



# LUND UNIVERSITY

## Optics for Low Vision Enabling

Gustafsson, Jörgen

2004

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Gustafsson, J. (2004). *Optics for Low Vision Enabling*. [Doctoral Thesis (compilation), Certec - Rehabilitation Engineering and Design]. Certec, Lund University.

*Total number of authors:*

1

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00



DOKTORSAVHANDLING CERTEC, LTH NUMMER 1:2004

Jörgen Gustafsson

# Optik för synsvaga människor



 **Certec**

Avdelningen för rehabiliteringsteknik  
Institutionen för designvetenskaper  
Lunds tekniska högskola



## Förord

Jag har den största delen av mitt yrkesliv arbetat kliniskt för att hjälpa synskadade människor att använda sina synrester så effektivt som möjligt. Samma inställning har jag i forskningen. Mitt första tack går till alla de synskadade personer som ställt upp på alla mätningar och till syncentraler och ögonläkare som rekommenderat försökspersoner

Fortfarande är jag ibland förvånad över att jag i mitten av livet fick möjligheten att arbeta med forskning och utveckling på ett universitet. Det är en stor tillgång att kunna föra in all min erfarenhet av synrehabilitering och optometri i universitetsvärlden och nu senast in i det nya designhuset där vi kunnat bygga upp vårt Low Vision Enabling-laboratorium. För inte så länge sedan gjorde jag ju faktiskt de första mätningarna i ett kontorsrum i Certecs tidigare lokaler.

Den som utan tvekan skall få det största och varmaste tacket är givetvis min huvudhandledare professor Bodil Jönsson. Mycket skulle kunna sägas, men du vet vad jag känner och att det inte varit möjligt utan dig. Ingen annan hade nog vågat anta en optiker utbildad på det gamla sättet och med min bakgrund. Tack för alla idéer (fast jag inte genomfört alla), tålamod, uppmuntran och särskilt för allt du lärt mig, inte minst nu på slutet under skrivandet av avhandlingen.

Min biträdande handledare universitetslektor Peter Unsbo har tillsammans med sin doktorand Linda Lundström varit de som jag arbetat närmast under många och långa förberedelser, mätserier och analyser. Tack, Peter, för ditt stöd och alla dina kunskaper inom optik på fysikerns vis och för att du sett till att ert laboratorium byggs för mätningar av mina försökspersoners behov. Till Linda går även ett mycket stort tack för allt tålamod och alla svar på mina enkla frågor, sådana som ni fysiker tycker är självklara. Tack för den stora arbetsinsatsen du gjort för att mätningarna skulle kunna genomföras, särskilt tredjedag påsk, den dagen glömmet vi aldrig.

En person som är och har varit både försöksperson och arbetskamrat är Krister Inde. Han har varit den förste jag provat på och delaktig i många metodutvecklingar samt både bra och dåliga förslag. Att tacka dig är inte lätt för det finns så mycket vi gjort ihop. Särskilt tack för ditt stöd och all reklam du sprider om verksamheten! Ibland tycker jag som du vet att det är överdrivet, men du har i hög grad medverkat till att vi står där vi är nu.

För ett bra samarbete vill jag även tacka nuvarande optikerna Ivonne Fetchenheuer, från Tyskland, som gjorde sitt examensarbete i LVE-laboratoriet, och Ingrid Svensson i Stockholm som gjorde sitt examensarbete på KTH.

Mina arbetskamrater på Certec och övriga institutionen är både roliga, kreativa, kompetenta, gemytliga – och annorlunda. Jag vill tacka Er för allt stöd jag fått. Särskilt gäller det medarbetarna i LVE-laboratoriet och speciellt assistent Anna Blixt. Tack för allt du

genomfört, för allt du rättat till och för alla bilder och annat du fixat glatt och välvilligt. Ett stort tack går även till Eileen Deaner som översatt detta arbete till engelska och till Karin Rehman som stått för formgivningen.

Det viktigaste i livet är att ha familj och vänner som ställer upp och tror på en när man skall genomgå en sådan kris som vad ett avhandlingsarbete är. Viktigast har stödet från min fru Annelie varit som liksom våra pojkar som stått ut med att jag varit hemma så lite men väl behövt skjuts till och från stationen.

För att genomföra detta har det krävts resurser av olika slag. Därför vill jag tacka alla som bidragit ekonomiskt och materiellt. Den största bidragsgivaren har varit Berit och Carl-Johan Wettergrens stiftelse till vilken jag vill framföra ett mycket stort tack. Tack också till specialsliperiet Multilens AB och familjen Hellström som bidragit med alla tänkbara optiska korrekationer, till Topcon AB som ställt utrustning till förfogande och till: BBGR Svenska AB, Björn Sjöberg, Lidingö, Crafoordska stiftelsen, FFS – Föreningen för synrehabilitering, Helfrid och Lorentz Nilssons stiftelse, Karl Simsons Fond, KK-stiftelsens program ”IT och Hälsa”, Optikerförbundet, Optoteam AB, Region Skåne, Sparbanksstiftelsen Skåne, Stiftelsen Synfrämjandets forskningsfond, Synoptikfonden och Vägverkets Skyltfond.

## Sammanfattning

För människor med centrala skotom är den excentriska synen den enda som finns att tillgå. Också för den som lär sig att använda sin excentriska syn är denna sämre än den centrala synen, och det av två helt olika skäl: att ögonoptiken kan ge stora avbildningsfel excentriskt respektive att näthinnan utanför makula har en lägre funktion.

Denna avhandling handlar om den första av dessa faktorer: hur man kan studera och korrigera de excentriska avbildningsfelen hos synsvaga människor genom att *mäta* deras *ögonoptik*, *korrigera avbildningsfelen*, speciellt *astigmatismen*, samt utvärdera förbättringen i *synfunktionerna*.

De individuella variationerna är stora. Det gäller både astigmatismen och högre ordningens aberrationer, t.ex. koma. Arbetets huvudresultat är att synförbättringar genom excentriska optiska korrektioner är *möjliga* trots näthinnans betydligt sämre funktion utanför makula.

Excentrisk optisk korrektion påverkar både upplösningsförmåga och detektionsförmåga. Synförmågan påverkas också av medvetandegörande och träning av excentrisk fixation.

Sammantaget öppnar avhandlingen ett stort forskningsområde, särskilt viktigt när andelen äldre nu växer och det därför tillkommer fler människor med makuladegeneration. Förhoppningen är att det ska gå att utveckla fler och bättre mätmetoder och optiska korrektioner för excentrisk syn samt att det skall gå att studera separata delar av synfunktionen närmare, för att därigenom få en ökad förståelse för hur olika ögonsjukdomar påverkar olika synförmågor. Det är också viktigt att undersökningarna och förbättringarna framöver berör fler människor än de med stora centrala skotom och medveten excentrisk fixation samt att resultaten finner sin tillämpning i klinisk verklighet.

### Nyckelord

Astigmatism  
Avbildningsfel/  
aberrationer  
Centralt skotom  
Detektionsförmåga  
Excentrisk fixation  
Excentrisk korrektion  
Kontrastseende  
Svagsynoptik  
Synrehabilitering  
Synsvaga människor  
Upplösningsförmåga  
Visus

## Syfte

Avhandlingens övergripande syfte är att ge människor med stora bortfall i det centrala seendet bättre möjligheter att nyttiggöra sin syn genom:

1. Mätningar av ögonoptik vid excentrisk fixation hos människor med starkt nedsatt syn (sämre än 1,0 logMAR , decimal visus under 0,1).
2. Korrektioner av uppmätta optiska avbildningsfel.
3. Mätningar av korrektionernas inverkan på den excentriska synen.
4. Utveckling av träningsmetoder vid excentrisk fixation.

# Innehåll

Förord 3

Sammanfattning 5

Syfte 6

## 1. Inledning 9

Avhandlingsstudiernas omfattning, karaktär och kunskapsbidrag 9

Synfunktioner 10

Ögonoptik 13

Publikationer 14

## 2. Försökspersoner 19

Urvalskriterier och rekrytering 19

Storgruppen, 78 personer 20

Sju-gruppen 21

MoviTexts 9 försökspersoner 23

Synfältsmätningarnas 17 försökspersoner 23

Normalsynta försökspersoner, 20 + 50 personer 23

Se Mer, 17 barn 24

Rekryteringsbas 25

## 3. Utveckling av metoder och teknik för mätning av ögats optik vid excentrisk fixation 27

Raytracing 28

Dubbpassmetoden 28

Fotorefraktionering 28

Vågfrontsmätning excentriskt 30

Ny subjektiv metod – optimering av kontrastkänslighet 36

## 4. Utveckling av metoder för mätning och träning av excentrisk syn 37

Datoriserade synprovningstavlor – visusmätning 37

Mätning av kontrastsyn 38

Försvinnande ringar 38

PVE – perifer visuell evaluering 39

Synfältsmätning vid bortfall i det centrala seendet 42

Träning av excentriskt seende 43

## 5. Resultat 45

Excentrisk ögonoptik 45

Excentrisk synfunktion, med och utan korrektion 52

Inverkan av träning 62

## 6. Diskussion 65

Värdering av de optiska resultaten 66

Värdering av synfunktionsresultaten 66

## 7. Slutsatser 69

Referenser 70

Bilagor 75





# 1. Inledning

Denna avhandling handlar om synsvaga människors *synfunktioner och ögonoptik*, hur de kan mätas och hur såväl funktioner som mätmetoder kan förbättras. De berörda personerna har absolut centralt synfältsbortfall/skotom, internationellt betecknat CFL, Central visual Field Loss. Deras visus är sämre än logMAR 1,0, decimal visus under 0,1. De använder ofta excentrisk fixation, och det de vill se avbildas därför på näthinnan utanför skotomet. Där ute har emellertid näthinnan en starkt nedsatt funktion. Dessutom kan bilden där vara förvrängd genom kraftiga avbildningsfel i ögats sneda optik. *Frågeställningen här är om en optisk kompensation för dessa avbildningsfel förbättrar synen, och hur den sneda optiken i så fall skall mätas.*

Vi har i denna studie begränsat oss till personer som kan använda excentrisk fixation, helst medvetet, men det finns inget som säger att denna begränsning måste bestå framöver. Min förhoppning är att resultaten av denna avhandling på sikt skall bli till hjälp för många.

## Avhandlingsstudiernas omfattning, karaktär och kunskapsbidrag

Sammanlagt har drygt 170 försökspersoner medverkat till de resultat som läggs fram här. Av dessa hör drygt 100 till gruppen synsvaga människor. Jag har dock erfarenhet av betydligt fler synsvaga människor än dessa – jag uppskattar att jag under min tid som optiker sammanlagt mött minst 5 000 synsvaga människor. I någon bemärkelse ingår också dessa i avhandlingen, eftersom det är min erfarenhet av dem och deras problem som varit min drivkraft, inspirationskälla och ursprungliga erfarenhets- och kunskapsbank.

Avhandlingen är unik redan genom att den studerar excentrisk syn hos människor med nedsatt central syn – det genomgående för de andra enstaka studier som finns av excentrisk syn har varit att de handlat om excentrisk syn hos normalsynta människor [Thibos et al. 1987; Wang et al. 1997b]. Även om flera översiktliga mätserier varit långa, är de flesta resultat i detta arbete av genombrottskaraktär baserade på enskilda fallstudier av en liten grupp människor. Det finns många olika skäl till detta:

- Mätningarna har förutsatt försökspersoner med synnerligen speciella egenskaper, dels vad gäller deras grad av synskada och

förmåga till excentrisk fixation, dels vad gäller deras möjligheter att ställa upp på upprepade mätningar av olika slag vid ett flertal olika tillfällen.

- De flesta mätmetoderna är än så länge både tidsödande och ansträngande.
- Området saknar än så länge väl validerade instrument som kunnat möjliggöra kategoriseringar och därpå följande statistiska mätserier.

Bland våra försökspersoner med stora bortfall i det centrala seendet har det efterhand utkristalliserat sig en kärngrupp på 20–30 människor. De har varit (och är) av ovärderlig betydelse, inte bara som mätobjekt utan också genom att de har betänkta erfarenheter av sina synproblem och kunnat berätta om dem för oss. Eftersom det inte finns någon färdig tankestruktur eller begreppsbyggnad, är det särskilt angeläget att koncentrera sig på de viktigaste problemen, och det är försökspersonerna som själva bäst vet vad som är viktigast för dem att kunna klara av. Samtalen med försökspersonerna har i vissa fall lett till aha-upplevelser för dem utöver vad vi optiskt kunnat åtgärda. Dit hör hur en försöksperson kunnat träna upp sin visus från 1,2 logMAR till bättre än 1,0 logMAR (decimal visus 0,06 till över 0,1) – objektivt fastställt – helt utan hjälp av optiska tillsatser. Det enda som behövdes var att han blev medvetandegjord om en användbar excentrisk fixationsriktning.

Jag kommer i det följande att redovisa avhandlingens bidrag till tidigare kunskaper inom svagsynområdet:

- Ökad kunskap om användning av synrester hos personer med stora bortfall i det centrala seendet.
- Betydelsen av optiska korrektioner av aberrationer i det perifera seendet för användning av synrester.
- Utveckling av metoder och teknik för mätning av ögats optik vid excentrisk fixation.
- Utveckling och värdering av metoder och tester för mätning av synfunktionen vid excentrisk fixation.
- Hur medvetandegörande och/eller träning av excentrisk syn vid bortfall i det centrala seendet kan påverka synfunktionen.

## Synfunktioner

Synen har många olika funktioner (bildsyn, upplösningsförmåga, kontrastsyn, rörelsesyn, ansiktigenkänning) och inverkar också på balansen. Ett optiskt väl fungerande öga (med eller utan optisk korrektion) är en nödvändig förutsättning för en god syn. Somliga synnedläggningar kan åtgärdas i det närmaste totalt med optiska åtgärder, medan andra bara påverkas marginellt.

Vården har sina sätt att se på syn (kliniska undersökningar på ögonkliniker, syncentraler, kompensatoriska hjälpmedel, pedagogiska

hjälpmedel), kognitionsforskningen och den experimentella psykologin har sina. För den grupp jag är särskilt intresserad av, nämligen människor med visus sämre än logMAR 1,0 (decimal visus under 0,1) med absolut centralt skotom, finns dock anmärkningsvärt få studier, alla kategorier, utöver dem som berör träning med excentrisk fixation vid centrala skotom. [Deruaz et al. 2002; Frennesson et al. 1995; Lei et al. 1997; Nilsson et al. 2003]. Här var Sverige tidigt ute [Bäckman et al. 1979; Inde 1978].

Olika metoder behövs för att mäta skilda synfunktioner. Speciellt viktigt är detta för gruppen synsvaga individer. För dem är traditionella synprovningmetoder otillräckliga, eftersom optiska förbättringar sällan leder så långt att de kan läsa text på ett normalt sätt. Men optiska korrekationer kan ändå påverka både bildsyn och upplösningsförmåga. Dessutom kan de ha effekter på rörelsesyn, ansiktsigenkänning, balans, mm.

Synen är det sinne som ger den normalseende människan mest information. Synskärpa eller visus, att kunna identifiera något, är det vanligaste måttet på synfunktionen, men visus säger långt ifrån allt om synförmågan. Det finns flera andra mått därutöver:

Synfunktion	Typiskt stimuli
Detektion	Svart punkt
Lokalisation	Parallellförskjutna linjer
Upplösning	Två svarta punkter/linjer/gitter
Identifiering	Bokstäver eller siffror

*Detektion* eller upptäckarsyn är det mest grundläggande – man ser något men vet inte vad det är. Den minsta vinkel som en svart punkt med hög kontrast behöver uppta för att uppfattas av ett normalsynt öga är ungefär 15 bågsekunder (motsvarar en 0,07 mm punkt på 1 m avstånd).

*Lokalisation* är den minsta spatiala förskjutning som kan urskiljas mellan två linjer (verniersynskärpa). Det är lättare att upptäcka en parallellförskjutning mellan två linjer än att upptäcka en punkt enligt ovan. Beroende på linjens längd kan man uppfatta skillnader på 2–6 bågsekunder när, alltså ofta mindre än 0,03 mm förskjutning mellan två linjer på 1 m avstånd.

*Upplösning* uttrycks ofta i form av avståndet mellan två svarta streck i den minsta bokstav man kan urskilja. I genomsnitt normal upplösningsförmågan för ett människoöga brukar anges till 1 bågminut (motsvarar avståndet 0,3 mm mellan strecken på 1 m avstånd) vilket ger visus 1,0 i decimaltal (0,0 logMAR).

*Identifiering* är det vi normalt refererar till som visus, minsta möjliga bokstav, siffra, symbol eller optotyp som kan identifieras vid givet avstånd. I praktiken anses ett identifieringstest vara det samma som ett upplösningstest [Norton et al. 2002].

Denna avhandling är helt inriktad på att undersöka och förbättra *synfunktionen hos synsvaga människor*. Diagnostisering av ögonsjukdomar faller således utanför avhandlingens område. För syn lika väl som för andra funktioner fångar *funktion* respektive *diagnos* in väsensskilda domäner av en nedsättning. WHO har följdriktigt ett system för att klassificera funktioner, International Classification of Functioning, Disability and Health, ICF [WHO 2001], och ett för att klassificera diagnoser, International Classification of Diseases, ICD-10 [WHO 1992].

Funktioner finns alltid i ett sammanhang. Rousseau hade, som Arne Svensk noterat [Svensk 2003], knappast rätt i sin utsaga ”I de blindas rike är den enögde kung”. Om blinda människor bygger ett rike för sina ändamål, innehåller det varken bilar, trafikljus, motorvägar, krukväxter, läppstift, oljemålningar eller andra företeelser som kräver att man kan se. I de blindas rike kan människorna orientera sig med hjälp av doft, känsel och hörselintryck och i ett sådant samhälle har den enögde inga fördelar av sin syn, snarare tvärtom. Men både blinda och synsvaga människor lever och växelverkar med seende människor, ofta på de seende människornas villkor. Det är därför viktigt att *i* de seende människornas miljö göra en synfunktionsnedsättning så lite funktionshindrande som möjligt.

Huruvida en funktionsnedsättning blir ett allvarligt funktionshinder eller ej beror dels på individen själv och hennes hjälpmedel, dels på omgivningen. Två människor med en och samma synfunktionsnedsättning kan i en och samma miljö uppleva helt olika funktionshinder. Somliga agerar som om de var seende och springer exempelvis i tunnelbanetrappor, medan andra har svårt att alls klara sig. Delar av dessa skillnader visar sig redan vid direkta synfunktionsmätningar, andra visar sig främst i den komplexa vardagen. När många olika kognitiva förmågor samverkar, inte minst de olika förmågor som ryms inom synen, kommer det fram effekter som inte avslöjas i gängse kliniska test. Det finns synsvaga människor som inte kan känna igen en annan människa på utseendet, inte heller läsa eller handarbeta, men som däremot omedelbart ser om det ligger något på golvet som inte borde ligga där. Många synskadade människor med centrala skotom (och inte minst deras anhöriga) vittnar om hur bra ”upptäckarsyn” de har: de kan inte läsa liten text men väl upptäcka skräpet på golvet och flygplanet på himlen.

Det behövs mer *situerad forskning* på detta området liksom på andra funktionsnedsättningsområden, se ”Situated research and design for everyday life”, [Jönsson et al. 2004], forskning inriktad på vad människor faktiskt *gör*, ”Where the action is”, [Dourish 2001]. I väntan på en sådan måste man lyssna extra noga på hur människor själva beskriver sin syn i vardagssituationer. Hur upplever de t.ex. att rörelse eller balans påverkas av optiska korrekationer?

Under mer än 16 års arbete på syncentral har jag fäst mig vid hur personer med likartade bortfall i det centrala seendet kan använda sin synrest olika bra. Mest påtagligt är detta om man jämför visus med storleken på bortfallet i det centrala seendet. Vissa kan ha ganska litet bortfall men dåligt visus, andra kan ha stort bortfall men bättre visus. Skillnaderna förklaras långt ifrån alltid av olikheter i sjukdomar och skador, olika förlust av receptorer på näthinnan eller olika kopplingar till hjärnan via synnerven.

Vid refraktionering på synsvaga människor får man ofta varierande och svårbedömda objektiva resultat som skiljer sig från *subjektiv refraktionering* ("Bättre eller sämre?", alltså att personerna själva avgör vilken av två korrekationer som ger det bästa resultatet). Det går inte att betvivla att försökspersonen själv vet bäst. Samtidigt visar denna avhandling på hur samspel med forskning kan tillföra nya möjligheter, ibland direkt och ibland på lång sikt.

## Ögonoptik

Studier av ögonoptik kan bedrivas dels med hjälp av den begreppsapparat och de mätmetoder som är fysikens, dels med hjälp av motsvarande i ögonoptikervärlden. Detta arbete utnyttjar bådadera. Begreppen och mätmetoderna från ögonoptikervärlden hade jag med mig från tidigare. Fysikens optiska begrepps- och metodvärld har jag mött genom ett nära samarbete med gruppen för Visuell Optik vid avdelningen för Biomedicinsk Fysik och röntgenfysik, Institutionen för fysik, KTH, Stockholm.

Många *modeller* av ögat och dess optiska system finns publicerade sedan det berömda "Gullstrands schematiska öga" [Gullstrand 1909]. I vissa fall har det också gjorts beräkningar av aberrationer utanför optiska axeln [Dunne et al. 1987; Kooijman 1983; Liou et al. 1997; Pomerantzeff et al. 1984; Popiolek-Masajada et al. 1999; Wang et al. 1997a]. Det visar sig att hornhinnans form har mindre betydelse för uppkomsten av sned astigmatism vid snett infall i ögat [Smith et al. 1991]. I stället är det i huvudsak ögats lins och dess placering som åstadkommer aberrationer (i första hand sned astigmatism) [Millodot 1984]. Ögats normala lins ger mindre aberrationer (avbildningsfel) än en intraokulär lins [Aoshima et al. 2004; Vilarrodona et al. 2004].

Ögats excentriska optik har studerats tidigare. Med anknytning till detta arbete kan nämnas hur det i Spanien finns en lång tradition bland fysiker att forska på ögats optik och dess påverkan på synen [Artal et al. 1995a; Navarro et al. 1993]. I USA har fysikern Larry Thibos och hans grupp i Indiana gjort en hel del arbeten om den perifera optiken och näthinnans begränsningar [Thibos et al. 1987; Thibos et al. 1996; Wang et al. 1996; Wang et al. 1997b]. I Australien har Atchison och Smith studerat ögats optik, teoretiskt och experimentellt [Atchison et al. 2000; Atchison et al. 2002; Smith et

al. 1991] och på senare tid även publicerat jämförande mätningar av ögats optik med olika metoder [Atchison 2003].

