariation som är proportionell mot vågfronts aberrationen. Ljuset går långsammare i glas och där

glaset är tjockare bromsas vågfronten resp. ökar i tunnare. Det går att använda olika material, t.ex. glas, plast, vätskor som har högre brytningsindex än 1,0.

## Uppmätning av korrektion och aberration

Sättet att eliminera ögats





aberration är att använda sig av adaptiv optik. Det är en deformierbar datorstyrd spegel. Formen ändras med små pistonger som påverkar spegelns form och gör vågfronten från ögat till en plan våg. Spegelns form blir densamma som vågfronten själv, men med halva amplituden. Med ett sådant system kan man både ta aberrationsfria bilder av näthinnan och projicera aberrationsfria bilder på densamma t.ex. bokstäver för synskärpebestämning. Detta ger en högre upplösning av bilden d.v.s. högre synskärpa ända upp till en fördubbling av denna. Detta är för närvarande på forsknings- och utvecklingsstadiet.

### Hur långt har vi kommit idag med adaptiv optik?

1. En ny laserapparat för hyvling av hornhinnan med LASIK kom år 2000 (tillverkas bl a av Bausch & Lomb USA). Putsar hornhinnan på de ställen där vågfronten ligger efter samt justerar hornhinnan till rättsynthet på avstånd.
2. En individuellt anpassad kontaktlinn kan kompensera ögats aberrationer, finns som projekt i Europa, kallas CLAAS (Kontaktlinn med asfäriska asymmetriska ytor). Nyligen gjorda beräkningar visar att kontaktlinsens rörelse ej tar bort den kompenserade adaptiva effekten i alltför stor utsträckning.
3. Intra-ockulära lins (lins som stoppas in i den bevarande linskapseln vid gråstarrsoperation) är också en möjlighet. Ett problem kan vara den något obestämda position som linsen får i linskapseln.
4. Aberrationskompenserande glasögon modell större är i princip omöjliga, eftersom ögat vrider sig och tittar genom olika delar av glasat. Med skytteglasögon som är justerbara i olika riktningar och med små ringar eller tubliknande fattningar skulle det gå. Ögat hålls då fixerat vid en fast riktning, mot riktmedlen och tavla/figur. Kan även läggas i kikarsikten på gevär, pistol och revolver där detta

är tillåtet. Glasögon med adaptiv optik baserade på flytande kristaller tillsammans med en inbyggd blickriktnings-sensor är tänkbart. Om man korrigerar aberrationer får man en ökad kontrastkänslighet. Detta gör att vissa situationer begränsar "nyttan" av adaptiva linser/glas.

### Oönskat fenomen

Om bilden blir för detaljerad på näthinnan kommer tappararnas täthet att begränsa upplösningen. Detta ger upphov till ett oönskat fenomen som kallas *aliasing*. Detta innebär att ett mönster bildas i den upplevda bilden som inte finns i objekten t.ex. tavlan eller riktmedlen.

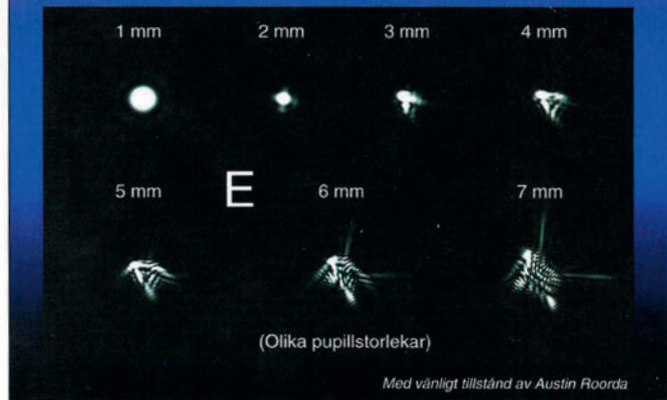
Om man korrigerar ögats aberrationer för långt håll på tavlan/figuren kommer aberrationen på riktmedlen med stor sannolikhet att vara större än det var före korrektionen. Detta beror på att ögats lins ändrar sina aberrationer när ögat ackommoderar (linsen ändrar sin form, blir mer kupig).