När det gäller mätmetoder för ögats excentriska optik, har de flesta äldre studier gjorts med den första typen av manuella optometrar [Charman et al. 1982; Ferree et al. 1931; Millodot 1981]. Ett stort arbete genomfördes på 1970-talet på 442 personer med retinoskopi [Rempt et al. 1971]. Det arbetet har blivit en flitigt använd referens. På 1980-talet gjorde Jennings och Charman den första värderingen av ögats optik utanför optiska axeln med en variant av dubbelpassmetoden [Jennings et al. 1981]. Metoden har sedan förbättrats genom användning av laserljus [Santamaria et al. 1987]. På 1990-talet har det publicerats många artiklar från olika grupper av forskare som gjort mätningar med dubbelpassmetoden. Nackdelen med dessa är att de bara har mätt på ett fåtal friska ögon med olika refraktion [Artal et al. 1995b; Navarro et al. 1993; Williams et al. 1996]. Deras sammanfattning kan sägas vara att *för friska ögon* räcker den naturliga ögonoptiken bra också perifert med tanke på näthinnans begränsningar. I en senare undersökning med dubbelpassmetoden har fyra ögons defokusering, astigmatism och koma (den största av högre ordningens aberrationer som ger en kometliknande avbildning) mätts upp i vinklar ut till 45° [Guirao et al. 1999]. I jämförbara vinklar var astigmatism och koma ganska lika, men fokuseringen varierade. Det infallande ljusets vinkel mot optiska axeln var den dominerande orsaken till astigmatismen. Forskare med intresse för myopi och emmetropisering har använt fotorefaktion och mätt refraktionsfel i det perifera seendet [Seidemann et al. 2002].

## Publikationer

Denna avhandling baserar sig på studier av såväl ögats optik som synfunktionen. Dessa har resulterat i sju artiklar och ett antal konferensbidrag. Min licentiatuppsats från år 2001 ligger också till grund för avhandlingen.

### PUBLICERADE ARTIKLAR

1. Gustafsson, J., Terenius E., Buchheister, J., Unsbo, P. (2001). *Peripheral Astigmatism in Emmetropic Eyes*, Ophthalm. Physiol. Opt. Vol 21, No. 5, pp 393–400.

Studien syftade till att kartlägga ögats optik utanför optiska axeln hos centralt emmetropa personers ögon. Därmed skulle det gå att synliggöra huruvida fokusering och sned astigmatism kunde uppskattas via ögonmodeller eller om helt individuella mätningar måste göras för varje öga och varje aktuell excentrisk vinkel.

2. Gustafsson, J. (2002). *The first successful eccentric correction*, Visual Impairment Research -2001. Vol. 3, No. 3, pp. 147–155.

Studien beskrev det första fall med excentrisk korrektion som uppvisat en förbättrad syn. Vid det stora bortfallet i det centrala seendet och den därför nödvändiga stora excentriska fixationsvinkeln gick det att förbättra bildkvaliteten på näthinnan.

3. Gustafsson, J., Unsbo, P. (2003) *Eccentric correction for off-axis vision in central visual field loss*, Optometry & Vision Science. Vol. 80, No. 7, pp. 535–541 .

Här redovisades resultaten efter excentrisk korrektion av sju personer med stora bortfall i det centrala seendet. Metoderna som hade utvecklats beskrevs och problemen med adekvat mätning av ögats excentriska optik och syn diskuterades.

4. Gustafsson, J., Inde, K. (2004) *The MoviText Method: Efficient pre-optical reading training in persons with central visual field loss*, accepterad för publikation i Technology and Disability.

Människor med stora bortfall i det centrala seendet kan behöva kraftigt förstörande hjälpmedel för läsning. Det kräver i sin tur goda träningsmetoder. MoviText presenteras som en sådan metod och resultaten av träningen redovisas.

5. Fetchenheuer, I., Gustafsson, J. (2004) *Visual field testing in patients with central field loss and low vision rehabilitation implications*, manuskript.

Syftet var att undersöka om synfältsmätningar kan förbättras genom fixationshjälp för människor med stora centrala synfältsbortfall och vilken typ av fixationshjälp som i så fall är den bästa.

6. Lundström, L., Unsbo, P. and Gustafsson, J. (2004) *Measuring peripheral Wavefront Aberrations in Subjects with Large Central Visual Field Loss*, Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. 5314, 209.

Beskriver den för excentriska mätningar byggda vågfronts-aberrometern. Ger även ett exempel på mätning av ögonoptiken hos en person med stort centralt skotom .

7. Lundström, L., Gustafsson, J., Svensson, I., Unsbo, P. (2004) *Assessment of Objective and Subjective Eccentric Refraction*, manuskript.

Studien redovisar en undersökning av likheter och skillnader mellan fyra mätmetoder när de tillämpas på 50 ögons optik i de excentriska vinklarna 20° och 30°.



## PRESENTERADE KONFERENSBIDRAG

Delar av detta arbete har presenterats på flera större konferenser, se nedan.

Gustafsson, J. (1999). *Widesight*, Optometridagarna, Stockholm Conference Center Norra Latin, Stockholm.

Gustafsson, J., Jönsson, B., Möller, B., Pettersson, S. (2000). *Raytracing in the Compensation of the Peripheral Optics of the Eye*, poster presenterad vid Northern Optics 2000, Uppsala, Sverige, Abstract Publikation, ISBN 91-7170-589-9.

Unsbo, P., Biedermann, K., Buchheister, J., Gustafsson, J., Terenius, E. (2000). *Oblique Astigmatism and Curvature of Field in the Human Eye*, poster presenterad vid Northern Optics 2000, Uppsala, Sverige, Abstract Publikation, ISBN 91-7170-589-9.

Gustafsson, J., Jönsson, B. (2000). *Widesight – A Project Aimed at Improving Peripheral Vision*, EuroSight 2000, Veldhoven, Holland, in "Developments in Low Vision: Abstracts of the Fourth European Conference on Low Vision" De Blauwe Kamer Theofaan Groep Vision, ISBN 90-76898-01-4.

Gustafsson, J., Unsbo, P. (2001). *Correcting peripheral refractive errors in low vision subjects with central scotomas*, poster 4581 ARVO, Fort Lauderdale, USA.

Gustafsson, J., Unsbo, P. (2001). *Excentrisk korrektion*, Optometridagarna, Stockholm Conference Center Norra Latin, Stockholm.

Gustafsson, J., Unsbo, P. (2002). *Eccentric Correction In Low Vision Subjects with Central Visual Field Loss*, poster 2004 ARVO, Fort Lauderdale, USA.

Unsbo, P., Franzén, L., Gustafsson, J. (2002). *Increased Dynamic Range of a Hartmann Shack Sensor by B-Spline Extrapolation: Measurement of Large Aberrations in the Human Eye*, poster 2021 ARVO, Fort Lauderdale, USA.

Gustafsson, J. (2002). *Eccentric correction in CFL subjects*, Corso Internazionale Sulla Riabilitazione Visiva Del Soggetto Ipovedente, Padova, Italien.

Gustafsson, J., Unsbo, P. (2002). *Eccentric correction in Central Visual Field Loss*, Vision 2002, 7th International Low Vision Conference, abstract R2 2, Göteborg.

Gustafsson, J. (2003). *Eccentric correction and Low Vision Enabling*, Convegno Internazionale di Ipovisione, Caltagirone, Italien.

Lundström, L., Unsbo, P., Gustafsson, J. (2004). *Measuring peripheral wavefront aberrations in subjects with large central visual field loss*, Code No 5314–40, SPIE Photonics West, 24 januari, San Jose, USA.

Unsbo, P., Lundström, L., Gustafsson, J. (2004). *Finding a spectacle correction in Keratoconus using a Hartmann-Shack sensor: a case study*, Poster 2849, ARVO, Fort Lauderdale, USA.

Lundström, L., Unsbo, P., Gustafsson, J. (2004). *Assessment of objective and subjective eccentric refraction*, Poster 2757, ARVO, Fort Lauderdale, USA.

Gustafsson, J., Lundström, L., Unsbo, P. (2004). *Eccentric correction in subjects with large central visual field loss*, II EOS Topical Meeting on Physiological Optics, september, Grenada, Spanien.

Utöver detta har en rad presentationer gjorts för synskadade människor (vid fem större sammankomster) och personal inom rehabilitering (vid sex större sammankomster). Jag har också publicerat fyra populärvetenskapliga artiklar.

På våra hemsidor: [www.certec.lth.se/lve](http://www.certec.lth.se/lve) och [www.certec.lth.se/widesight](http://www.certec.lth.se/widesight) har fortlöpande information om projekten presenterats.



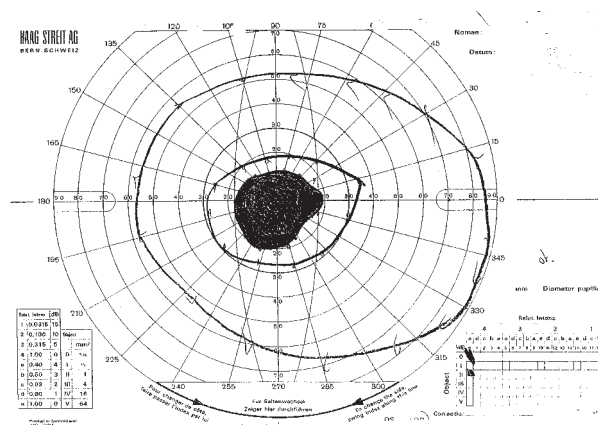
## 2. Försökspersoner

I detta kapitel presenteras samtliga försökspersoner, rekryteringen av dem, hur successiva urval gjordes genom olika bedömningar och mätningar. Sammantaget har detta utgjort en stor del av avhandlingsarbetet. Forskningsetiska kommittén vid Lund universitet har gett sitt godkännande (LU 660-99 och LU 196-01) liksom Karolinska institutets forskningsetiska kommitté i Stockholm (DNR 02-205).

### Urvalskriterier och rekrytering

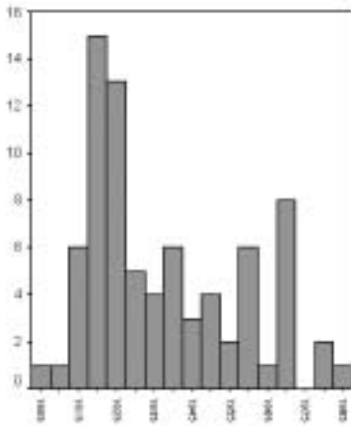
Även om funktionshindrade människor ofta vill ha en förbättring av sin situation är det inte alltid lätt att få kontakt med dem. Att det till detta projekt kommit in över 700 intresseanmälningar från synskadade personer beror till största delen på det massmediala intresse som visats sedan projektets början. Vi har fått tillgång till över 400 journaler från ögonläkare och/eller syncentraler. De ursprungliga urvalskriterierna krävde av försökspersonerna att de hade eller kunde utveckla en medveten excentrisk fixation. Efter inledande försök, när de första mätningarna med fotorefraktionering gjordes, visade det sig att det krävdes ytterligare specifikation. Urvalet gjordes i samspel med de 34 syncentralerna i Sverige.

De slutliga urvalskriterierna löd: *Den berörda skall ha en sedan flera år stabil synskada med centralt absolut skotom i båda ögonen. Detta skall omfatta minst 10° av det centrala synfältet. Personen skall ha hittat eller ha förutsättningar att hitta en eller flera excentriska fixationsriktningar, dvs. kunna förlägga bilden utanför makula.*

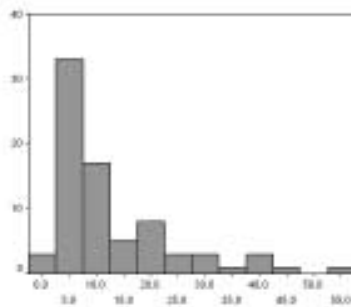


Figur 1. Typiskt synfält gjort med Goldman-perimetri över ett absolut central skotom hos en av de synskadade försökspersonerna som valts ut för mätningar.

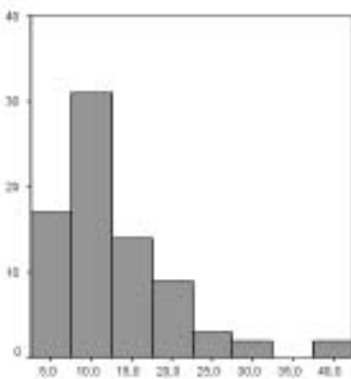
Alla som sänt sin journal från ögonläkare eller syncentral till oss har fått ett svarsbrev där besked om bedömningen meddelats. Det har tillkommit många uppföljningssamtal eftersom intresset varit och är stort, inte bara numerärt utan också individuellt.



Figur 2a. Försökspersonernas födelseår.



Figur 2b. Antal år som synskadan varit stabil.



Figur 3. Försökspersonernas skotom.

## Storgruppen, 78 personer

Totalt bedömdes 82 personer lämpliga för att komma på screening-besök till laboratoriet. Av dessa har 78 kommit på besök och screenats för lämplighet för excentrisk korrektion.

De flesta försökspersonerna är födda mellan 1915 och 1925. Dock är fördelningen sned och medelfödelseåret är 1937–1938. Som regel har de haft sin synskada med stabilt visus i 5–10 år. Även här är fördelningen sned, och i medeltal har synskadan funnits i 13 år (se fig. 2a och b). Flertalet har med andra ord haft lång tid på sig att vänja sig vid att bara se med det perifera seendet.

Bland de 78 försökspersonerna var 40 män och 38 kvinnor, en anmärkningsvärt jämn könsfördelning med tanke på de berörda åldersgrupperna.

Av de 78 försökspersonerna hade 67 personer ett klart bästa öga. Höger öga var det bästa hos 31 personer och vänster hos 36 personer. 11 personer hade tämligen likartad syn på båda ögonen. Vilket öga som är dominant har inte värderats utan bara vilket öga som har den bästa synfunktionen. Av dem som har likartad syn på båda ögonen kan de flesta medvetet växla mellan dem.

Orsak till synnedsättningen hos de 78 personer som kom till oss för screeningundersökning var:

Antal	Orsak till synnedsättningen
42	Åldersrelaterad makuladegeneration
23	Näthinne degenerering vid yngre ålder *
4	Lebers opticusatrofi
9	Övriga **
Totalt 78	

\* Sjukdomar som Stargardts syndrom eller liknande. Alla dessa hade fått sin synskada i ålder mellan 15 och 30 år och har levt med sin synskada många år.  
\*\* Exempelvis postoperativa tillstånd efter tumöroperation eller inflammationer.

Den ungefärliga storleken på det absoluta synfältsbortfallet i hela gruppen redovisas i fig. 3. Här syns en klar övervikt för skotom runt 10° storlek. Vi har främst intresserat oss för personer med stora absoluta skotom. De flesta som senare fick en excentrisk korrektion hade skotom på 15–30°.

Förvånansvärt få var fullt ut medvetna om möjligheten till excentrisk fixation. Det tyder på att det finns en stor potential för synrehabilitering att initiera synförbättringar redan genom att väcka tanken om excentrisk fixation hos patienten. Hela 48 personer (59 %)

i vår väl utvalda grupp var inte alls medvetna om att de utnyttjade en excentrisk fixation. Bara 30 personer (37%) hade en något så när klar uppfattning om hur de kunde använda en annan punkt på näthinnan för att bäst utnyttja sin synrest i olika situationer. Även bland dessa fanns det vissa personer som inte hittat sin optimala blickriktning utanför bortfallet men som gjorde det under mätningarnas gång.

Astigmatismen bestämdes i första omgången med hjälp av fotorefraktionering med PowerRefraktor. För att korrektionen av sned astigmatism ska vara meningsfull uppskattades att det krävs minst 1,0–1,5 dioptriers (D) astigmatism.

Av den grupp försökspersoner som här beskrivs uppfyllde 15 personer (19 %) våra kriterier och valdes ut för excentrisk korrektion.

## Sju-gruppen

Sju av de synskadade försökspersonerna redovisas individuellt nedan. Många mätningar har genomförts på just dem och de förekommer på flera ställen i resultatkapitlet. Ursprungligen bestod gruppen av åtta personer, men den åttonde valde att inte fullfölja mätningarna.

Den försökspersonsnumrering (FP 1, FP 2, etc) som används här används också i resultatkapitlet. De synfältsmätningar som visas är gjorda på det bästa ögat med den datoriserade versionen av Auto-plot CAPP [Fetchenheuer et al. 2004] som beskrivs på s. 42. Här följer beskrivningar av utgångsläget för var och en av försökspersonerna.

### FP 1: MAN, 57 ÅR

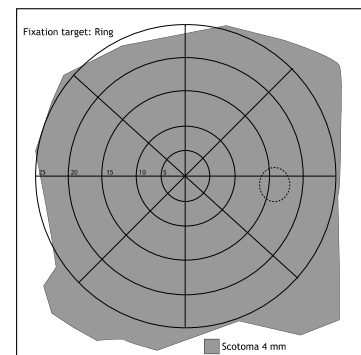
Oförändrad synskada i 20 år (skadan har funnits i 40 år), förorsakad av näthinnegeneration.

Skotom, enligt perimetri fig. 4, visus 1,7 logMAR (decimal visus 0,02) med det högra, bästa, ögat. Använder ingen korrektion. Fixerar excentriskt både uppåt och nedåt och klarar sin orientering bra trots den låga synnivån. Arbetar som telefonförsäljare på möbelföretag.

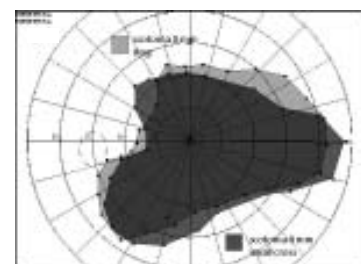
### FP 2: KVINNA, 61 ÅR

Oförändrad synskada i 20 år (skadan har funnits i 30 år) orsakad av näthinnegeneration. Skotom, enligt perimetri fig. 5, visus 1,4 logMAR (decimal visus 0,04) med det vänstra, bästa, ögat. Använder korrektion sf.  $-3,75$ . Har själv hittat en tydlig och stabil excentrisk fixation, med vänster öga cirka  $20^\circ$  åt höger i förhållande till ögats optiska axel. Utnyttjar sina synrester bra och är välförsedd med hjälpmedel. Utvecklare av stordatorsystem på försäkringsbolag. Har tidigare också arbetat med programmering.

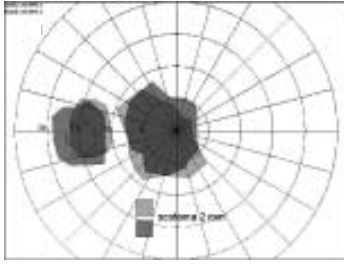
På grund av den väl intränade excentriska fixationen är denna person lämplig för utvärdering av excentrisk korrektion. Därför förekommer hon som exempel på flera ställen.



Figur 4. Synfält höger öga för FP 1. Täcker drygt  $30^\circ$  av det centrala synfältet.



Figur 5. Synfält vänster öga för FP 2. Försöker fixera rakt fram, men har en invand fixation åt höger som inte går att undvika. Skillnaden mellan det ljusa och mörka området beror på olika fixationsstöd, se s. 42.

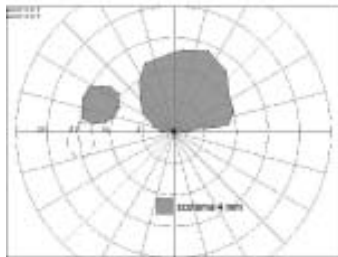


Figur 6. Synfält för vänster öga FP 7. Skillnaden mellan det ljusa och mörka området beror på olika fixationsstöd, se s. 42.

#### FP 7: KRISTER INDE, 57 ÅR

Oförändrad synskada i 30 år (skadan har funnits i 35 år), förorsakad av Lebers opticusatrofi.

Skotom, enligt perimetri fig. 6, visus 1,3 logMAR (decimal visus 0,05) med det vänstra, bästa, ögat. Använder ibland korrektion sf.  $-1,0$ . Han är tränad att använda excentrisk fixation uppåt och använder för läsning ca  $8^\circ$  upp. För orientering t.ex. cykling fixerar han ca  $20^\circ$  upp. Arbetat som synpedagog och inom näringslivet på olika positioner, bland annat som copywriter på reklambyrå. Krister Inde har i föreliggande avhandling varit den förste som fått prova alla olika metoder och program. Han har även hjälpt till att utveckla vissa metoder.

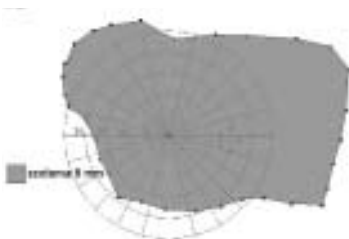


Figur 7. Synfält vänster öga för FP 11. Perimetri är gjord med fixation uppåt, med ett stort centralt fixationskors som gör att skotomet blir decentrerat.

#### FP 11: MAN, 79 ÅR

Oförändrad synskada i 4 år (skadan har funnits i 6 år), förorsakad av makuladegeneration.

Skotom, enligt perimetri fig. 7, visus 1,3 logMAR (decimal visus 0,05) med det vänstra, bästa, ögat. Har även opererats för katarakt och fått en intraokulär lins (IOL), och har viss nytta av en svag astigmatisk korrektion, sf.  $+0,5$  cyl.  $-0,75$  ax.  $165^\circ$ . Har själv tränat sig att hitta sin bästa excentriska fixation med vänster öga ungefär  $10^\circ$  upp. Är inte yrkesaktiv längre men följer fortfarande med inom sitt tidigare forskningsområde.



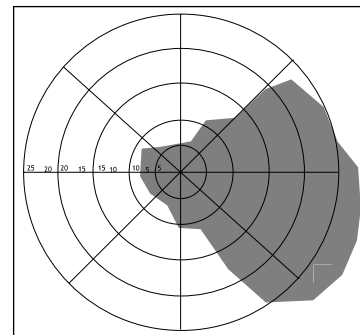
Figur 8. Synfält höger öga för FP 17. Försöker fixera rakt fram.

#### FP 17: MAN, 42 ÅR

Oförändrad synskada i 5 år (skadan har funnits i 26 år), förorsakad av kronisk inflammation i ögonen (uveit/retinit). Han har vissa grumlingar i ögats lins och glaskropp. Skotom, enligt perimetri fig. 8, visus 1,6 logMAR (decimal visus 0,025) med det högra, bästa, ögat. Använder korrektion sf.  $-2,5$  cyl.  $-1,0$  ax  $50^\circ$ . Utnyttjar mest excentrisk fixation åt höger och lite uppåt. Har disputerat i företagsekonomi och arbetar med varumärkesstrategier.

### FP 21: KVINNA, 33 ÅR

Oförändrad synskada i 10 år (skadan har funnits i 18 år), efter en operation av en hjärntumör som satt i synnervskorsningen. Skotom, enligt perimetri fig. 9, visus 1,4 logMAR (decimal visus 0,04) med det högra, bästa, ögat. Använder ingen korrektion. Använder bara en excentrisk fixation runt 17° ut åt höger för allt medvetet seende. Utnyttjar sin synrest bra, har studerat på högskola till civilekonom och kan idag klara ett kamrersarbete, mycket tack vare förstöringsprogram i datorn och förstörande TVsystem, CCTV.

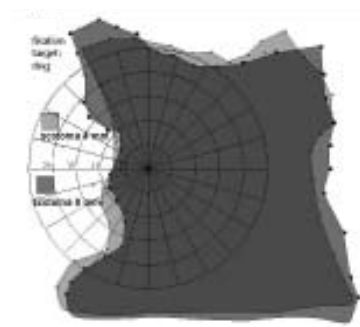


Figur 9. Synfält höger öga för FP 21. Försöker fixera rakt fram.

### FP 70: MAN, 44 ÅR

Oförändrad synskada i 2–3 år (skadan har funnits i 4 år), förorsakad av näthinne degenerering.

Skotom, enligt perimetri fig. 10, visus 1,5 logMAR (decimal visus 0,032) med det högra, bästa, ögat. Använder ingen korrektion. Han var när han kom till oss som en del i sin rehabilitering inte medveten om sin excentriska fixation. Är sedan många år arbetslös.



Figur 10. Synfält höger öga för FP 70. Försöker fixera rakt fram. Skillnaden mellan det ljusa och mörka området beror på olika storlek på stimuli, den ljusare 4 mm och den mörkare 8 mm.

## MoviTexts 9 försökspersoner

MoviText syftade till att medvetandegöra och systematiskt använda excentrisk fixation vid läsning av text som matades fram i variabel hastighet på datorskärm. 12 personer av ”stor-gruppen” erbjöds vara med. Av dessa fullföljde 9 personer hela träningsprogrammet.

## Synfältsmätningarnas 17 försökspersoner

I ett sidoprojekt till denna avhandling har olika fixationshjälpmedel till den datoriserade synfältsmätningen Auto-plot, CAPP testats [Fetchenheuer et al. 2004]. Vid de flesta synfältsmätningar finns det bara ett litet fixationsmärke som kräver centralt bra syn för att kunna användas. Om man saknar central syn blir därför oftast synfältsmätningar osäkra. Vetskap om det centrala skotomets läge och utseende är viktigt för synrehabiliteringen, särskilt om man vill träna excentrisk fixation.

Till dessa mätningar engagerades 17 personer från den totala gruppen om 78, 7 kvinnor och 10 män i ålder mellan 30 och 80 år. Medelåldern var 56 år och synskadan hade varit stabil i mellan 3 och 43 år med ett medelvärde på 14 år. Hos de flesta kunde synfältsmätningen genomföras på båda ögonen även om det centrala bortfallet var stort.

## Normalsynta försökspersoner, 20 + 50 personer

Två studier gjordes för att mäta ögats optiska avbildningsfel i en normalpopulation. Till dessa har försökspersoner engagerats bland studenter, arbetskamrater och bekanta. Det har här handlat om rent



optiska mätningar och ingen synfunktionsmätning har gjorts. 20 centralt emmetropa (ej mer än  $\pm 0,5$  D sf. eller cyl.) ögon screenades för att det skulle vara möjligt att värdera spridningen av individuella aberrationer i form av sned astigmatism i vinklar större än  $10^\circ$  från synaxeln [Gustafsson et al. 2001].

Normalsynta försökspersoner med lika bra syn på båda ögonen och utan binokulära störningar (men med olika centrala refraktionsfel) användes också till att jämföra fyra olika metoder för mätning av refraktionen i två excentriska vinklar. Flertalet av de 50 personerna hämtades från universitetsmiljö varför en viss övervikt för närsynthet inte var förvånande [Feldkamper et al. 2003].

## Se Mer, 17 barn

Detta projekt ligger alldeles i utkanten av mitt avhandlingsarbete, men jag tar med det – trots viss tveksamhet – både för dess olikheter och för dess likheter med huvudinriktningen. Till olikheterna hör att ”Se Mer” handlar om *små barn*, och att deras synnedsättningar inte beror på skotom utan har helt andra bakgrunder (se nedan). Till likheterna hör att också Se Mer-projektet handlar om stora synnedsättningar, att det är jag som gjort synundersökningar och optiska korrektioner, att vi även för denna grupp varit framgångsrika i rekryteringen, och att det uttalade syftet liksom för min huvudgrupp är att både synförmågan och synlusten skall öka. Med små barn som här får möjligheten att bättre kunna använda synen tidigt med hjälp av optiska hjälpmedel kan sådana effekter eventuellt bli ännu större än vad de blir för vuxna.

Barnen rekryterades genom goda kontakter med syncentralerna i Skåne. Projektet är inspirerat av och drivs i samarbete med PAVE-projektet (Providing Access to Visual Environment) vid Peabody College, Vanderbilt University, USA.

43 barn i åldrarna 2–9 år erbjöds att vara med. 23 barn och deras föräldrar kom till den första genomgången. Jag undersökte refraktion, visus (hög och låg kontrast), förstoringsbehov och annat som var möjligt att mäta. Efter denna undersökning visade det sig att 5 barn hade för bra syn för att vara med enligt de kriterier vi ställt upp. Av kvarvarande 18 barn tränar nu 17 barn med kikare. Det yngsta är 2,5 år. Flera har fått närcorrektion för kort läsavstånd och andra har börjat med förstoringsglas.

I nedanstående tabell redovisas barnen som ingår i träningsprojektet.

Kön	Födelseår	Decimal visus	logMAR	Diagnos
Flicka	2002	0,2	0,7	Nystagmus
Flicka	2002	0,025	1,6	Uvea/iris colobom, microftalmus, nystagmus
Flicka	2001	0,25	0,6	Akromatopsi, nystagmus
Pojke	2000	0,03	1,5	Congenitalt glaucom
Pojke	2000	0,1	1,0	Albinism
Pojke	1999	0,2	0,7	Opticushypoplasi
Pojke	1998	0,16	0,8	Akromatopsi, nystagmus
Pojke	1997	0,12	0,9	Albinism, nystagmus
Pojke	1997	0,13	0,9	Congenital cataract, sekundär glaucom
Pojke	1996	0,2	0,7	Nystagmus
Flicka	1996	0,06	1,2	Nystagmus, sclerocorneae,
Pojke	1996	0,16	0,8	Nystagmus
Pojke	1996	0,06	1,2	Opticushypoplasi, nystagmus
Pojke	1996	0,2 – 0,5	0,7 – 0,3	Subluxerad lins
Flicka	1995	0,25	0,6	Congenital cataract, sekundär glaucom
Pojke	1995	0,25	0,6	Akromatopsi
Pojke	1995	0,05	1,3	Opticusatrofi, nystagmus
Flicka	1995	0,16	0,8	Nystagmus

## Rekryteringsbas

Vi har här i allt väsentligt begränsat oss till en specialgrupp av människor med centrala skotom, men somliga mätmetoder och ansatser kan ha relevans också för andra grupper med starkt nedsatt syn. Därför görs här en summarisk genomgång av statistik över antalet synskadade människor.

Uppgifterna varierar kraftigt mellan länder (se Europeiska synskadeorganisationernas hemsida, [www.euroblind.org](http://www.euroblind.org)), troligen mest beroende på olika väl utbyggd registrering och rehabilitering. En generell uppfattning är att mellan 1 och 2 % av befolkningen i västvärlden har en så nedsatt synfunktion att den utgör ett hinder i den dagliga livsföringen. I Sverige ansågs drygt 100 000 vara synskadade år 2001. 80% av dem hörde till gruppen ”äldre”, det vill säga de är över 65 år.

	Barn	Arbetsför ålder	Äldre	Totalt
Man	1 500	10 300	29 000	40 800
Kvinna	1 500	10 300	50 000	61 800
Totalt	3 000	20 600	79 000	102 600

*Totalt antal synskadade svenskar enligt European Blind Union: ca 103 000. Ungefär 1,15% av befolkningen.*

Den grupp som har störst relevans för denna avhandling är gruppen människor med bortfall i det centrala seendet. Den absolut dominanta gruppen är här människor med åldersrelaterad

makuladegeneration, AMD. Enligt WHO är ca 8 miljoner människor över hela världen allvarligt synskadade av makuladegeneration. Ungefär 2 miljoner av dem har en kraftig synnedsättning [Ferris et al. 2004]. I USA anses var tionde människa över 80 års ålder ha uttalade synförluster på grund av makuladegeneration [Bressler et al. 2003]. I Sverige skulle detta motsvara ca 50 000 människor. Siffran växer i takt med ökande livslängd. Till detta kommer sedan andra ögonsjukdomar som ger absoluta centrala skotom. Vanligast är synnervsskador och andra degenerationer i makula, som oftast i yngre år kan orsaka synskador.

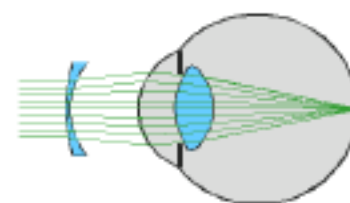
Ser man till de praktiska förutsättningarna för dessa stora grupper att få optiska hjälpmedel, finns det i och för sig många företag som tillverkar sådana, men inte särskilt många som kan göra helt skraddarsyddade optiska lösningar som t.ex. flerfokusglas med ovanliga styrkor och höga additioner med bra optisk avbildning. Företaget Multilens har varit vår huvudsakliga samarbetspartner, eftersom man där utvecklar egna optiska hjälpmedel av relevans för vårt forskningsområde. Vi har också haft goda kontakter med tillverkare och utprovare av datoriserade hjälpmedel för synskadade människor samt tillverkare av vågfrontsmätare.

### 3. Utveckling av metoder och teknik för mätning av ögats optik vid excentrisk fixation

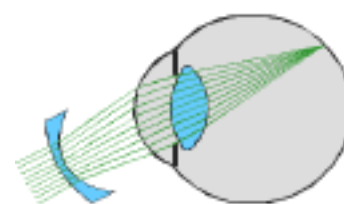
Vanlig klinisk refraktionering av personer med CFL ger ofta instabila resultat, som bland annat kan bero på varierande excentrisk fixation (se fig. 11). Detta leder till att även stora brytningsfel kan missas. Ibland stämmer inte den objektiva mätningen överens med den subjektiva refraktioneringen. Eftersom den subjektiva mätningen har dålig precision vid låg synskärpa är det inte självklart vilket resultat som skall ses som det bästa. Särskilt svår är den subjektiva refraktioneringen om ögat har stora aberrationer av högre ordning. Då riskerar man att komma fram till en falsk bästa korrektion vilken i realiteten bara utgör ett lokalt minimum för aberrationerna (med den optiska designens språkbruk).

För människor med centralt synfältsbortfall bör man mäta excentriskt, eftersom det är just den perifera ögonoptiken som dessa personer använder när de ser. Men varje undersökare som försöker använda sig av retinoskopi för snett infallande ljus i ögat märker hur reflexen där markant skiljer sig från den som uppstår vid centralt infall utmed optisk axeln. Det är aberrationerna som inverkar och som gör reflexen svår att tolka. I äldre arbeten, bland annat av Rempt et al. har man likväl använt retinoskopi i det perifera området på ett stort antal friska ögon [Rempt et al. 1971]. Det är inte tydligt hur de gjort för att tolka reflexen från näthinnan. Deras studie har inte heller upprepats av andra eller kommit till användning i klinisk praktik. Själva har vi provat att låta en erfaren optiker med lång verksamhet inom synrehabiliteringen genomföra central och excentrisk refraktion på ett litet antal personer med medveten excentrisk fixation. Med samma förutsättningar genomfördes även subjektiv refraktionering med användning av den stabilaste och mest använda fixationsriktningen som personen hade. Det visade sig vara svårt att genomföra (se s. 51–52).

Med de flesta moderna autorefraktorer går det inte att mäta



Central korrektion



Excentrisk korrektion

Figur 11. Vid central korrektion korrigeras ögat för syn i en fungerande makula. Vid excentrisk korrektion mäts och korrigeras ögat utanför optiska axeln, i den riktning som används utanför makula.

excentriskt – där möts man av felmeddelanden så snart man försöker mäta utanför synaxeln. Möjligen skulle mätningar kunna vara möjliga med första generationens autorefraktorer. Atchison har använt både en sådan och dessutom en helt ny autorefraktometer med ett öppet synfält [Atchison 2003]. Det närmaste vi kommit gamla instrument är en manuell Hartinger optometer från 1960-talet som vi försökt mäta med, dessvärre utan reproducerbara resultat. Optometermätningar av excentrisk ögonoptik finns publicerade [Ferree et al. 1932], men reproducerbarheten är inte tydliggjord.

## Raytracing

Datormodeller av ögat blev vår första ansats. Att följa ljusstrålars väg in i ett öga, *raytracing*, är lika lätt för perifera strålar som för centrala – förutsatt att man har tillräckligt bra information om ögats optik, speciellt dess lins. I licentiatuppsatsen [Gustafsson 2001] visar jag hur avbildningarna blev i 20°, 40° och 60° vinkel mot optiska axeln och vilken korrektion (sfärisk och cylindrisk) som behövdes för bästa möjliga avbildning. Som ett experiment tillverkades sådana linser i ett sammansatt glas för de tre vinklarna.

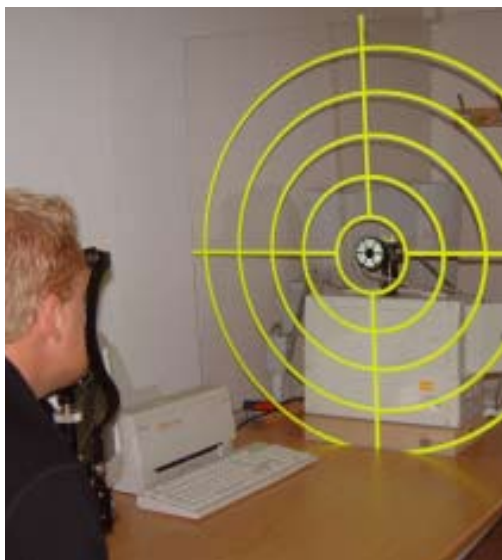
## Dubbelpassmetoden

Arbetet med raytracing gav visserligen en bättre förståelse av ögats optik men för korrektioner av individuella ögon behövs individuella mätningar. Detta blev synnerligen tydligt redan genom vårt inledande försök att mäta 20 friska normalseende personers högra öga med den välkända dubbelpassmetoden [Santamaria et al. 1987]. Försöksuppställningen byggdes upp hos gruppen för visuell optik på KTH. Försökspersonerna fixerade rakt fram på ett avlägset avbildat fixationskors för att inte stimulera ackommodation. Mätningen genomfördes i vinklarna 10°, 20°, 30°, 40° och 60° från synaxeln räknat. Kriterierna för att få delta var att det centrala brytningsfelet inte fick överstiga 0,5 dioptrier, dvs. att ögat skulle vara emmetropt centralt. De individuella skillnaderna utanför synaxeln var stora [Gustafsson et al. 2001].

Genom denna undersökning blev det tydligt att individuella mätningar är minst lika viktiga i det perifera som i det centrala men att dubbelpassmetoden är alltför svår, ansträngande och tidsödande för att den skall kunna användas med synskadade försökspersoner.

## Fotorefraktionering

Fotorefraktionering bygger på analys av reflexen från näthinnan. En ljuskälla ska vara placerad så nära som möjligt intill en kameras objektivlins. I PowerRefraktorn används infrarött ljus som sänds ut från ett sexarmat retinoskop – sex segment med lysdioder som finns



monterade runt kameraobjektivet [Choi et al. 2000]. Segmenten tänds ett efter ett runt om objektivlinsen. Den rörliga reflexen analyseras sedan av programvaran och resultatet presenteras i form av glasögonkorrektion i sfärisk och astigmatisk styrka samt axelläget. Samtidigt mäts pupillstorlek och fixationsriktning i förhållande till ögats optiska axel.

Om försökspersonen fixerar excentriskt, förefaller pupillytan mindre och elliptisk. Detta beror på att instrumentet endast kan registrera pupillens projektion vinkelrät mot mätaxeln. Rakt fram är projektionen identisk med pupillen, men ju mer snett försökspersonen tittar, desto mindre och mer elliptisk blir den projicerade pupillen. För somliga försökspersoner som i sig har små pupiller kan därför det sneda infallet göra att det inte går att utnyttja hela instrumentets mätområde (maximalt 30°).

När de första för-försöken genomfördes visade det sig snart att den största svårigheten var att få tillräckligt stabil fixation. Personer med förlorad syn rakt fram kan inte fästa blicken. De personer som inte har någon medveten föredragen excentrisk fixation, PRL (preferred retinal location), har betydligt större svårigheter än andra att fästa blicken.

Som lösning på denna svårighet utvecklades en fixations-skärm (se fig. 12). I den första uppställningen användes UV-ljus för att belysa gula fluoriserande ringar som monterats på en plexiglasskiva runt kameran till PowerRefraktorn. Nu används i stället ljustråd som är monterad på samma sätt i ringar på 5°, 10°, 15°, 20° och 25° från centrum på kameralinsen. Försökspersoner kan i det svagt upplysta rummet se sitt eget skotom i fixationsringarna och på det sättet använda skotomet som markör för att hålla blicken i en viss riktning. Om den mest använda fixationsriktningen är 20° åt höger lägger personen sitt absoluta skotom där det horisontella strecket och ringen för 20° möts (se fig. 13). Denna metod har visat sig fungera bra för

Figur 12. Till vänster den ursprungliga uppställningen, där fixationsringarna bestod av fluoriserande tejp på en plexiglasskiva som belystes med UV-ljus.

Bilden till höger visar den nuvarande med ringar av ljustråd som lyser i det annars mörka rummet.

Figur 13. Fixations-ringarna på en plexiglasplatta är monterade i 5° vinkel ut till 25°, här runt kameran på PowerRefraktorn. Personen med centralt synbortfall ser sitt skotom, här simulerat med den grå fläcken vid riktningen 20° åt höger.



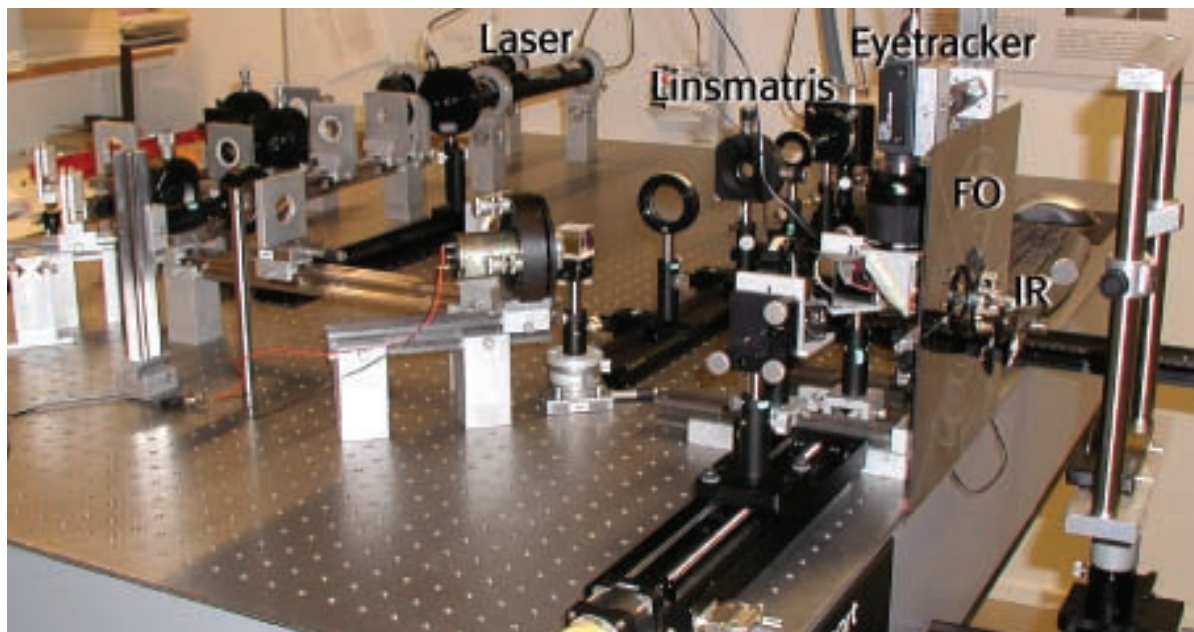
de allra flesta och används nu även i andra situationer där det behövs stabil fixation. För FP 2 och FP 21 som bara använder en excentrisk fixationsriktning behövdes inte detta stöd för fixationen.

PowerRefraktorn tillsammans med fixationsringar visade sig vara ett utmärkt instrument för att hitta och välja ut de personer som är lämpliga som försökspersoner. Vid mätningarna märks väl hur medveten eller omedveten personen är om sin excentriska fixation och om det finns en eller flera excentriska fixationsriktningar. Vid några tillfällen har det även visat sig att personer blivit medvetna om en ny excentrisk fixation och genom detta bättre kunnat använda sin synrest. Alla synskadade människor i storgruppen har mätts med PowerRefraktorn och av dessa har mellan 20 och 30 personer bedömts vara lämpliga att få en excentrisk korrektion för att utvärdera eventuell effekt på synfunktionen.

Inledningsvis valde vi ut sju personer efter fotorefraktioneringen som alla hade en stor sned astigmatism som inte tidigare korrigerats. Dessa sju personer har sedan studerats optiskt och synmässigt med flera metoder. Tre av dem använde sedan länge bara en väl intränad sned fixation och på grund av detta var de särskilt lämpliga att prova excentrisk korrektion. Några av dem har varit till stor hjälp i utvecklingen av metoder som presenteras i detta arbete. De har hjälpt till i både för-försök och provanvändning.

## Vågfrontsmätning excentriskt

Gruppen för visuell optik på KTH i Stockholm har utvecklat en vågfrontsmätare med Hartmann-Shack-sensor (HS) [Liang et al. 1994] för mätning av excentrisk optik i det mänskliga ögat (se fig. 14). Med denna kan alla aberrationer i ögat analyseras, både vanliga refraktionsfel (lägre ordningen) och högre ordningens aberrationer



(sådan som inte kan korrigeras med glasögonlinser). En speciell mjukvara har också utvecklats för att hantera de excentriska aberrationerna [Lundström et al. 2004b] som är betydligt större än de centrala. Denna beräknar även bildkvaliteten på näthinnan och tar då hänsyn till att pupillen inte är rund utan elliptisk när excentrisk fixation används [Lundström et al. 2004c].

Det börjar nu också komma kommersiella instrument med denna teknik. Vi har provat WASCA från Zeiss och anser den lämplig för excentriska mätningar eftersom den har ett öppet fält runt mät huvudet.