Vilka möjligheter har man som skytt idag att eliminera de aberrationer ögat har? Svaret är att man får kombinera med diopter med olika hål eller steglös irisbländare samt något filter i färgerna grön-gult – gult – orange – rött som tar bort det mera kortvågiga ljuset (blå-violett). Detta ljus sprids mera in i ögat och innehåller mer energi som på sikt kan skada näthinnan. Antireflexbehandling av korrektionsglasat, typ *superantireflex* som stänger ute blått ljus, gör att man ser klarare.

### Mödan värt?

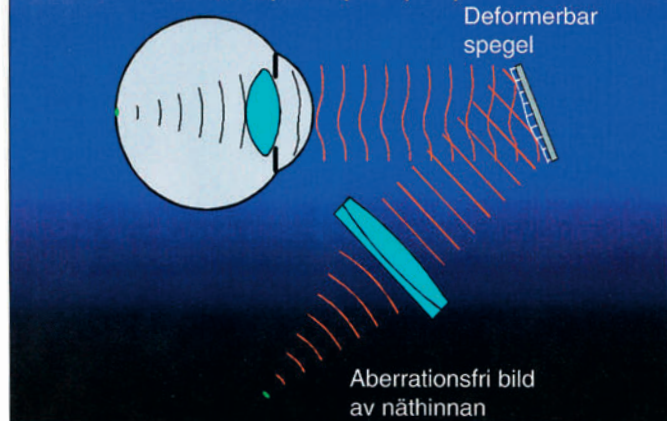
För olika typer av ögonundersökningar kommer adaptiv optik att ha stor betydelse i framtiden. Om man kan öka synskärpan till 2,0 – 2,5 är det då överhuvudtaget mödan värt att kompensera det normala ögats aberrationer? Kommer det att leda till mindre tavlor/figurer som blir mera finringade? Det får framtiden utvisa. Helt klart är att vi går en spännande framtid till mötes! □

## Ögats punktspridningsfunktion (PSF)



Varje bild visar hur ljuset från en avlägsen punktkälla avbildas till näthinnan (kallas punktspridningsfunktion) beräknad för olika pupillstorlekar för ett verkligt öga. E:et i mitten motsvarar visus 1.0 (5 bågminuter hög). När pupillen är liten dominerar diffraktionen. När diametern ökar blir aberrationerna större. Bäst fokus i detta fall c:a 3 mm pupill.

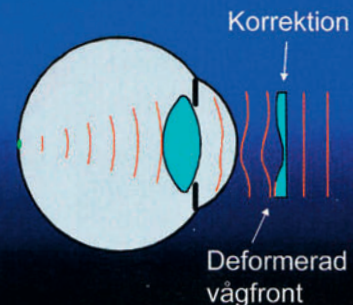
## Adaptiv optik (AO)



Ett sätt att eliminera ögats monokromatiska aberrationer är att använda sig av adaptiv optik. En deformierbar (datorstyrd) spegel gör vågfronten från ögat till en plan våg. Spegelns form blir densamma som vågfronten själv, men med halva amplituden. Med ett sådant system kan man både ta aberrationsfria bilder av näthinnan och projicera aberrationsfria bilder på näthinnan. Ögat kan alltså titta på exempelvis en syntavla via den deformerbare spegeln.

## Recept för korrektion

Vågfront = recept



Vågfrontsaberrationen själv ger oss direkt receptet för hur den skall korrigeras. Vad vi måste göra är att fördröja de delar av vågfronten som ligger före eller snabba på de som ligger efter. En lins gjord efter denna princip skulle få en tjockleksvariation som är proportionell mot vågfrontsaberrationen. Ljuset går långsammare i glas och där glasat är tjockare bromsas vågfronten.

Ett stort tack till Tekn. Doktor Peter Unsbo, Inst. för Fysik-Optik, Visuell Optik KTH, Stockholm, som ställt sitt föreläsningsmaterial till förfogande.