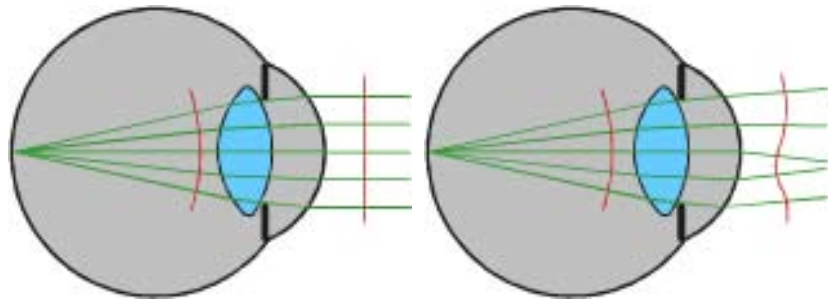
De viktiga delarna i en Hartmann-Shack-sensor är ljuskällan, linsmatrisen och CCD-kameran. En kortfattad beskrivning av metoden: en tunn laserstråle sänds in i ögat och formar en punkt på näthinnan. En del av ljuset från punkten reflekteras och avbildas genom ögats optik som om det kom från en punktkälla på näthinnan och formar den så kallade vågfronten. Om ögat vore ett perfekt optiskt system med fjärrpunkten i oändligheten skulle strålarna ut ur ögat vara parallella med varandra. Vågfronten, som är vinkelrät mot strålarna, skulle vara plan (helt rak), men så är inte fallet i ett verkligt öga (se fig. 15).

Formen på vågfronten som kommer ut ur pupillen innehåller all information om både ögats refraktion och högre ordningens aberrationer. Ett myopt öga ger exempelvis en sfäriskt krökt vågfront som konvergerar mot fjärrpunkten, medan aberrationerna ger en mer oregelbunden vågfront. Vågfronten från ögat faller på linsmatrisen, där flera hundra små linser fokuserar sin del av vågfronten till en liten punkt på CCD-kameran. Skulle ögats optik vara perfekt och vågfronten plan hamnar fläckarna på CCD-kameran rakt bakom varje mikrolins. Men eftersom ögat har aberrationer, faller ljuset in i olika riktning mot varje mikrolins. Förskjutningen av fläcken

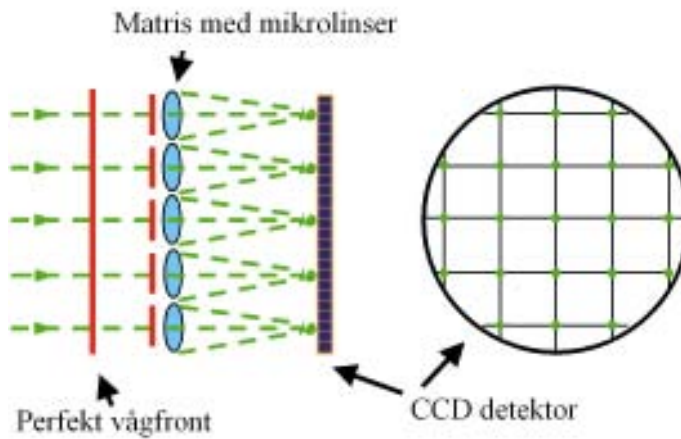
Figur 14. Uppställningen som byggts i laboriet hos gruppen för visuell optik på KTH. Närmast framför hakstödet för FP syns fixationsringarna (FO) och IR-dioder till eyetracker och dess kamera. Bakom finns kameran med linsmatrisen och lasern samt optik för att leda in ljuset i ögat och för att avbilda ögat på linsmatrisen.



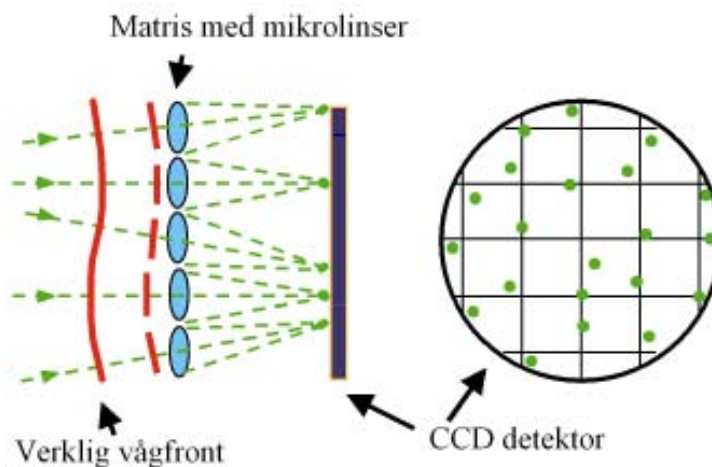
Figur 15. Om ögat vore ett perfekt optiskt system skulle vågfronten se helt plan ut, bilden till vänster. Bilden till höger visar en deformerad vågfront som i sig innehåller alla aberrationer.



Figur 16. Här visas hur en perfekt vågfront fokuseras av linsmatrisen i aberrometern. Avbildningen från varje lins sker utan förskjutning till en punkt på CCD-detektorn rakt bakom linsen.



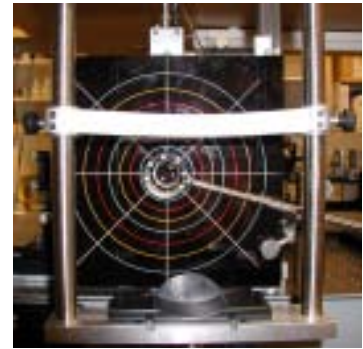
Figur 17. Med en deformerad vågfront förskjuts ljuspunkterna på CCD-detektorn. Förskjutningen motsvarar lutningen och denna bild kan sedan analyseras för att räkna fram vågfrontens form.



från varje lins ger en möjlighet att beräkna lutningen av vågfronten i varje punkt. Se fig. 15–17. Vågfrontens lokala lutningar kan sedan (matematiskt) summeras till att ge vågfrontens form som beskriver ögats optiska systems totala avbildningsfel.

Aberrometern med Hartmann-Shack-sensor som byggts för excentriska mätningar på personer med CFL beskrivs i [Lundström et al 2004c], ”Measuring Peripheral Wavefront Aberrations in Subjects with Large Central visual Field Loss”. För att underlätta fixationen för försökspersonen har även här använts liknande fixeringsringar

som i tidigare experiment. Då de av utrymmesskäl måste sitta nära ögat har en ljusplatta med ringar motsvarande var femte grad av excentrisk vinkel använts. Ringarna lyser och mellan dessa är det svart (se fig. 18). I dessa kan personen med CFL som mäts se sitt skotom och använda det som markör för att hålla blicken stabil. En annan fixationshjälp är en grön lysande ljusdiod, av tillräcklig storlek för att synas, som speglas in i mätriktningen. Tanken är att personen med en väl utvecklad PRL skall kunna fixera den med sin fixationsriktning utanför skotomet. För att veta i vilken riktning som mätningen genomförs och för att kunna göra flera mätningar i samma vinkel har även en eyetracker installerats (Tobii Technology Inc®). Den specialtillverkade eyetrackern är utrustad med en programvara som klarar att mäta excentriskt och följa en oval pupill i realtid.



Figur 18. Fixationsringarna bakom hakstödet. Här syns även IR-dioderna till eyetrackern.

## BERÄKNINGAR

Resultatet i form av den optimala refraktiva korrektionen med sfär och cylinder kan räknas fram med flera olika metoder [Guirao et al. 2003]. I detta arbete har i första hand två metriker använts. Den ena är en pupillplansmetrik vilken minimerar vågfrontsfelet, ”the root mean square” (RMS) i samma plan som pupillen. Den andra är en bildplansmetrik som optimerar kvalitén av den retinala bilden, senare benämnd Strehl-metoden.

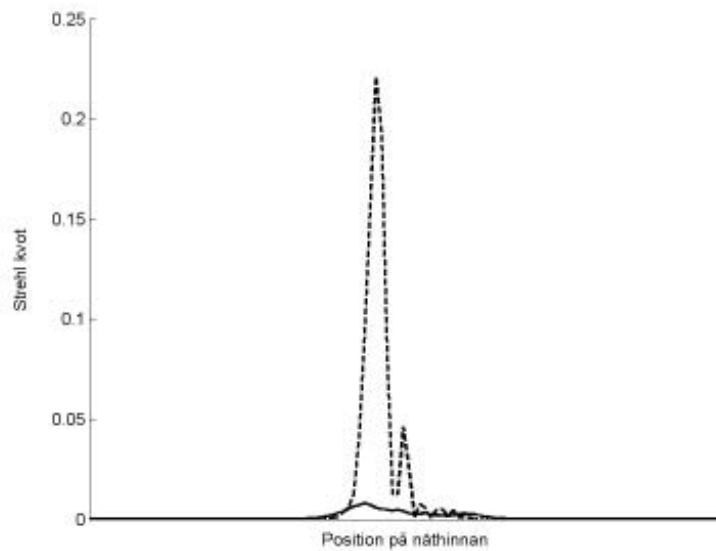
Det vanligaste sättet är att räkna fram den refraktiva korrektionen med RMS-metoden, som räknar direkt på vågfrontens aberrationer. Denna används av de först nu kommersiellt tillgängliga vågfrontsinstrumenten och kan vara fullt tillräcklig om det inte finns några större högre ordningens aberrationer. RMS-korrektionen anpassar sfär och cylinder så bra som möjligt över *hela* vågfronten i mätriktningen. Finns det i en del av vågfronten en större avvikelse kan den påverka RMS-korrektionen trots att detta inte har så stor betydelse för bildkvalitén på näthinnan.

Med den mer avancerade Strehl-metoden tas alla aberrationers inverkan på bildkvalitén med. Den kan därför ge en annorlunda korrektion vid större högre ordningens aberrationer. Bildplansmetoden använder den retinala bilden av ett punktligt objekt, den så kallade punktspridningsfunktionen, PSF, för att beskriva bildkvalitén (se fig. 19). Kvoten mellan den högsta intensiteten i PSF och motsvarande intensitet om ögat varit aberrationsfritt kallas Strehl-kvoten och den optimeras med denna metod för att få så bra avbildning som möjligt.

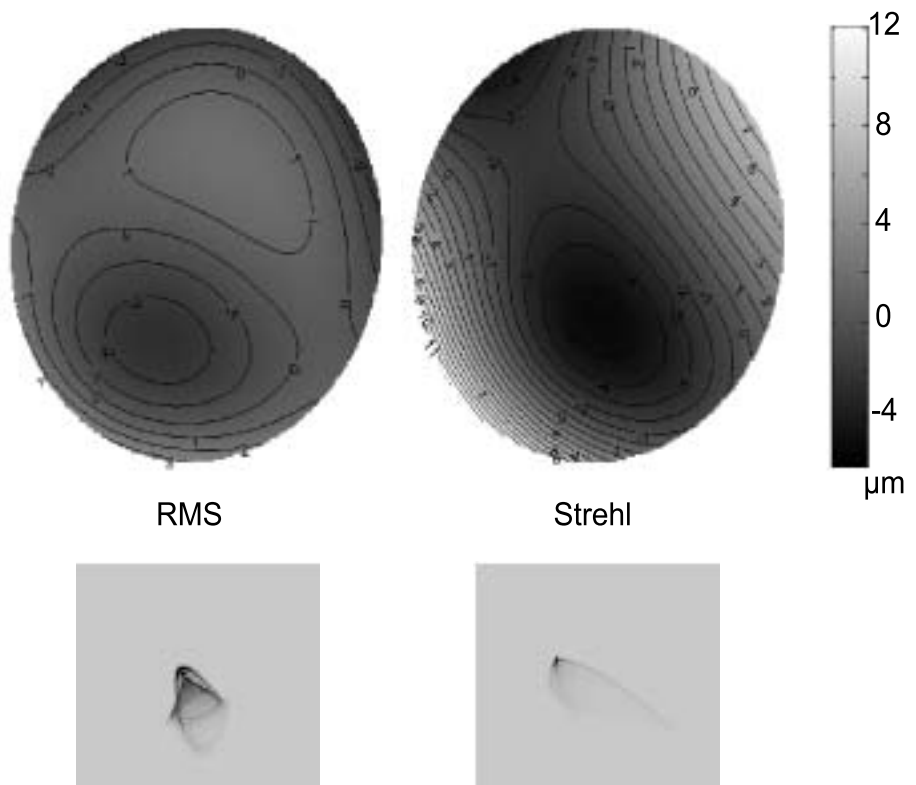
Skillnaden jämfört med RMS-metoden är alltså att Strehl-metoden optimerar bildkvalitet och inte minimerar vågfrontsfel. Om vissa delar av vågfronten är kraftigt aberrerade kommer den refraktiva korrektionen endast att anpassas till de delar av optiken som kan ge en bild med bra kvalitet. De sämre delarna kommer att vara felkorrigerade och ge en diffus bakgrund på näthinnan som sänker kontrastseendet (se fig. 20 om Strehl och RMS). Optimeringen

görs genom datorberäkningar som testar ett stort område av sfäriska och cylindriska linser. Detta görs i området  $\pm 10D$  med 0,1D steg runt RMS korrektionen för att få fram den kombination som ger den högsta Strehl-kvoten, alltså den bästa bilden. Med denna metod kan man även optimera korrektion av aberrationer med högre ordning när detta blir möjligt.

Fig. 19. Punktspridningsfunktionen för ett korrigerat öga, centralt (streckad linje) och excentriskt 20° horisontalt i det nasal synfältet (heldragen linje). Den stora skillnaden beror på större högre ordningens aberrationer i periferin. Höjden på PSF beskrivs med Strehl-kvoten, skalan till vänster.



Figur 20. Skillnaden mellan RMS-korrektion (till vänster) och Strehl-korrektion (till höger). Figurerna visar de kvarvarande vågfronts-aberrationerna (övre bilder) och respektive punktspridningsfunktion (bilderna under) med de två korrektionerna. Notera att RMS-korrektionen ger en mer plan vågfront med sämre bildkvalité, medan Strehl-korrektionen har optimerat punktspridningsfunktionen. Figurerna är simulerade från mätningar i 20° utanför optiska axeln hos en person med centralt skotom, pupilldiametern är 4 m.m.





Figur 21. Skillnad i förbättrad bild mellan central och excentrisk korrektion då astigmatismen korrigerats.

I bilderna (fig. 21) visas skillnad i förbättrad optik simulerad mot en synprövningstavla genom en av våra försökspersoners ögonoptik. Denna person har bara en excentrisk fixation som används till allt seende, med vänster öga fixerat  $20^\circ$  åt höger. Bilden överst visar avbildningen med central korrektion, den nedre bilden visar avbildningen med den excentriska korrektion där astigmatismen är korrigerad. Kvar finns de andra aberrationerna och den största efter att sned astigmatism korrigerats är ofta *koma*.



Figur 22. Exempel på ett vertikalt gitter som upptäcks genom ett sfärisk provglas. Det glas som ger den högsta kontrasten ger den bästa korrektion i det mätta huvudsnittet. Mätningen görs horisontellt, vertikalt och snett i 45° på samma sätt och värdena räknas om till sfär, cylinder och axelläge.

## Ny subjektiv metod – optimering av kontrastkänslighet

Till fotorefraktion, retinoskopi (trots alla dess svårigheter) och vågfrontsmätning lade vi också en fjärde subjektiv metod: optimering av kontrastkänslighet. Dessa 4 metoder jämfördes senare med varandra, se [Lundström et al. 2004a]. Denna nya metod utvecklades i ett samarbete med gruppen för visuell optik. Det var ursprungligen en del av ett examensarbete på optikerutbildningen [Svensson 2003]. Genom olika sfäriska och cylindriska korrektionslinser betraktar försökspersonen horisontella, vertikala och diagonala rörliga sinusraster med konstant spatial frekvens på 2 cykler/grad på en datorskärm (se fig. 22). Det gäller att hitta det glas som ger högsta kontrastkänslighet i respektive snitt. Med hjälp av detta kan den subjektiva styrkan i sfär och cylinder räknas fram. Från en låg nivå ökas kontrasten tills personen ser ränderna. Metoden är tyvärr tidskrävande och ansträngande för försökspersonen.

Andra forskare har använt en liknande metod men då varierat spatiala frekvensen [Anderson et al. 1996; Wang et al. 1996]. Det nya som här tillförts är att det är kontrasten som varierats.

## 4. Utveckling av metoder för mätning och träning av excentrisk syn

För att förstå hur synen fungerar utanför makula, framförallt hos personer som bara ser där, behövs det bra mätmetoder. Området har varit eftersatt, och jag vill medverka till att det utvecklas.

Mätning av synfunktionen utanför makula görs i vanlig klinisk praktik främst med större optotyper och kortare testavstånd. Man värderar oftast visus eller kontrastsyn utan att kontrollera fixationen. Patienten får själv leta upp bästa fixationsvinkel. Mätningar av synfältet, perimetri, kartlägger bara var patienten ser eller inte ser vid olika starka stimuli.

### Datoriserade synprovningstavlor – visusmätning

Visusmätning med vanlig synprovningstavla fungerar dåligt när synen är kraftigt nedsatt. Orsaken är ofta att personen lärt sig de enstaka optotyperna som finns och att alltså inläringen påverkar resultaten. Datoriserade synprovningstavlor har funnits några år, främst som kompletta system. Ett system utvecklat av David Thomson på City University i London är Test Chart 2000 Pro ([www.thomson-software-solutions.com](http://www.thomson-software-solutions.com)). Detta kan användas på en vanlig platt datorskärm (se fig. 23). Fördelen gentemot vanliga synprovningstavlor är den stora variationen av optotyper. Dessa kan visas i olika kontrastnivåer, och man har också bra möjlighet att mäta i låga synnivåer. Bokstäver (eller andra optotyper) av samma storlek kan visas slumpvis för att tydliggöra det exakta tröskelvärdet. På detta sätt elimineras inlärningsfaktorn. Det går även att visa optotyper som Landolt C, siffror eller symboler mm. De kan visas på en rad eller en och en. En nackdel är att programmet saknar inbyggd registreringsfunktion.



Figur 23. En vanlig platt datorskärm används för att visa test-optotyperna. Dessa kan visas i följd eller en och en. Nya objekt presenteras slumpmässigt. Optotyper kan presenteras med eller utan "crowding bars".

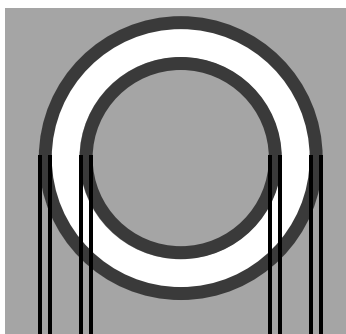
Figur 24. Optotyper med 25% och 10 % kontrast från den datoriserade synprövningstavlan Test Chart 2000 Pro.



## Mätning av kontrastsyn

Eftersom människans omvärld inte består av bara väl belysta högkontrastobjekt är det viktigt att även mäta synen inom lågkontrastområdet. Det kontrastsyntest som vi använt är Peli-Robsons [Pelli et al. 1988]. Det är lämpligt också för mätning på personer med centralt synfältsbortfall eftersom bokstäverna är stora och används på ett avstånd av 1 meter, vilket passar vår grupp av försökspersoner med låg synfunktion. Testet finns med i Test Chart 2000 Pro. Det går lätt att sänka kontrasten på alla testobjekten och på det sättet mäta i ett eller flera lågkontrastområden (se fig. 24). Om man efter att ha mätt i full kontrast även mäter med t.ex. 10% kontrast ser man tydligt om kontrastsynfunktionen är god eller dålig.

## Försvinnande ringar



Figur 25. HRP objektet med proportioner och luminans vid 0,9 kontrast. Personen hade till uppgift att signalera när ringen kunde ses. Alltför små ringar blev osynliga eftersom den genomsnittliga luminansen över hela objektet är densamma som bakgrundens.

Vi har provat flera specialmetoder att mäta syn för det perifera seendet. Den första var High Pass Resolution Perimetry (HRP) med optotyper (se fig. 25) från ringperimetern utvecklad av professor Lars Friséen [Frisén 1987; Friséen et al. 1993]. Det som studerades var förmågan hos försökspersoner att med och utan excentrisk korrektion se ringar i form av högpasfilterade objekt. Dessa optotyper är inte känsliga för astigmatism på samma sätt som andra testobjekt. Ringar är lätta att känna igen även med det perifera seendet, och den distinkta formen hos en ring gör att den kan skiljas från de formlösa ljusfenomen som ibland uppträder i synfältet på grund av brus i synsystemet. 50 ringobjekt med olika storlek runt ett tidigare uppskattat tröskelvärde, presenterades slumpvis. Eftersom försökspersonerna ser sämre än logMAR 1,0 (decimal visus 0,1) kunde bara den högsta kontrasten 90% användas. Mätområdet för programmet vi använde är logMAR 0,7–1,9 (decimal visus 0,2–0,015).

Enlig upphovsmannen och den forskning som han redovisar är HRP en metod som kan mäta upplösningsförmågan [Frisén 1987]. Andra hävdar att det som mäts är detektion [Anderson et al. 1999; Ennis et al. 2002]. I vårt fall med relativa mätningar var det viktigaste att utröna huruvida den refraktiva korrektionen alls hade någon positiv inverkan på synen, dvs. vårt intresse var inte främst att komma åt skillnader mellan upplösning och detektion. Mer om metoden finns i artikeln *Eccentric Correction for Off-Axis Vision in Central Visual Field Loss* [Gustafsson et al. 2003].

## PVE – perifer visuell evaluering

Det blev efterhand alltmer uppenbart att de syntester vi ville utföra inte fanns tillgängliga. Thibos, Wang och Andersons studier av synfunktionen i det perifera seendet för friska ögon [Anderson et al. 1999; Thibos et al. 1987; Wang et al. 1997b] visar att det finns stora skillnader mellan upplösnings- och detektionströsklar i det perifera seendet. Vi ville därför utveckla renodlade tester för dessa funktioner samt mäta inom både hög- och lågkontrastområdet.

Vi har utvecklat ett program, PVE, perifer visuell evaluering som består av två delar: ett siffertest för visusmätning (upplösningsförmåga liktydigt med identifikation) och ett randtest för detektion. Vid utvecklingen av programmet använde vi oss av betaversionen av WinVis, ett hjälpverktyg till MatLab, [www.neurometrics.com/winvis/index.jsp](http://www.neurometrics.com/winvis/index.jsp), utvecklat för psykofysiska synmätningar.

Mätningarna genomförs på en datorskärm (Eizo Flex Scan T 765 med 85 Hz och en upplösning på 1024 × 768) som kalibrerats med WinVis kalibreringsfunktion för att ha de rätta kontrastnivåerna. Skärmens bakgrundsluminans (grå) sattes till 50 cd/m<sup>2</sup>, testavståndet är 1 meter och använd korrektion kompenseras för detta avstånd. Runt datorskärmen finns svarta fixationsringar målade på en vit bakgrund i 15°, 20° och 25° för de försökspersoner som behöver stöd för att hålla en stabilare fixation vid mätningarna. Vid mätningarna används samma excentriska fixation som vid tidigare mätningar av ögats optiska fel.

### UPPLÖSNINGSFÖRMÅGA

I visusmätningen ingår enbart siffror med så lika svårighetsgrad som möjligt. För att kunna jämföra med andra mätmetoder valde vi siffrorna 5, 6, 8 och 9 (se fig. 26) som också finns i Test Chart 2000 och i Lea Syntest [www.lea-test.fi](http://www.lea-test.fi). Att använda siffror är vanligare inom svagsynoptometrin än vid vanlig synprovning.

Siffrorna kan visas i både hög och låg kontrast och i varierande storlekar. Det är möjligt att mäta ner till logMAR 2,0 (decimal visus 0,01) på 1 meters testavstånd. Med tanke på den låga synen hos försökspersonerna är en meter ett lämpligt avstånd och det används också i andra tester [Gustafsson 2002; Gustafsson et al. 2003; Pelli et al. 1988].

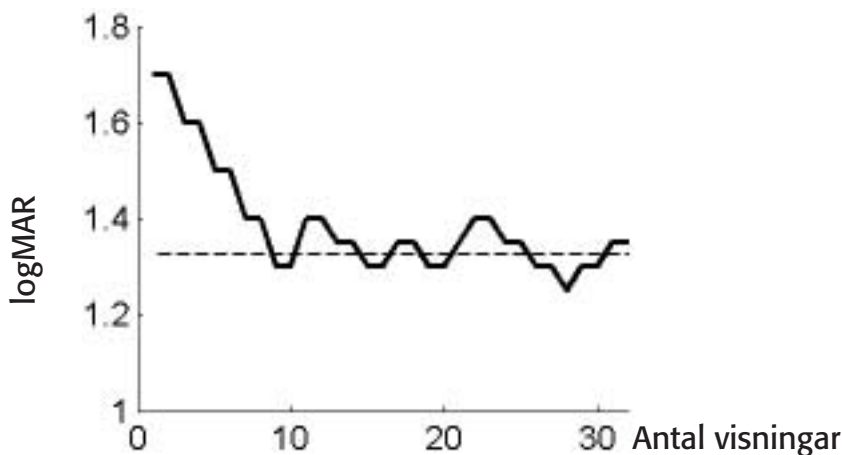
Försökspersonens uppgift är att identifiera siffrorna. En ljudsignal förvarnar varje ny visning. Siffrorna visas en i taget och felaktig identifikation eller ”jag vet inte” registreras som ett fel. Man



Figur 26. De siffror som används för att mäta upplösningsförmåga i hög och låg kontrast, här presenterade på rad med 10% kontrast. Vid mätningen visades en siffra i taget.



Figur 27. Resultat från en mätning av visus med siffrorna i 10% kontrast. Testen började på logMAR 1,7 och man ser trappstegen ner till och runt tröskelvärde 1,3 logMAR.

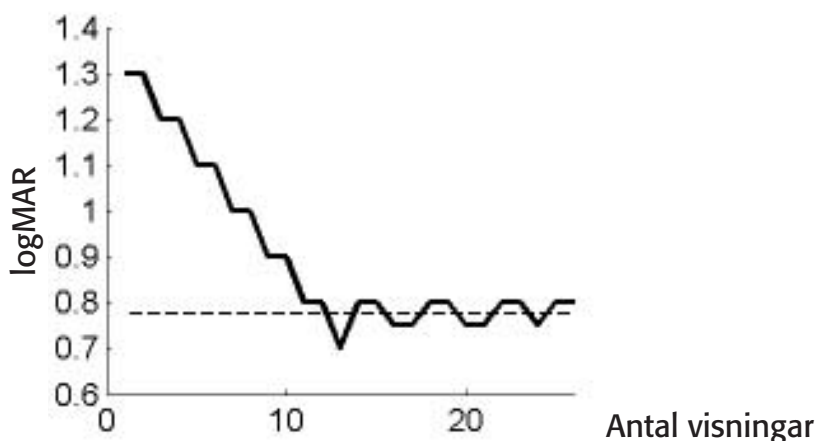


uppmanas alltid att försöka gissa även om man inte säkert vet. En trappstegsmetod (fördefinierad i WinVis) används där siffrorna visas i minskande storlek ner till att de inte går att identifiera (se fig. 27). När ett fel registreras vänder programmet och visar en siffra som är en storlek större. För att gå ner igen och visa mindre siffror krävs det två rätt i följd (one-up-two-down). Antalet vändningar runt tröskelvärde skall vara minst 8. Trappstegsmetoden inleds med dubbla steg fram till andra vändningen. Därför används bara de 6 sista vändningarna för att räkna ut tröskelvärde. För att få tillräcklig känslighet används steg om 0,05 logMAR. Mätningarna genomförs i 100% kontrast och i 10% om så är möjligt, annars i 25%. Växlingarna mellan hög och låg kontrast sker slumpvis. Helst skulle vi vilja mäta på ännu lägre kontrast men de för-försök som gjorts visar att dessa försökspersoner har för dålig kontrastsyn för detta.

#### DETEKTION

Detektionstesten visar ränder fördefinierade i WinVis med olika spatiala frekvenser i en cirkel mitt på skärmen, så kallade Gabor gitter, med diametern 5° synvinkel. Eftersom vi vill mäta i en definierad vinkel som används för att utnyttja synresten optimalt (personens fixationsriktning) kan inte området som visas vara för stort. Valet av diametern ovan grundar sig på tidigare studier [Anderson et al. 1996] men är anpassat till de försökspersoner vi har.

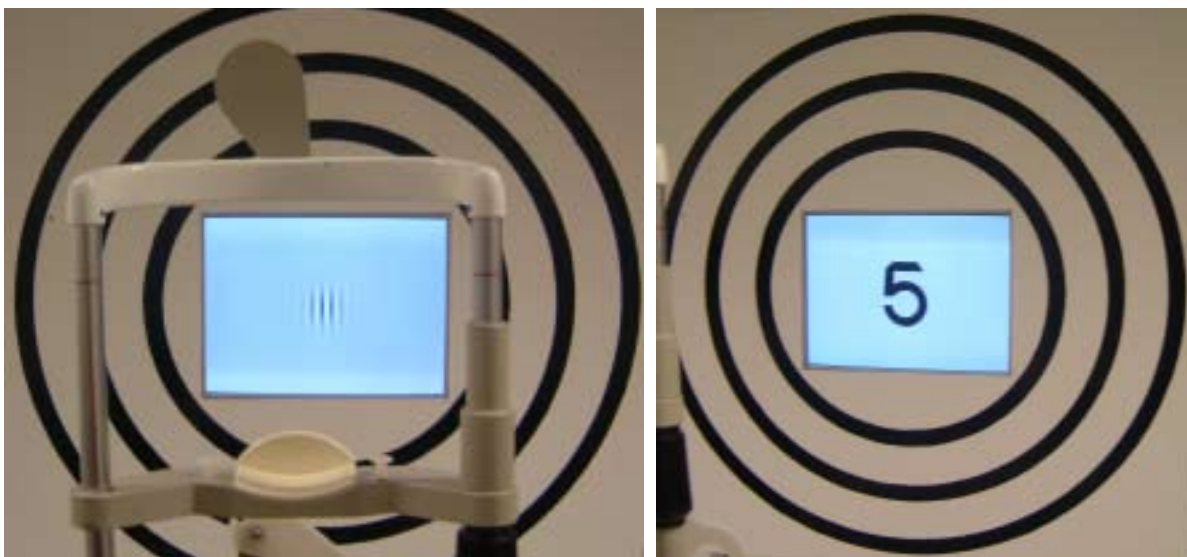
Figur 28. Resultat från en mätning av detektion med vertikalt gitter i 100% kontrast. Här börjar mätningen på 1,3 logMAR och tröskelvärde blev något lägre än 0,8 logMAR.



För att få tillräckligt med cykler har vi i lägre nivåer varit tvungna att öka diametern. Den skalas då så att det alltid finns minst 6 cykler i området som visas. Två separata trappstegsmetoder (samma som ovan) körs samtidigt, en för det horisontella och en för det vertikala (se fig. 28).

Man börjar med breda ränder och går mot tunna. De visas slumpmässigt omväxlande både horisontellt och vertikalt i både hög och låg kontrast.

Försökspersonens uppgift här är att tala om i vilken av två på varandra följande tidsintervall han/hon kan se ränderna. En röst säger vid visningen ”första” och ”andra” innan objektet visas. Operatören matar in 1 eller 2 för det val av intervall som personen identifierat ränderna i. Instruktionen är att avgöra i vilken intervall ränderna syns, inte att försöka se vilken riktning de har. Försökspersonerna uppmanas att gissa men kan även svara att de inte såg något i de båda sekvenserna. Detta registreras då som fel.



I båda testerna visas siffran eller ränderna under 2 sekunder i steg om 0,05 logMAR (se fig. 29). Försök gjordes med kortare visningstid, men det visade sig vara för svårt. Innan den riktiga testen börjar görs ett provtest, för att man skall hitta lämpligt testområde och för att försökspersonen skall vänja sig vid mätningen. Samma mätområde kan användas vid upplösnings- och detektionstesterna och mätningen görs med samma lågkontrastnivå i båda mätserierna. Bakgrundsbelysningen i rummet är svagt ledljus, cirka 2 lux vid försökspersonens öga.

Tiden att genomföra upplösningstesten i två kontrastnivåer är 10–15 minuter. Detektionstesten tar betydligt längre tid, mellan 30 och 45 minuter. Då den kräver stor koncentration görs mätningen i intervaller om 2–3 minuter åtföljda av en paus på minst en minut. Försökspersonen uppmanas att vila oftare om koncentrationen sviktar.

Figur 29. Till vänster det vertikala gitter som omväxlande med ett horisontellt används som detektionsstimuli i detektionstesten. Till höger en av de siffror som användes för mätning av visus (upplösningsförmåga, identifikation). Båda stimuli visas här i högkontrast. Runt skärmen sitter svarta fixationsringar på 15°, 20° och 25° vinkel målade på en vit bakgrund.



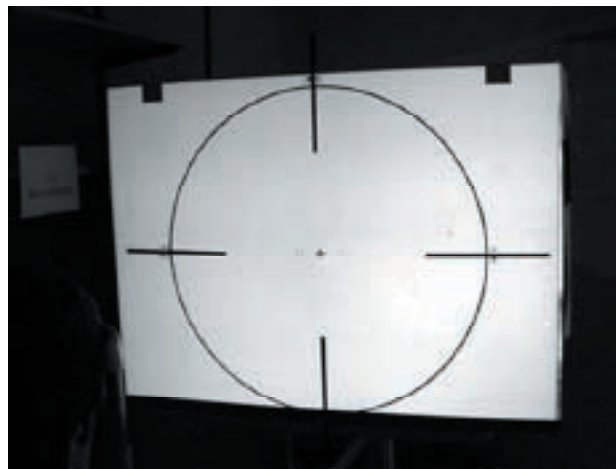
Figur 30. Undersökning med Goldmanperimetri. I den ljusa ytan där test-stimulit presenteras finns endast en liten svart fixationspunkt.

## Synfältsmätning vid bortfall i det centrala seendet

Vanligast är att man vid undersökning av personer med stora centrala synfältsbortfall använder Goldmanperimetri, (se fig. 30). Denna metod innebär att hela synfältet är omslutet av kupolen där objektet (ett ljus-stimuli) presenteras. En person med större centralt bortfall har då inte något att fixera på eftersom hon inte kan se det centrala fixationsmärket, en svart punkt. Resultatet blir därför inte sällan att undersökningens resultat blir svåra att tyda. Noteringar om dålig eller osäker fixation är vanliga.

Att grafiskt kunna se var synen fungerar och var den inte fungerar är värdefullt. Därför är en noggrann och snabbt genomförd perimetri av stort värde både för rehabiliteringspersonal och för den enskilde synskadade personen. Ivonne Fetchenheuer från optikerskolan i Berlin, som genomförde sitt examensarbete vid Low Vision Enabling (LVE) laboratoriet på Certec, testade där en datoriserad men manuell version av den amerikanska metoden Auto-plot kompletterad med tre olika fixationsobjekt. Vi utgick från betaversionen av en programvara utvecklad på Vision Rehabilitation Laboratory på Shepens Eye Institute i Boston, [www.eri.harvard.edu/faculty/peji](http://www.eri.harvard.edu/faculty/peji). Den kom att gå under benämningen CAPP, Computerized Auto-Plot Perimeter.

Figur 31. Den övre bilden visar bakprojektionsskärmen med en plexiglasskiva monterad över skärmen med en stor ring och vertikala och horisontella streck som hjälp för att kunna fixera rakt fram. Dessa kan flyttas längre ut för att inte störa mätningen. Centralt ses det lilla fixationskoret som är osynligt för försökspersonerna med CFL. Bilden under visar hur det centralt projicerade förstora korset kan se ut, detta användes vid fixering med försökspersonens PRL.



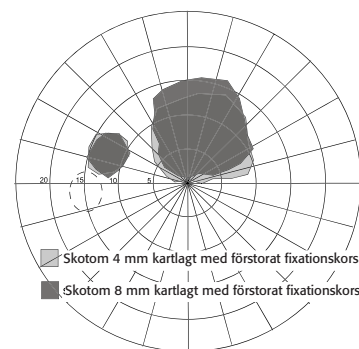
Stimuli och fixationsobjekt visades med hjälp av bakprojektion på en skärm, 1 × 0,75 meter (se fig. 31). Vi utvärderade det vanliga lilla fixationskorset (som väntat omöjligt att se för människor med CFL), en stor fixationsring i periferin av skärmen och ett centralt stort projicerat kors.

Storleken och kontrasten på stimuli och fixationsobjekt kan regleras efter behov och ger en möjlighet att hitta en fördelaktig fixationsriktning. Detta gäller inte ringen i periferin, som hängdes utanpå skärmen.

Möjligheten att förstora det centrala fixationskorset så mycket att försökspersoner med helt utslagen funktion i makula kan se det ger en alternativ möjlighet att genomföra perimetri. Skotomet blir då decentrerat och inte jämförbart med hur man normalt genomför synfältsundersökning. Förflyttningen av blinda fläcken kan användas som en markör och kontroll av riktning och vinkel i de fall den inte finns inuti ett stort skotom.

Figur 32 visar ett fall där personen fixar uppåt och lägger sin fixeringsriktning nära kanten av det centrala synfältsbortfallet. Denna undersökning är genomförd med ett stort centralt fixationskors.

Detta program bör kunna utvecklas till en metod användvärd inom all synrehabilitering där man arbetar med att utnyttja den perifera synen så effektivt som möjligt [Fetchenheuer et al. 2004].



Figur 32. Grafiskt resultat från en mätning där personen fixerar det förstora centrala korset med sin PRL. Om fixationen varit central skulle blinda fläcken befunnit sig vid ringen till vänster vid 15°. Nu fixerar försökspersonen uppåt och man ser att blinda fläcken är decentrerad i samma vinkel. Skotomet är värderat med två storlekar på stimuli.

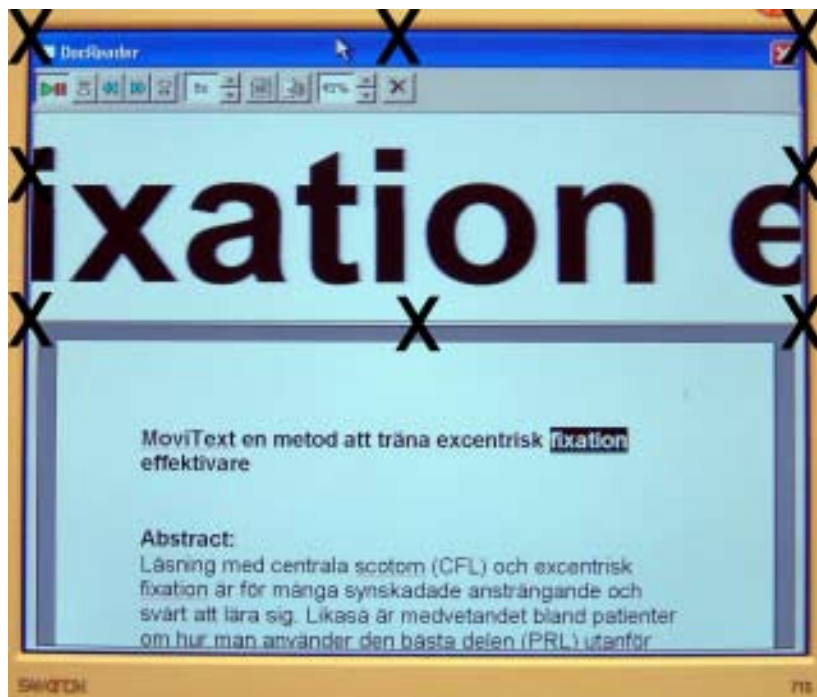
## Träning av excentriskt seende

I flera av metoderna ovan har det excentriska seendet tränats samtidigt som man mäter synförmågan på avstånd. Människor med stora centrala skotom kan visserligen använda förstora TV-system för att läsa, men det finns uppenbara nackdelar med denna lösning, t.ex. att den oftast är stationär och att den kräver strömförsörjning. Med förstoring i glasögonmonterade linssystem kan man läsa överallt, men detta kräver att man behärskar excentrisk fixation och rörligt läsplan. Få synskadade människor med absoluta centrala skotom är medvetna om hur de fixerar för att få bästa synfunktion i olika vardagssituationer.

Vi har därför utvecklat *MoviText-metodiken* [Gustafsson et al. 2004] för att medvetandegöra och träna den excentriska fixationen så att försökspersonen effektivt kan lära sig läsa på ett mycket kort läsavstånd. Synpedagog Krister Inde har stått för metodutvecklingen. Mitt bidrag till detta har främst varit att välja ut lämpliga deltagare samt genomföra synundersökning och utprovning av de optiska förstöringskorrektionerna som användes.

Genom att använda en dator med det inom synrehabilitering vanliga förstöringsprogrammet ZoomText (i vårt fall version 7.1) kan lästräning med excentrisk fixation genomföras också före träningen med optiska hjälpmedel inleds. Efter att det optiska förstöringshjälpmedlet, hög addition för läsning på kort läsavstånd,

Figur 33. Bild av datorskärmen med fixationsmärken i åtta punkter runt den del av skärmen där den förstorade texten skrollas fram. Förstoringsprogrammet ZoomText med funktionen DocReader (Ticker mode) användes.



provats ut av optikern, kan synpedagogen träna läsning med rörligt läsplan på datorskärmen. På datorn simuleras det rörliga läsplanet genom att texten matas fram från höger till vänster i överkanten av skärmen. Textstorlek och visningshastighet kan varieras. Genom att inledningsvis fixera i åtta alternativa riktningar runt den rörliga texten kan försökspersonen hitta den för honom eller henne bästa fixationsriktningen vid läsning. Lämplig texthastighet ställs in och man tränar sig sedan i konsten att läsa lätta och svåra texter utan att behöva gå tillbaka i texten (se fig. 33).

Denna metod kan enkelt användas inom synrehabiliteringen. På varje syncentral och hos många synskadade människor i Sverige finns programvaran ZoomText. Med hjälp av MoviTextmetoden kan träningen av excentrisk fixation bli mer spridd [Gustafsson et al. 2004]. Därmed kan även läshastigheten hos personer med bortfall i det centrala seendet öka. En förutsättning för att resultaten skall bli bra är att tillräckligt starkt förstorande optik i form av hög addition blir utprovad i anslutning till träningen i ett nära samarbete mellan synpedagog och optiker. Konceptet med för-optisk träning som beskrivits här har visat sig vara fruktbart eftersom beteendet är inlärt redan innan det optiska hjälpmedlet introduceras.

Den avbildande kvaliteten på optiken har stor betydelse för resultatet [Gustafsson 1997]. Om den optiska linsen med styrka mellan +30 och +50 D ger aberrationer (som minskar det användbara synfältet) och orsakar ”vågrörelser” när texten rörs blir träningen med rörligt läsplan svårare att tillgodogöra sig. Det blir svårt att läsa under längre tider, och upplevda vågrörelser i texten skapar yrsel och ibland även illamående.

# 5. Resultat

De första idéerna till detta arbete kom redan 1996 men arbetet har till största delen genomförts från hösten 1999 till våren 2004.

## Ögonoptik

Ögats optik har studerats genom *raytracing* (1999), *fotorefraktionering* med PowerRefraktorn (1999 och framåt), främst i Lund men också i Stockholm, Sundsvall och Örebro, mätningar med *dubbelpassmetoden* (2000) och *vågfrontsmätningar* (2002–2004) på KTH i Stockholm. I augusti och september 2003 genomfördes mätningar på 50 friska ögon för att jämföra de olika mätmetoderna, inklusive subjektiv refraktionering med optimering av kontrastkänslighet.

## Syn

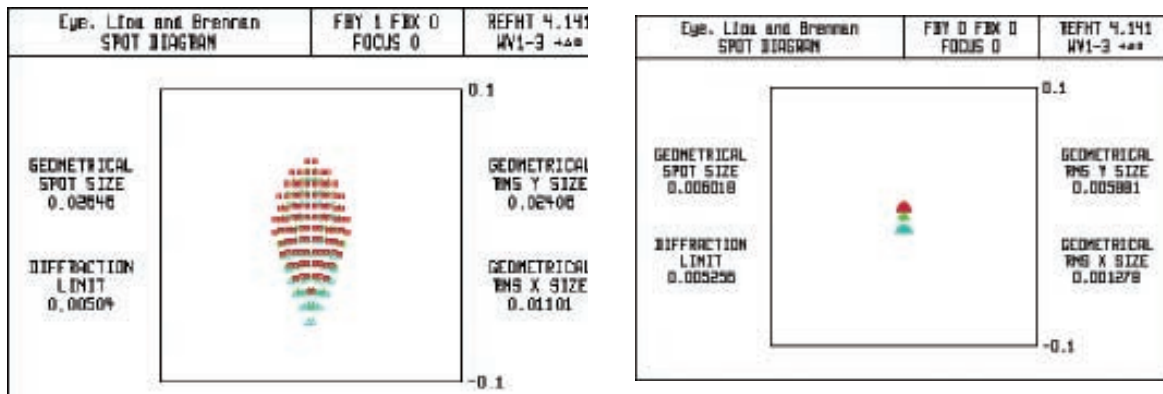
Optikmätning och optiska korrektioner är nödvändiga, men arbetet har hela tiden främst syftat till att mäta och förbättra syn. De första mätningarna av hur excentriska korrektioner kan påverka synen gjordes 2000–2001 med HRP-testen. Kontrastkänslighetstesten av Peli-Robson användes samtidigt för att värdera synfunktionen i det lägre kontrastområdet med och utan excentrisk korrektion. Den datoriserade synprovningstavlan Test Chart 2000 har använts från år 2001. Under senare delen av hösten 2002 och vintern 2003 genomfördes ett träningsprojekt med MoviTextmetoden. Under år 2003 utvecklades ett examensarbete, om Computerized Auto-Plot Perimeter, till en vetenskaplig studie [Fetchenheuer et al. 2004]. Mätningarna med programmet PVE, Perifer Visuell Evaluering, av upplösningsförmåga (visus, identifikation) och detektion genomfördes under sensvåren 2004.

## Excentrisk ögonoptik

Eftersom huvuddelen av denna avhandling handlar om människor som är hänvisade till sin perifera syn, är det främst optiken utanför ögats optiska axel som är intressant.

### AVBILDNING I MODELLÖGA

Raytracing, att följa strålängden i en datormodell av ett öga, var för mig en utmärkt inkörsport till en bättre förståelse av den excentriska optiken i ett människoöga ([www.certec.lth.se/doc/raytracing/](http://www.certec.lth.se/doc/raytracing/)). För



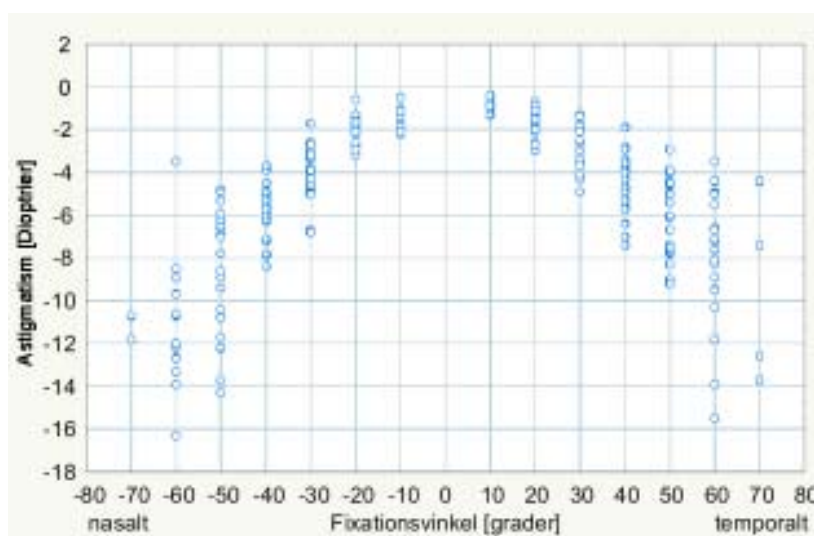
Figur 34. Här visas avbildningen med spotdiagram i en ögonmodell för snett infallande ljus i 40°. Till vänster utan excentrisk korrektion och till höger när astigmatismen korrigerats.

att studera avbildning använde vi raytracingprogrammet OSLO och ögonmodellen av Lui och Brennan (se fig. 34) [Liou et al. 1997].

Raytracing i modellögat visade med stor tydlighet att den excentriska avbildningen blir dålig vid stora vinklar mot optiska axeln, och att den sneda astigmatismen växer med ökande excentricitet. Det förefaller alltså inte orimligt att korrektion kan ge effekt på seendet.

#### DUBBELPASSMETODEN

De allra flesta resultaten i denna avhandling baserar sig på mätningar på synsvaga människors ögon, men vi började att mäta på personer med friska ögon utan några brytningsfel centralt. Det visade sig att de individuella skillnaderna i excentrisk refraktion var stora, både mellan olika individer och mellan olika riktningar i ett och samma öga (se fig 35). Enskilda individer kunde ha en klar skillnad mellan den nasala och temporala delen av synfältet. Skillnaden i astigmatism mellan två individer kunde uppgå till 10 D i en viss vinkel. De flesta har en förskjutning åt myopi, men enstaka ögon har i stället en förskjutning åt hyperopi. Även koma skiljer sig mellan individuella ögon.



Figur 35. Spridningen av astigmatism hos 20 personer utan refraktionsfel centralt.

*Slutsatser:* när vi skall studera synsvaga människor med excentrisk fixation, blir det avgörande att vi kan mäta individuellt i varje aktuell fixationsriktning [Gustafsson et al. 2001], och att vi hittar en bättre mätmetod. Dubbelpassmetoden visade sig vara alltför arbetsam och tidskrävande för försökspersonen.

#### FOTOREFRAKTION MED POWERREFRAKTORN

Genom metodens lätthet och snabbhet har fotorefraktion kunnat genomföras på ett stort antal personer. Nedan följer en sammanställning av mätresultat för 74 personer med centrala skotom (numreringen 1–81 täcker in också de 7 som aldrig deltog i mätningen).

FP	Öga	Central korrektion			Excentrisk fixationsriktning	Vinkel (°)	Excentrisk korrektion i			Pupill storlek (mm)	Kommentarer
		Sf. (D)	Cyl. (D)	ax. (°)			Sf. (D)	Cyl. (D)	ax. (°)		
1	Hö	+2,00	-1,00	25	Hö	30	+4,00	-4,00	90	4,5	
2	Vä	-4,00	-0,50	12	Hö	24	-2,00	-3,00	90	5,0	
3	Hö	+3,00	-0,50	120	Upp	15	+3,00	-1,00	160	4,0	
4	Hö	+2,00	-1,00	90	Hö	20	+4,00	-5,00	90	4,0	
5	Hö	-3,75	-1,00	80	Hö/upp	20	-1,00	-4,00	85	4,5	IOL
6	Hö	-1,25	-1,00	180	Hö	22	-1,00	-2,00	80	5,5	
7	Vä	±0,00	-1,00	80	Upp	20	±0,00	-1,50	170	4,0	
8	Vä	-8,00	-3,50	5	Hö	30–40	Går ej			3,5	Liten pupill
9	Vä	+11,25	-5,50	20	Ner	25	+10,00	-12,50	150	4,0	
10	Hö	+0,25			Upp	18	+0,25	-3,25	170	4,5	
11	Vä	+0,50	-0,75	165	Upp	10	+1,00	-3,50	170	3,5	
12	Hö	+1,00	-4,00	90	Hö	15	+2,25	-9,00	80	3,5	IOL
13	Hö	Går ej			Hö	10	Går ej			3,0	Liten pupill
14	Vä	+1,00	-0,50	70	Vä	22	+2,75	-2,00	105	4,5	
15	Hö	+4,25	-1,25	95	Hö	16	+5,25	-3,25	95	5,0	
16	Vä	+0,50	-1,50	175	Upp	16	+1,50	-4,50	155	6,0	
17	Hö	-3,00	-1,75	95	Hö/upp	16	-3,00	-2,50	65	5,5	
18	Hö	±0,00	-2,00	90	Hö	14	-1,00	-3,50	95	4,5	
19	Vä	Går ej			Upp	15	+1,25	-0,25	80	3,0	Liten pupill
20	Vä	-4,50	-2,00	10	Vä	10	-4,75	-3,25	25	4,0	
21	Hö	-0,25	-0,50	95	Hö	17	-0,75	-2,00	90	5,0	
22	Vä	+0,75	-1,00	110	Hö	15	+3,00	-3,00	100	4,0	
26	Vä	+1,75	-3,00	90	Hö	10	+2,25	-5,00	90	4,5	
27	Hö	Går ej			Hö	-	Går ej			2,5	Liten pupill
28	Hö	+0,50	-0,50	95	Ner	13	+0,50	-1,25	125	6,0	
30	Hö	+0,75	-0,50	135	Hö	10	+2,50	-1,00	80	4,5	
32	Vä	Går ej			Hö	17	Går ej			4,5	IOL
34	Hö	±0,00	-1,00	100	Hö	18	+2,00	-2,50	105	5,0	
35	Hö	+0,25	-1,25	180	Hö	15	-0,50	-0,50	115	4,5	
36	Vä	-0,25	-2,75	85	Hö	17	Går ej			3,5	Katarakt
37	Vä	+3,75	-2,25	90	Hö	22	+3,00	-3,00	100	4,5	
38	Vä	+0,50	-2,50	88	Vä	10	+1,25	-3,25	85	4,0	



FP	Öga	Central korrektion			Excentrisk fixations-riktning	Vinkel (°)	Excentrisk korrektion i			Pupill storlek (mm)	Kommentarer
		Sf. (D)	Cyl. (D)	ax. (°)			Sf. (D)	Cyl. (D)	ax. (°)		
39	Vä	-2,00	-0,50	150	Vä	8	-0,75	-0,75	15	5,5	
40	Vä	-3,50	-4,50	175	Vä/ner	26	-3,50	-1,25	140	4,0	
41	Vä	Går ej			Centr.	-	Går ej			3,5	Central fixation
42	Båda	Går ej			Altern.	-	Går ej			4,0	Katarakt
43	Hö	+0,25	-2,25	95	Hö	15	±0,00	-3,25	75	4,0	Växlar
43	Vä	+1,75	-3,25	85	Vä	22	+1,00	-6,50	80	4,0	Växlar
44	Vä	-1,25	-1,25	70	Vä/Ner	17	-0,50	-0,50	180	4,5	
45	Hö	-2,00	-0,75	130	Hö	17	-0,75	-0,75	85	4,5	
46	Hö	-1,75	-3,75	170	Hö	28	Går ej			3,5	Liten pupill
47	Hö	-1,25	-0,75	170	Hö	15	-0,25	-0,75	85	4,0	Växlar
47	Vä	-0,75	-0,75	115	Vä	17	+0,75	-1,75	95	4,0	Växlar
48	Hö	+0,25	-0,75	180	Hö	10	+2,25	-2,00	85	4,5	
49	Hö	-2,25	-0,50	140	Hö	25	-1,25	-3,50	85	5,0	
50	Vä	+1,00	-0,50	35	Vä	16	-0,50	-0,50	60	4,0	
51	Hö	-0,50	-0,50	135	Upp	5	-0,50	-0,50	10	5,5	
52	Hö	-1,75	-4,75	105	Hö	15	-1,00	-6,00	90	4,5	Växlar
52	Vä	+1,25	-2,25	85	Vä	15	+2,50	-3,00	90	4,5	Växlar
53	Hö	-5,25	-0,50	125	Hö/upp	8	-4,75	-1,25	175	5,0	
54	Båda	Går ej			Hö	-	Går ej			3,5	Katarakt
55	Vä	±0,00	-0,50	15	Upp	12	+1,00	-1,00	175	4,0	
56	Vä	±0,00	-2,00	165	Upp	10	+0,50	-2,00	155	5,0	
57	Hö	+6,25	-1,00	95	Hö	15	+6,00	-2,75	85	4,0	
58	Vä	+0,50	-1,25	95	Vä	17	+1,50	-2,75	85	4,0	
59	Hö	-0,75			Hö	15	-1,25	-1,00	100	5,0	
60	Hö	-0,25	-0,50	140	Hö	5	+0,50	-1,00	105	3,5	
61	Hö	+2,00	-1,75	170	Hö	10	+0,75	-0,50	25	4,5	
62	Hö	±0,00	-0,50	95	Hö	22	±0,00	-2,25	75	4,0	
63	Hö	-2,75	-0,50	115	Upp	12	-2,00	-1,25	35	4,5	
64	Vä	-0,25	-1,75	85	Upp	21	-1,00	-2,50	10	3,5	
65	Vä	-1,75	-1,50	25	Upp	13	-1,00	-2,75	30	5,0	
66	Båda	-0,50			Hö	5	-0,50			4,5	
67	Vä	-3,00	-1,50	20	Upp	6	-2,75	-2,00	25	4,5	
69	Vä	-1,25	-0,50	40	Upp/vä	22	-0,25	-3,75	65	5,0	
70	Hö	-0,25	-0,50	75	Hö	20	+1,50	-3,00	90	5,0	
71	Vä	+0,50	-0,75	115	Vä	7	+1,00	-1,25	130	3,5	
72	Vä	+0,75	-0,75	15	Upp	10	+1,25	-1,50	175	4,0	
74	Vä	-1,00	-0,75	115	Vä	21	+1,00	-3,75	100	4,5	
75	Vä	-2,75	-0,50	70	Vä	20	-1,25	-1,75	85	4,0	
76	Hö	+1,25	-1,50	160	Hö	13	+0,75	-2,00	90	4,0	
77	Vä	+2,50	-0,25	125	Hö	21	+3,75	-3,75	90	4,5	
78	Hö	-5,50	-1,75	95	Hö	16	-3,00	-3,00	100	3,5	
79	Hö	-1,25	-0,75	85	Hö	15	±0,00	-2,00	90	4,5	
80	Vä	-6,00	-0,75	5	Hö	5	-7,00	-1,25	175	5,5	
81	Vä	-0,75	-0,25	10	Vä	20	-0,25	-1,25	130	4,0	

Mätvärden för central och excentrisk korrektion redovisas individuellt i tabellen. Astigmatismen är större excentriskt än centralt. I medeltal är skillnaden 1,3 D mellan den centrala och den excentriska fixationsriktningen som genomsnittligt ligger 15° från den optiska axeln. De individuella skillnaderna är ändå det som är mest intressant.

Resultaten visar på lika stora individuella variationer som vi tidigare sett i friska ögon [Gustafsson et al. 2001]. I de flesta fallen ökar astigmatismen med ökande vinkel mot optiska axeln. Men det finns även exempel på att en central astigmatism minskar eller nästan försvinner i stora vinklar, se fall 35, 40 och 61. Astigmatismen kan också växla riktning. I fallen 7, 44, 48, 63 och 76 förändras riktningen nästan 90°. De sfäriska värdena mellan central och excentrisk korrektion kan både öka och minska. Räknar man sfärisk ekvivalent på cylinder och sfär blir det dock i genomsnitt liten skillnad. Fast även här finns det i enskilda fall exempel på förändring åt mer eller mindre hyperopi eller myopi.

För tre av försökspersoner, 43, 47 och 52, redovisas resultaten från båda ögonen. De har liknande syn på båda ögonen och alternerar mellan att använda vänster och höger öga. En försöksperson uppvisade ingen astigmatism alls och det saknas värde på fixationsriktning för fyra personer.

Det finns flera orsaker till varför det inte går att mäta på alla ögon. I några fall beror det på grumliga medier, i första hand begynnande katarakt. I något fall gick det inte att mäta med denna metod i ögon som fått linsen utbytt mot en intraokulär lins i samband med kataraktoperation. En intraokulär lins i sig gör inte mätningar omöjliga, men för linser med höga brytningsindex verkade fotorefraktionen inte fungera. Vidare kan små pupillstorlekar omöjliggöra mätning, speciellt i sneda vinklar.

#### **VÅGFRONTSMÄTNINGAR**

På 6 synsvaga personer har det utförts vågfrontsmätningar med en för ändamålet byggd aberrometer med Hartmann-Shack-sensor och på några också med Zeiss instrument WASCA (kommersiellt tillgänglig vågfrontsmätare). Refraktionen har beräknats på två sätt utifrån vågfrontsmätningarna. Minimering av vågfrontsfelet (RMS-korrektion) och optimering av bildkvalité (Strehl-korrektion), är båda beräknade vid 4 mm pupillstorlek. Som jämförelse finns även korrektion uppmätt med fotorefraktionering med PowerRefraktorn. Alla värden är avrundade till 0,25 dioptrier respektive närmaste 5° i axelläge.

*FP 1: Höger öga excentrisk fixation cirka 35° åt höger*

Metod	Vinkel	sf. (D)	cyl. (D)	ax. (°)
RMS	33°	+2,25	-4,25	95
Strehl	33°	+2,50	-2,75	95
RMS	36°	+2,75	-6,00	100
Strehl	36°	+3,50	-1,50	110
RMS	40°	+3,25	-7,25	95
Strehl	40°	+4,50	-2,00	105
PowerRefraktor*		+4,00	-4,00	90

\* PowerRefraktorn klarade inte att mäta i 30–35° från optiska axeln.  
 Detta värde är uppmätt vid ca 25°, dvs. lite in i skotomet.

*FP 2: Höger öga excentrisk fixation cirka 20° åt höger*

Metod	sf. (D)	cyl. (D)	ax. (°)
RMS	-2,75	-1,00	90
Strehl	-3,25	-1,75	80
WASCA	-2,75	-1,25	90
PowerRefraktor	-2,00	-3,00	90

*FP 11: Vänster öga excentrisk fixation cirka 10° uppåt*

Metod	sf. (D)	cyl. (D)	ax. (°)
RMS	±0,00	-2,75	10
Strehl	+0,50	-2,50	5
WASCA	+0,75	-3,00	165
PowerRefraktor	+1,25	-3,75	170

*FP 17: Höger öga excentrisk fixation cirka 16° höger och lite uppåt*

Metod	sf. (D)	cyl. (D)	ax. (°)
RMS	-4,25	-5,25	75
Strehl	+1,75	-9,00	50
PowerRefraktor *	-3,00	-2,50	65

\* varierande värden

*FP 21: Höger öga excentrisk fixation cirka 17° åt höger*

Metod	sf. (D)	cyl. (D)	ax. (°)
RMS	-3,00	-1,50	90
Strehl	-3,25	-1,50	80
WASCA	-2,50	-1,75	90
PowerRefraktor	-0,75	-2,00	90

*FP 70: Höger öga excentrisk fixation cirka 20° åt höger*

Metod	sf. (D)	cyl. (D)	ax. (°)
RMS	+0,25	-2,25	85
Strehl	+0,50	-2,00	90
PowerRefraktor	+1,50	-3,00	90

*Kommentarer:*

För FP1 visar skillnaden mellan Strehl-korrekturen och RMS-korrekturen att astigmatismen är mindre med Strehl, medan det för FP 17 gäller det rakt motsatta: astigmatismen är större med Strehl-korrekturen. Om detta beror på högre ordningens aberrationer som koma eller om skillnaden orsakas av t.ex. olika pupillform är inte

klarlagt. För FP 17 har PowerRefraktorn hela tiden givit varierande värden. Inget av dem liknar Strehl-korrekktionerna.

De övriga försökspersonerna har inte lika stora högre ordningens aberrationer och mätvärdena varierar därför mindre mellan de två beräkningssätten. De få mätningar som gjorts med det kommersiella instrumentet WASCA ger som sig bör god överensstämmelse med RMS-beräkningarna.

#### **VALIDERING AV REFRAKTIONSMETODERNA**

Det är svårt att åstadkomma någon egentlig validering av metoder att mäta refraktion hos synsvaga människor, dvs. att kontrollera att metoderna faktiskt mäter det de avser att mäta. För att en validering skall vara möjlig behövs bättre synmättningsmetoder för excentrisk syn (se nästa avsnitt). Med facit från sådana blir det kanske möjligt att se vilken refraktionsmetod som leder till den optiska korrekktion som ger den bästa synen.

Vi har jämfört fyra metoder med varandra. För själva metodjämförelsen behövs inte synsvaga människor, så här har vi använt 50 normalsynta personer och mätt deras högeröga fixerande åt höger i 20° och i 30° från den optiska axeln. Mätningarna har utförts med PowerRefraktorn, vanlig streck-retinoskopi, vågfrontsmätning med Hartmann-Shack-sensor och subjektiv refraktion med optimering av kontrastkänslighet. Överensstämmelsen mellan alla fyra metoderna är ganska god, se artikeln [Lundström et al. 2004a].

Vågfrontsmätningen (HS) ger generellt värden förskjutna åt för mycket negativ korrekktion. Vid retinoskopi har man svårt att hitta rätt axelläge varför denna metod förefaller vara den sämsta. Subjektiva metoden är klart mer osäker och ger stor spridning av resultaten. Anledningen är i första hand den ansträngande och tidsödande mätningen. Bäst är Hartmann-Shack-sensorn, inte minst för att man med denna också kan skilja ut högre ordningens aberrationer. Det kanske viktigaste resultatet av jämförelsen mellan metoderna är att den snabba PowerRefraktorn förefaller ge rimligt bra resultat. Men den klarar ofta inte mätning vid 25–30° vinkel och större eftersom den projicerade storleken på pupillen där blir för liten.

#### **RETINOSKOPI UTAN LEDTRÅD (MÄTNINGAR PÅ 4 ÖGON)**

Retinoskopi genomfördes av en kollega till mig: en erfaren svagsynoptiker utan någon tidigare information om försökspersonernas brytningfel. Uppgiften var att mäta subjektiv refraktion medan försökspersonen fixerade excentriskt efter bästa förmåga, att genomföra retinoskopi (utan cycloplegi) vid central fixation (fixera rakt fram utan att se fixationsobjektet) och sedan genomföra samma mätning men med excentrisk fixation i den mest invanda och använda excentriska riktningen.

Person och öga	Pupillstorlek vid subjektiv refraction (mm)	Subjektiv refraction i svag belysning sf. (D) cyl. (D) ax. (°)	Pupillstorlek vid retinoskopi (mm)	Retinoskopi centralt sf. (D) cyl. (D) ax. (°)	Excentrisk fixation	Retinoskopi excentriskt sfär (D) cyl. (D) ax (°)
FP 1 hö. öga	4,5	+1,50	5,0	+1,50 -0,75 15	35° åt höger	+1,25 -0,50 45
FP 11 vä. öga	3,5	+1,00 -2,00 150	3,5	+0,50 -1,50 160	10° uppåt	+0,50 -1,75 170
FP 21 hö. öga	5,0	-1,00 -1,00 90	6,0	-0,25 -1,00 90	17° åt höger	-1,00 -1,00 80
FP 70 hö. öga	3,5	+1,25 -1,25 180	4,0	-0,75 -0,50 45	20° åt höger	-0,75 -0,50 100

*Refraktionsvärden från subjektiv refraktionering vid användning av sin PRL och retinoskopi centralt och excentriskt. Pupillstorlek och vinkel på excentriska fixationen.*

#### *Kommentarer*

FP 1: Vid en jämförelse med resultaten från fotorefraktionering och vågfrontsmätningarna som gav: sf. +3,0 cyl. -2,0 ax. 100° kan man här tydligt se att ingen av dessa kliniska metoder hittade astigmatismen.

FP 11: De vanliga kliniska metoderna ger en ganska bra vägvisning men viss undervärdering av astigmatismen. Axelläget är också lite annorlunda än med de andra metoderna där Strehl-korrektion gav: sf. +0,5 cyl. -2,5 ax. 5°.

FP 21: Jämför man dessa värden med fotorefraktionering och vågfrontsmätningarna kan man se att astigmatismen hittats men undervärderats något. PowerRefraktorn gav: sf. -0,75 cyl. -2,0 ax. 90°.

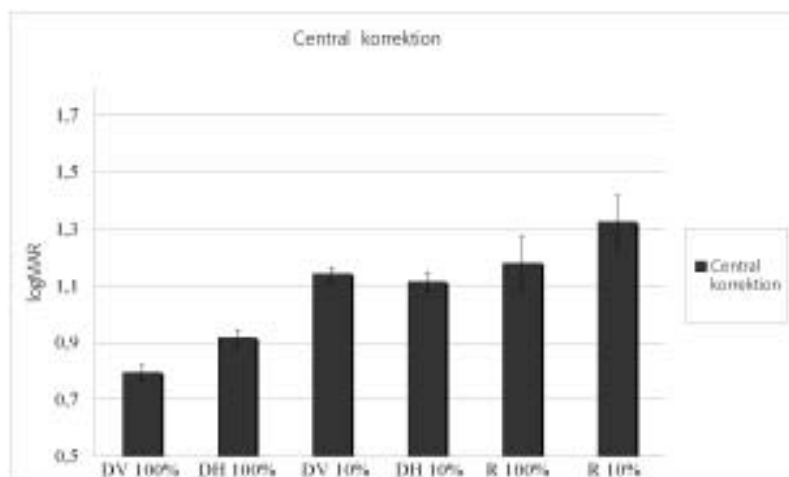
FP 70: Ingen av dessa kliniska metoder har fångat astigmatismen som visas vid fotorefraktionering och vågfrontsmätningar. Strehl-korrektionen är: sf. +0,5 cyl. -2,0 ax. 90°.

Kommentaren från den undersökande optikern vid ovanstående mätningar var att de kändes osäkra vid excentrisk fixation. Den objektiva mätningen med retinoskopi upplevdes som en grov uppskattning. Hos FP 1 och 70 upptäcktes inte den sneda astigmatismen alls.

## **Excentrisk synfunktion, med och utan korrektion**

I min licentiatavhandling [Gustafsson 2001] och i [Gustafsson et al. 2003] redovisas mätningarna med och utan excentrisk korrektion för FP 1–7. De excentriska korrektionerna mättes med PowerRefraktorn som beskrivits i tidigare kapitel och synfunktionen värderades med HRP ringarna. Alla mätningar genomfördes tre gånger för varje försöksperson och resultaten visade att de uppmätta förbättringarna stämde bra överens med personernas subjektiva upplevelse.

För värdering av kontrastseendet användes Peli-Robson tavlorna. Testen är inte utrustad med någon fixationshjälp, vilket gör att den excentriska fixationen kan ha varierat mer än i de andra testerna. Likaså finns det en risk att man minns bokstäverna eftersom det bara finns två tavlor. Endast en liten förbättring i lågkontrast kunde uppmätas hos ovannämnda försökspersoner med excentrisk korrektion.



Figur 36. Grafen visar medelvärde och standardavvikelse på tröskelvärdena i log MAR från de 10 upprepade mätningarna i 30° excentrisk vinkel. DV = detektion vertikalt, DH = detektion horisontellt, R= upplösningsförmåga. Kontrasten var 100 respektive 10 %.

## PERIFERA VISUELLA EVALUERINGEN, PVE

PVE mätningarnas upprepbarhet studerades på ett friskt högeröga genom 10 mätningar i vinkeln 30° upp åt höger horisontellt. Försökspersonen satt med huvudet rakt fram och ögat fixerande ett märke åt höger, 3 m bort. Detta gör att försökspersonen ser med det nasala synfältet, dvs. använder temporal delen på näthinna. För att kunna se fixationsmärket användes den centrala korrektionen (sf. -3,0 cyl. -0,5 ax. 50°), och vänster öga var förtäckt. Upplösningsförmåga (siffertest) och detektion (randtest) mättes i både hög och låg kontrast. För de 6 olika testerna, upplösningsförmåga i två kontrastnivåer samt detektion vertikalt (vertikala ränder) och horisontellt (horisontella ränder), visar figur 36 medelvärde och standardavvikelse. De uppmätta resultaten gäller endast denna person i den värderade riktningen.

Standardavvikelsen är väsentligt mindre bland detektionstesterna (ca 0,03 logMAR) än med upplösningstesterna (ca 0,09 logMAR). Detta beror på att detektionstestet är en mindre komplicerad uppgift än upplösningstestet och därför inte lika beroende av försökspersonens uppmärksamhet. Dessutom användes en tvingande tvåvalsmetod (2AFC, two alternative forced choice) vid detektionstestet för att hålla gissningsnivån på 50%. Vid upplösningstestet var denna nivå okontrollerad.

## SYNFÖRÄNDRINGAR I 7-GRUPPEN

Här följer en samlad genomgång av synfunktionsmätningar och korrektionseffekter hos de 7 huvudpersonerna i undersökningen. Alla korrektioner har anpassats för mätavståndet 1 meter, det vill säga till nedanstående värden har sf. +1,0 D adderats. Uppmätta visusvärden är avrundade till närmsta 0,05 logMAR.

*FP 1: Den först korrigerade.*

*Man, 57 år, höger öga, excentrisk fixation 30–35° åt höger*

I tidigare synrehabilitering har han fått korrektion för hyperopi och astigmatism centralt men inte upplevt någon förbättring. Den

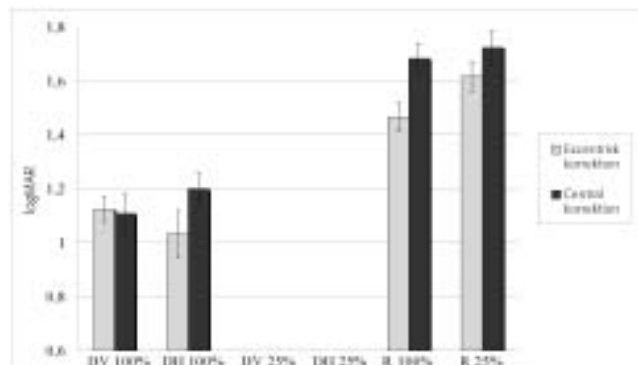
vanligaste fixationsriktningen har varit ca 30° ner, möjligen ibland uppåt. Vid mätningen med PowerRefraktorn blev han själv medveten om att fixation ca 30° åt höger ger bättre syn. Denna riktning hade han använt då och då även tidigare men inte medvetet. För att utesluta att skillnaden i förbättrad syn bara handlar om att en bättre PRL hittades, har många mätningar gjorts med och utan korrektion.

HRP: Vid de första värderingarna med HRP-ringen användes värden från uppskattningar gjorda med fotorefraktion. Med den centrala korrektionen sf. +2,0 cyl.–1,0 ax. 25° blev resultatet 1,70 logMAR (decimal visus 0,02). Den excentriska korrektionen som användes var sf. +4,0 cyl. –4,0 ax. 90°. Den gav visus 1,55 logMAR (decimal visus 0,03).

Detta exempel visar att det kan göra skillnad med förbättrad bildkvalitet utanför ett stort skotom och att det kan räcka med små synrester om bilden bara förbättras och förstoras. För att se på TV använder denna försöksperson sin nya excentriska korrektion och ett betraktningsavstånd på ca 0,5 meter till skärmen. Att han kan använda den nya fixationsriktningen beror på att den excentriska korrektionen förbättrar bilden.

PVE: Mätningarna med PVE-programmet som redovisas (se fig. 37) är gjorda med central korrektion sf. +2,0 cyl.–1,0 ax. 25°. Den excentriska korrektionen är från vågfrontsmätningarna och har beräknats med Strehl-metoden till sf.+3,0 cyl.–2,0 ax. 100°.

Figur 37. Grafen visar visus i logMAR och standardavvikelsen på vändningarna i trappstegsmetoden, med central och excentrisk korrektion för FP 1. DV = detektion vertikalt, DH = detektion horisontellt, R = upplösningsförmåga. Kontrasten var 100 respektive 25 %.



Med den begränsade syn som finns kvar hos försökspersonen var det inte möjligt att mäta detektion i lågkontrast 25%. Detta är lite förvånande eftersom det gick att mäta upplösningsförmågan i 25% kontrast. Flera försök genomfördes utan framgång. Vid 100% kontrast ökade visus från 1,70 till 1,45 logMAR (decimal visus ca 0,02 till 0,035). Mätningen med 25% kontrast ger mindre skillnad och mindre noggrannhet i mätningen. En skillnad finns även i detektion horisontellt från 1,20 till 1,05 logMAR (decimal visus ca 0,063 till 0,09).

Vi provade även korrektioner uträknade med RMS-metoden vilka gav högre cylindervärden. Den gav en sämre funktion och kunde inte alls accepteras av personen.

Detta är den person som först korrigerats med de uppskattade värdena från fotorefraktioneringen. Synfunktionen värderades då med HRP-ringar och en viss förbättring kunde noteras. Skillnaden var liten åt det positiva hållet med den första excentriska korrektionen. Bäst blev det med korrektion från Hartmann-Shack-mätningen och beräkning enligt Strehl-metoden. Personens subjektiva upplevelser styrker att den excentriska korrektionen från vågfrontsmätningar beräknade med Strehl-metoden ger bäst synfunktion. Han använder korrektionen främst vid TV-seende.

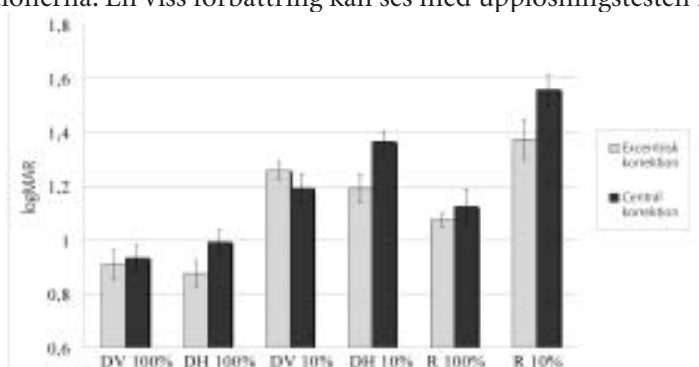
*FP 2: Kvinna, 61 år, vänster öga, excentrisk fixation 20° åt höger*

Använder sedan länge bara en stabil fixation med vänster öga cirka 20° åt höger. Har haft sin korrektion för myopi sf. -3,75 under många år.

HRP: Vid de första värderingarna med HRP användes värden från fotorefraktion. Med den centrala korrektionen sf. -3,75 blev resultatet 1,30 logMAR (decimal visus 0,05). Excentriska korrektionen som användes var sf. -2,0 cyl. -3,0 ax. 90° och gav visus 1,20 logMAR (decimal visus 0,063)

PVE: Den centrala korrektionen är sf. -4,0 cyl. -0,5 ax. 12°. Den excentriska korrektionen som använts i mätningen som redovisas här är sf -3,25 cyl. -1,75 ax. 80° beräknad med Strehl-metoden från Hartmann-Shack-sensorn (se fig. 38).

Detektionstesterna visar ingen direkt skillnad mellan de båda korrektionerna. En viss förbättring kan ses med upplösningstesten i



Figur 38. Grafen visar visus i logMAR och standardavvikelsen på vändningarna i trappstegs-metoden med central och excentrisk korrektion för FP 2. DV = detektion vertikalt, DH = detektion horisontellt, R = upplösningförmåga. Kontrasten var 100 respektive 10 %.

lågkontrast 10%, från 1,55 till 1,35 logMAR (decimal visus ca 0,03 till 0,045) men ingen nämnvärd skillnad i högkontrast.

Eftersom det blev förbättring med den första excentriska korrektionen från fotorefraktion är det lite förvånande att vi med PVE-mätningarna inte hittat någon skillnad. Jämförs de två korrektionerna, fotorefraktion och vågfrontsmätning, gav vågfrontsmätningarna bäst synfunktion. Den subjektiva upplevelsen av båda excentriska korrektionerna har varit positiv. Med den nyaste korrektionen beskriver försökspersonen att dessa glasögon vid jämförelse med de första är mer vilsamma, den första excentriska korrektionen är mer ”orolig”.



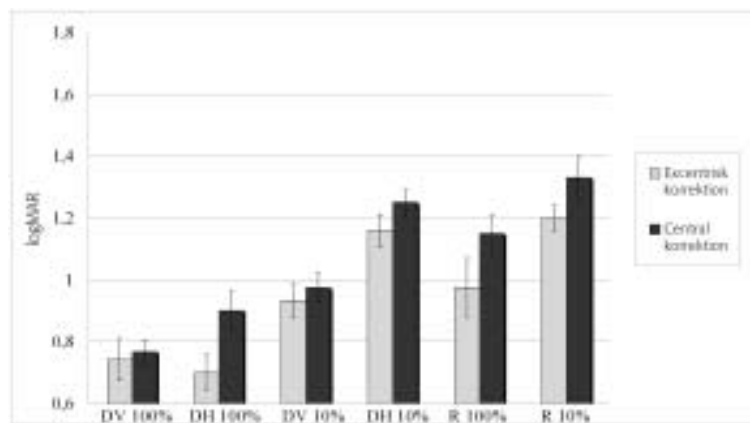
FP 11: Man, 79 år, vänster öga, excentrisk fixation 10° upp

Använder svag astigmatisk korrektion motsvarande central korrektion.

HRP: Vid de första värderingarna med HRP användes värden från fotorefraktion. Med den centrala korrektionen sf. +0,5 cyl. -0,75 ax. 165° blev resultatet 1,25 logMAR (decimal visus ca 0,06). Den excentriska korrektionen från PowerRefraktorn var sf. +1,0 cyl. -3,5 ax. 170° och gav visus ca 1,15 logMAR (decimal visus 0,07).

PVE: Den centrala korrektionen använd i dessa mätningar är sf. +0,5 cyl. -0,75 ax. 165° och den excentriska korrektionen sf. +0,5 cyl. -2,5 ax. 5° beräknad med Strehl-metoden från Hartmann-Shack-sensorn (se fig. 39).

Figur 39. Grafen visar visus i logMAR och standardavvikelsen på vändningarna i trappstegsmetoden, med central och excentrisk korrektion för FP 11. DV = detektion vertikalt, DH = detektion horisontellt, R = upplösningförmåga. Kontrasten var 100 respektive 10 %.



En tydlig förbättring kan ses av detektionströskeln horisontellt vid hög kontrast, annars ingen större förbättring av detektionen med excentrisk korrektion. En viss förbättring finns i upplösningförmåga i den högre kontrasten, från 1,15 till ca 1,0 logMAR (decimal visus ca 0,07 till 0,1) vilket är ett högt värde för 10° vinkel från optiska axeln. Likaså är värdet på detektionsmätningarna väsentligt bättre än hos de andra personerna med retinal degenerationen.

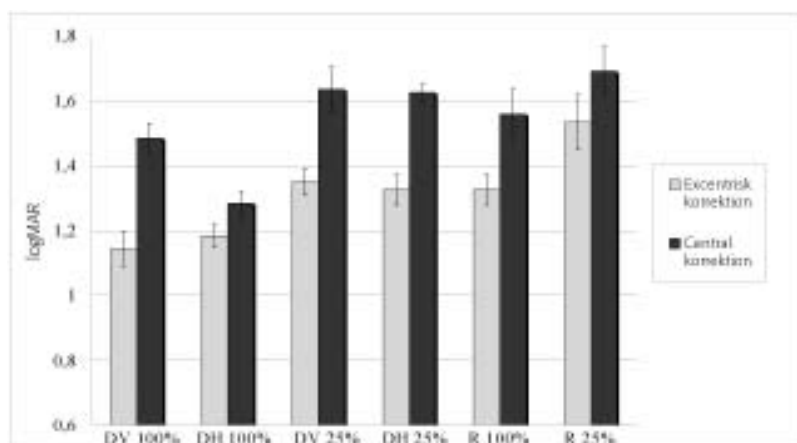
För denna person är förändringen inte särskilt stor men ändå upplever han en subjektiv skillnad som gör att han gärna använder sin excentriska korrektion. Även om han inte hela tiden fixerar 10° upp ger inte denna korrektion några negativa bieffekter i det övriga synfältet. Denna excentriska korrektion bärs nu alltid. Senare skall korrektionen integreras i förstoringshjälpmedlen för läsning med hög addition på kort avstånd.

FP 17: Man, 42 år, höger öga, excentrisk fixation cirka 20° åt höger samt lite uppåt

Bär korrektion som motsvarar den centralt uppmätta.

HRP: Mätningar inte genomförda.

PVE: Undersökningarna med fotorefaktionering och försök till retinoskopi har givit instabila värden och excentrisk korrektion har inte testats förrän vågfrontsmätningarna var klara. I nedanstående redovisade mätningar var den centrala korrektionen sf. -2,5 cyl. -1,0 ax. 25° och den excentriska sf. +1,75 cyl. -9,0 ax. 50° beräknad med Strehl-metoden från Hartmann-Shack-sensorn (se fig. 40).

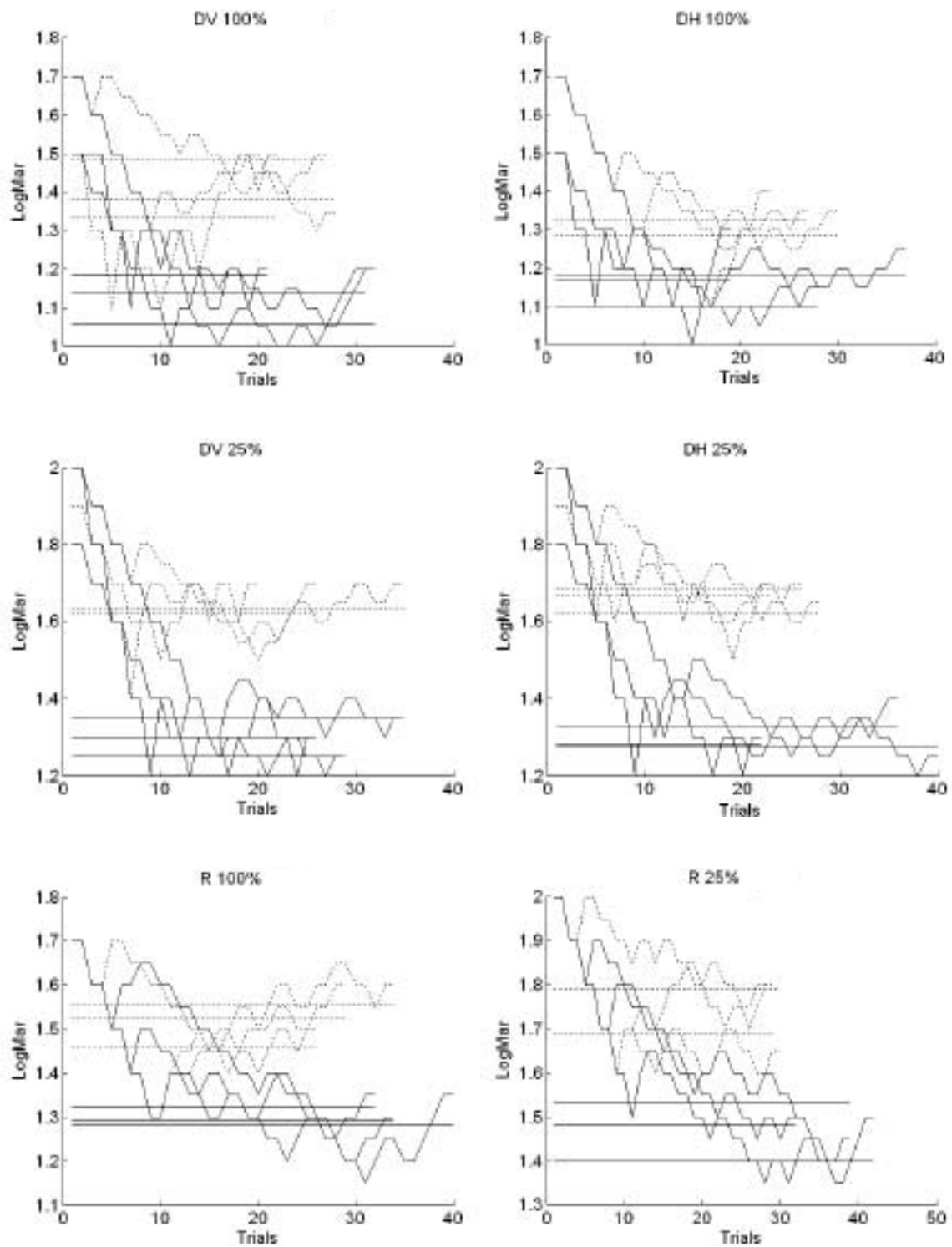


Figur 40. Grafen visar visus i logMAR och standardavvikelsen på vändningarna i trappstegs-metoden, med central och excentrisk korrektion för FP 17. DV = detektion vertikalt, DH = detektion horisontellt, R = upplösningsförmåga. Kontrasten var 100 respektive 25 %.

Från de tre mätningar som genomfördes vid tre separata dagar med ungefär 2 veckor mellanrum ses en mer generell förbättring av alla värden. Minst är förbättringen av detektion horisontellt i hög kontrast. Vertikalt förbättrades detektionströskeln från 1,50 till 1,15 logMAR (decimal visus ca 0,03 till 0,075) i 100% kontrast. I 25% kontrast ändrades detektionströskeln vertikalt från 1,60 till 1,30 logMAR (decimal visus ca 0,025 till 0,05) och horisontellt var förbättringen nästan densamma, 0,3 logMAR. Tröskelvärdet i upplösningstesten med 100% kontrast förbättrades från 1,55 till 1,3 logMAR (decimal visus ca 0,03 till 0,05) och vid den lägre 25% kontrasten från 1,70 till 1,5 logMAR (decimal ca 0,02 till 0,035).

Denna person kan subjektivt tydligt bekräfta den förbättrade syn som visas ovan. I första hand kan han använda glasögonen med den stora astigmatiska korrektionen vid stillasittande och använder dem främst när han tittar på TV eller använder datorn. Vid förflyttning har han svårt att bära dem.

Mätdata på FP 17 från alla tre PVE mätningarna, plottade med en streckad linje för central korrektion och en heldragen för excentrisk korrektion (se fig. 41).



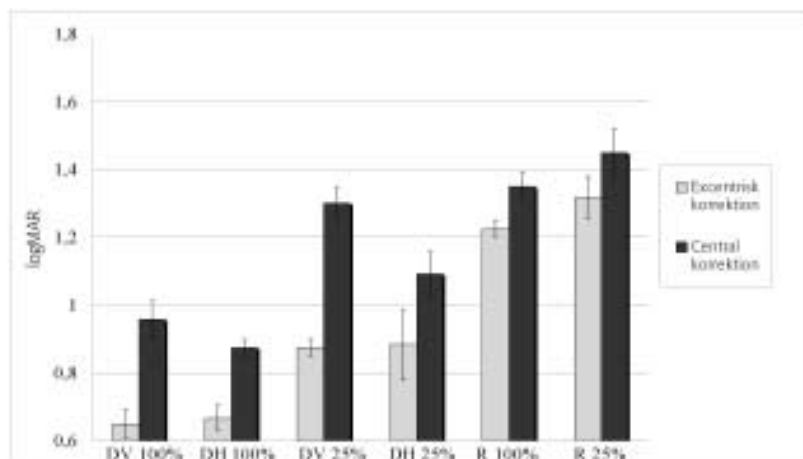
Figur 41. Alla mätningar på FP 17, genomförda tre gånger, en linje för varje mätning. De streckade linjerna representerar den centrala korrektionen och de heldragna den excentriska för varje trappsteg vid mätning av DV 100% = detektion 100% kontrast vertikalt, DH 100% = detektion 100% kontrast horisontellt, DV 25% = detektion 25% kontrast vertikalt, DH 25% = detektion 25% kontrast horisontellt, R 100% = upplösningsförmåga 100% kontrast och R 25% = upplösningsförmåga 25% kontrast. De horisontella linjerna representerar det uppmätta tröskelvärdet för varje mätning.

FP 21: Kvinna, 33 år, höger öga, excentrisk fixation 17° åt höger

Har några gånger fått refraktiv korrektion i glasögon utan någon effekt.

HRP: Vid de första värderingarna med HRP användes värden från fotorefraktion. Helt utan korrektion blev resultatet 1,4 logMAR (decimal visus cirka 0,04). Korrektion av den minimala myopin och astigmatismen centralt gjorde ingen mätbar skillnad. Den excentriska korrektionen som användes var sf. -0,75 cyl. -2,0 ax. 90° och den gav visus 1,10 logMAR (decimal visus cirka 0,08)

PVE: I nedanstående mätningar har den obetydliga centrala korrektionen sf. -0,25 cyl. -0,5 ax. 95° använts. Den excentriska korrektionen som användes var sf. -0,75 cyl. -2,0 ax. 90° från de mätningar som gjorts med PowerRefraktorn, eftersom den gav bättre synfunktion. Förbättringen var ungefär 0,1 logMAR, både i hög och låg kontrast, jämfört med korrektionen från vågfrontsmätningarna, sf. -3,25 cyl. -1,5 ax. 80° (se fig. 42).



Figur 42. Grafen visar visus i logMAR och standardavvikelsen på vändningarna i trappstegsmetoden, med central och excentrisk korrektion för FP 21. DV = detektion vertikalt, DH = detektion horisontellt, R = upplösningsförmåga. Kontrasten var 100 respektive 25 %.

Här kan vi se en tydlig förbättring, särskilt av detektion som effekt av den excentriska korrektionen. För vertikala ränder vid 100% kontrast är förbättringen 0,95 till 0,65 logMAR (decimal visus ca 0,1 till 0,3) och i 25% 1,30 till 0,90 logMAR (decimal visus cirka 0,05 till 0,13). Klart störst förbättring, 0,4 logMAR, visas här av detektion vertikalt i 25% kontrast. Tröskelvärden för detektion ligger här nära de nivåer som friska ögon uppnår. I detta fall är inte näthinnans receptorer skadade men däremot synnerven.

Upplösningsförmågan förbättrades från 1,35 till 1,20 logMAR (decimal visus cirka 0,045 till 0,065) i 100% kontrast och från 1,45 till 1,30 logMAR (decimal visus cirka 0,035 till 0,05) i den lägre 25% kontrasten.

Korrektionen ger en upplevd förbättrad syn och används på heltid för längre synavstånd än en armslängd. Tidigare har försökspersonen fått central korrektion med svag minusstyrka men denna gav ingen effekt.

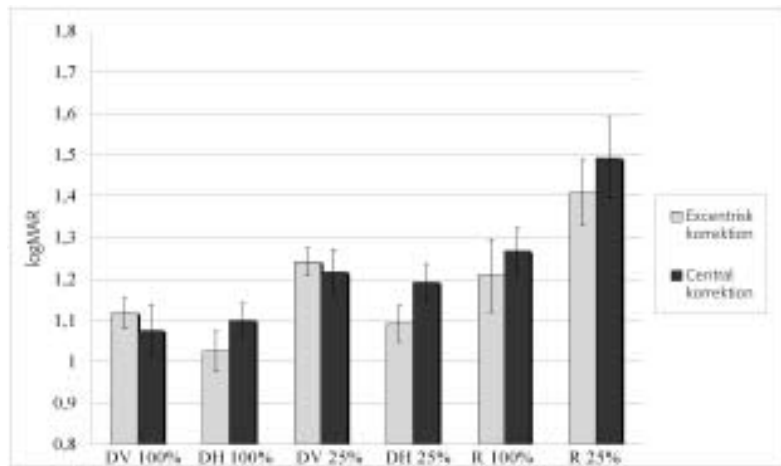
FP 70: Man, 44 år, höger öga, excentrisk fixation 20° åt höger

Var inte medveten om användning av excentrisk fixation, har tränat mycket och har hittat sin bästa PRL vid fixation åt höger. Aldrig använt refraktiv korrektion.

HRP: Vid de första värderingarna med HRP användes värden från fotorefraktion. Helt utan korrektion blev resultatet 1,30 logMAR (decimal visus 0,05). Korrektion av den minimala myopin och astigmatismen centralt gjorde ingen skillnad. Excentrisk korrektionen som användes var sf. +1,5 cyl. -3,0 ax. 90° och gav visus 1,20 logMAR (decimal visus cirka 0,06).

PVE: I mätningarna nedan är den centrala korrektion som använts sf. -0,25 cyl. -0,5 ax. 75°. Den excentriska korrektionen har styrkan sf. +0,5 cyl. -2,0 ax. 90° och är beräknad med Strehl-metoden från vågfrontsmätningar (se fig 43).

Figur 43. Grafen visar visus i logMAR och standardavvikelsen på vändningarna i trappstegs-metoden, med central och excentrisk korrektion för FP 70. DV = detektion vertikalt, DH = detektion horisontellt, R = upplösningsförmåga. Kontrasten var 100 respektive 25 %.



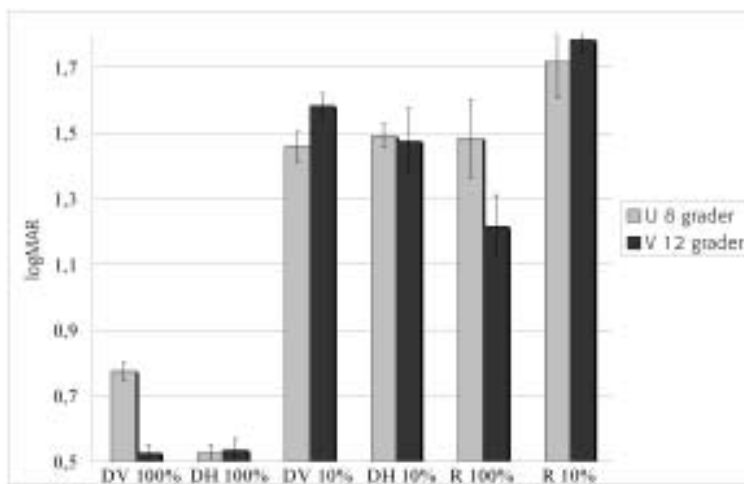
Här finns ingen direkt skillnad mellan de två korrektionerna. En lite större skillnad finns för detektion av horisontella gitter både i hög och låg kontrast. Personen upplever ändå subjektivt en viss förbättring och använder den excentriska korrektionen i första hand för TV-seende på närmare håll än 1 meter. Han kan använda dem vid förflyttning utan problem men upplever då inte någon förbättring.

#### PVE-MÄTNINGAR PÅ KRISTER INDE

Nedan beskrivs några av de experiment och mätningar som genomförts på Krister Inde.

FP 7: Man 57 år, vänster öga. Har tre olika excentriska blickriktningar (funktionella PRL).

Han var tidigare medveten om två av dessa, upp cirka 8° för läsning och cirka 20° upp för bästa orientering. För att se på TV i hemmet använder han cirka 12° excentrisk fixation åt vänster vilket han inte själv observerat tidigare. I dessa tre riktningar finns olika excentriska refraktioner.



Figur 44. Grafen visar visus i logMAR och standardavvikelsen på vändningarna i trappstegsmetoden, i de två mest använda excentriska riktningarna utanför skotomet för FP 7. U 8 = fixation riktning upp 8°, PRL för läsning. V 12 = fixationsriktning 12° åt vänster, PRL för TV seende. DV = detektion vertikalt, DH = detektion horisontellt, R = upplösningsförmåga. Kontrasten var 100 respektive 10%.

HRP: De många mätningar som genomförts har inte visat på någon nämnvärd förbättring av funktionen med hjälp av excentrisk korrektion [Gustafsson et al. 2003]. Mätningarna har ändå varit värdefulla för metodutvecklingen.

PVE: Det vänstra ögat är det bästa och har en central korrektion sf.  $\pm 0$  cyl.  $-1,0$  ax.  $80^\circ$ . I den största excentriska fixationen,  $20^\circ$  upp, är den excentriska korrektionen sf.  $-1,0$  cyl.  $-1,5$  ax.  $170^\circ$ .

Någon direkt effekt av den excentriska korrektionen från PVE mätningarna har inte kunnat påvisas.

*Jämförelse mellan två PRL:* Mätningar är gjorda i de två mest använda PRL, upp cirka  $8^\circ$  utan korrektion och åt vänster cirka  $12^\circ$  med korrektionen sf  $\pm 0$  cyl.  $-1,5$  ax.  $80^\circ$ . I riktningen upp cirka  $8^\circ$  har de flesta mätningar visat att det inte finns någon direkt astigmatism.

En stor skillnad noteras mellan hög och låg kontrast särskilt i detektionsmätningarna. Att det i detta fall finns en tydligt nedsatt kontrastseendefunktion är välkänt men inte att skillnaden i detektionsfunktionen var så stor mellan hög och låg kontrast. Ser vi på den horisontella detektionströskeln skiljer det från 1,45 till 0,55 logMAR (decimal visus ca 0,045 till 0,35) mellan låg och hög kontrast, ganska lika mellan de båda PRL. Tröskelvärdet för hög kontrast detektion ligger här helt i nivå med vad friska ögon uppnår.

Viktigaste klagörandet med mätningen för Krister Inde var att upplösningsförmågan är klart bättre med fixation åt vänster jämfört med uppåt (se fig. 44). Skillnaden i upplösningsförmåga mellan uppåt- och vänsterfixationen i 100% kontrast är nästan 0,3 logMAR, 1,50 (upp) till 1,20 logMAR (vänster) (decimal visus ca 0,03 till 0,065) i dessa mätningar. Att läsa är klart bäst med fixation uppåt eftersom synfältet blir bredare, men det kräver en högre förstoring än fixation åt vänster. Ovanstående resultat förklarar varför han väljer att fixera åt vänster vid just TV-seende och i en del andra situationer.

På Krister Inde, som var en av de mest tränade och medvetna försökspersonerna, genomfördes också flera excentriska experimentkorrektioner. Den första excentriska korrektionen gjordes bara för den mest extrema vinkeln,  $20^\circ$  uppåt. Han kunde se en skillnad i denna vinkeln, även om mätningarna som genomfördes inte



Figur 45. Bilden visar tre excentriska korrektioner vid användande av tre olika PRL. Upp  $20^\circ$ , upp  $7^\circ$  och till vänster  $12^\circ$ . De är gjorda som demonstration av hur refraktionen kan ändras i olika excentriska riktningar. Dessa fungerar inte i praktisk användning.

Figur 46. Den excentriska korrektionen finns nertill och används vid fixation uppåt 20°. Uptill är det central korrektion eller nära central som används i riktningar till höger eller vänster om bortfallet i det centrala seendet eller vid förflyttning. Siffrorna skrivna på linserna beskriver styrkan i sfär, cylinder och axelläge.



kunde visa en signifikant förbättring. Dessa första glasögon var svåra att använda eftersom de bara fungerar i en riktning och gav sämre syn i andra riktningar. Ett par demonstrationsglasögon med korrektion för det vänstra ögat, med tre segment, visar styrkorna för excentrisk korrektion från tidiga mätningar med fotorefraktion, när hans tre PRL används. De visar hur excentrisk korrektion kan variera och att det går att tillverka glas med segment som har olika astigmatisk korrektion multifokalt för avståndsseende. *De fungerar inte i praktisk användning* men de har varit flitigt använda som demonstrationsobjekt. Korrektionen i segmentet för 20° upp visade sig senare vara övervärderad i cylinderkorrektionen.

De glasögon med excentrisk korrektion som fungerar bäst enligt Krister Inde är de dubbelslipade som har både central och excentrisk korrektion (se fig. 46) .

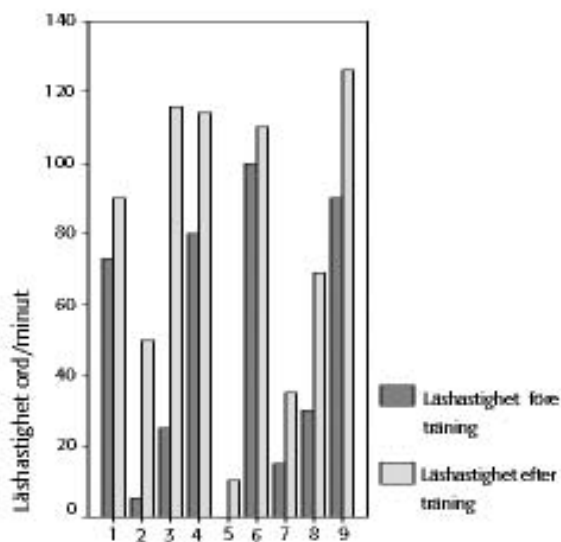
## Inverkan av träning

Här redovisas några av de resultat vi sett av träning och medvetandegörande hos de försökspersoner som medverkat i arbetet.

### LÄSNING MED HÖG FÖRSTORING OCH RÖRLIG TEXT

I ett miniprojekt har 9 (ursprungligen 12) personer med bortfall i det centrala seendet tränats med MoviText-metoden som bygger på träning av fixationsriktning för att på bästa sätt läsa rörlig text. Personerna försågs med förstorande optik med bra optisk kvalitet. Lëshastigheten mättes vid sammanlagt fyra tillfällen under de tre besök som genomfördes för varje person (se fig. 47).

Resultaten är uppmuntrande vad gäller förbättring av läsförmågan. Också personer med stora skotom har kunnat läsa med kraftigt förstorande optik, se [Gustafsson et al. 2004]. Någon enstaka individ visar en liten förbättring men för hela gruppen är förbättringen klart signifikant. Den här metodiken kan ingå i begreppet ”föroptisk träning” (preoptical training), vilket innebär att man lär sig ett nytt beteende innan optiken introduceras.



Figur 47. Läshastighet mätt i antal ord per minut före och efter träningen med MoviText.

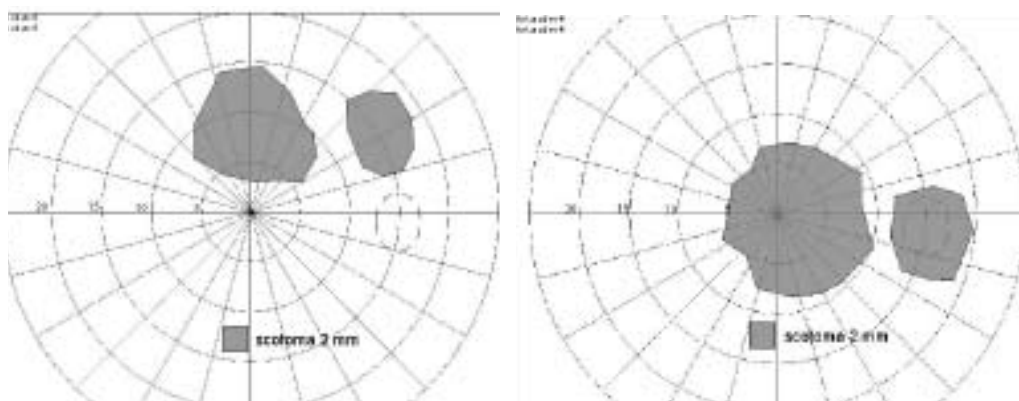
### ATT FINNA SIN BÄSTA FIXATIONSRIKTNING GENOM SYNFÄLTSMÄTNING

En bieffekt av flera av de redovisade mätningarna och utvärderingarna av excentrisk korrektion var att försökspersonerna ökade sin medvetenhet om vart och hur de skulle fixera för att se bättre. Särskilt tydligt blev det vid synfältsmätningen med CAPP, se s. 42–43. Under mätningen kunde flera försökspersoner hitta sin eller sina bästa punkter utanför skotomet (PRL) och själv grafiskt se var de ser och var de inte ser.

I projektet provades tre fixationshjälpmedel: ett litet kors mitt i synfältet, ett stort kors mitt i synfältet som kunde ses tydligt (se fig. 48), och en fixationsring i utkanten av skärmen (se fig. 31). Över hälften föredrog det stora fixationskorsen och att fixera det med sin



Figur 48. Det stora centrala fixationskorsen som används vid perimetri med CAPP.



PRL, vilket gör att skotomet blir decentrerat jämfört med vanlig perimetri (se fig. 49) [Fetchenhauer et al 2004].

Mot bakgrund av hur svårt det kan vara att få fram bra synfältsmätningar för den berörda gruppen är det glädjande att denna metod både möjliggör att man klarar synfältsmätningar på kort tid och att försökspersonerna samtidigt upptäcker och tränar fixationsriktningar.

Figur 49. Ovan synfältschabloner visar resultatet av en CAPP-synfältsundersökning: till vänster genomförd med stort synligt centralt fixationskors med höger öga. Till höger med ring i periferin av synfältet som stöd för att hålla blicken centrerad rakt fram.



## SE MER – TRÄNING AV SYNSVAGA BARN

Projektet har ännu inte pågått så länge att några definitiva resultat kan presenteras, men det verkar som om synlusten ökar för de flesta av de 17 barn som ingår i Se Mer-projektet. För vissa är det närkorrekturen som är det viktigaste (att man till stor del kan klara sig utan förstoringsglas eller CCTV). För andra är det användningen av kikare (liten monokulär) och möjligheten att upptäcka spännande avlägsna företeelser som är det viktigaste.

## 6. Diskussion

Människor med starkt nedsatt central syn bör ha rätt till de bästa optiska insatserna för förbättrad perifer syn. Att så inte skett tidigare har haft många bakgrunder. De tre viktigaste är:

*Att förbättra synen hos människor med CFL med hjälp av excentrisk optik har betraktats som meningslöst. Synbegränsningen har antagits ligga helt och hållet i näthinnans egenskaper utanför makula, dvs. optiska refraktiva korrektioner utöver korrektion av större centrala refraktionsfel har setts som verkningslösa. Detta arbete visar att det varit ett felaktigt antagande. Excentriska optiska korrektioner kan påverka synen hos människor med CFL.*

*Att mäta excentrisk optik och excentrisk syn har varit svårt. Även om optiker med omfattande svagsynerfarenhet hade givit sig i kast med ansatser till excentriska korrektioner, hade de misslyckats utan extremt goda yttre förutsättningar. Själv har jag fått sådana tack vare ett bra samarbete med andra. Jag har kunnat ta med mig all min gamla erfarenhet av synnedsättningar på grund av CFL, jag har fått utveckla tidigare otänkbara tankar i gemenskaper med goda laborativa förutsättningar, och jag har kunnat prova mig fram. Hela tiden har jag hållit fast vid att optiska mätningar, optiska korrektioner och synmätningar måste utföras individuellt på personer med CFL. Detta arbetet är det första publicerade som visar resultat av excentriska korrektioner på personer med CFL.*

*De ekonomiska incitamenten att utveckla bättre optik för dessa grupper har inte varit starka nog. De flesta i den berörda gruppen är äldre människor med makuladegeneration. De är inte längre yrkesverksamma. Deras nedsatta syn påverkar således inte arbetslivet, och de har fått klara sig så gott de kunnat med förstoringshjälpmedel eller utan hjälpmedel alls. Gruppen äldre människor ökar nu starkt. De flesta är friska, har vant sig vid att leva aktiva liv, har relativt goda ekonomiska förutsättningar och är vana vid att ta egna initiativ. Det finns alltså nu ekonomiska incitament för en stark utveckling av svagsynoptiken.*

## Värdering av de optiska resultaten

Detta är våra viktigaste punkter:

1. De individuella variationerna i excentrisk optik är så stora att generella utsagor från ögonmodeller är meningslösa för optisk korrigerings. Det som behövs är i stället så säkra mätningarna som möjligt i varje enskild PRL-riktning.
2. Det går att utföra ungefärliga mätningar i klinisk vardagspraktik av ögats excentriska optik i en viss given vinkel. Mätningarna har inte någon god precision, men de ger i alla fall rimliga indikationer. Retinoskopi är här det mest osäkra, speciellt vad gäller att bedöma axelläge på astigmatism.
3. Fotorefraktionering med PowerRefraktor är betydligt lättare, snabbare och ger bättre resultat. PowerRefraktorn har också en registreringsfunktion för fixationsriktning. Men den har också sina begränsningar: den kan inte mäta längre ut än 25–30°, den klarar inte projicerade pupillstorlekar mindre än 3 mm, den har problem med vissa intraokulära linser med högt brytningsindex och den kan inte skilja ut högre ordningars aberrationer.
4. Vågfrontsmätning med Hartmann-Shack-sensorer ger goda möjligheter både att mäta excentriskt och att urskilja inte bara astigmatism utan också andra aberrationer. Det kommer kommersiella sådan instrument: ett exempel som redan finns är WASCA från Zeiss . Det kommer säkert fler och billigare. För att fungera optimalt vid excentrisk fixation behöver de ha för ändamålet utvecklade programvaror.
5. Högre ordningens aberrationer som *koma* är påtagligt stora hos några av försökspersonerna. Att korrigera så mycket av detta som möjligt med kontaktlinser eller på annat sätt i laboratoriemiljö borde vara viktigt för att utvärdera hur högre ordningens aberrationer påverkar synfunktionen.
6. Medvetandegörande och träning av PRL är en förutsättning, främst för synen (jfr nedan) men också för att mätning av den excentriska optiken skall kunna ske i rätt riktning. Här har fixationsringar och synfältsmätningen CAPP kommit till god hjälp.

## Värdering av synfunktionsresultaten

Detta är våra viktigaste punkter:

1. Vårt program PVE, Perifer Visuell Evaluering, har visat sig ge reproducerbara resultat, både för personer med CFL och för normalsynta personer.
2. De största förbättringarna i syn vid excentrisk korrektion finns för de flesta med CFL inte i *detektion* utan i *upplösningsförmåga*. För [Wang et al. 1997b] som studerat friska ögon

excentriskt var förbättringen däremot störst i detektion. Förbättringarna i upplösningsförmåga (identifikation, visus) ligger för våra försökspersoner som bäst lite över 0,2 logMAR vilket för dem är en långt ifrån obetydlig förbättring med tanke på att de ser så dåligt som de gör. De som fick de största objektiva förbättringarna hade också de mest positiva subjektiva upplevelserna av korrektionerna.

3. Detektionsmätningarna ger spännande resultat även om skillnaderna med och utan excentrisk korrektion inte var så stora som vad andra funnit [Wang et al. 1997b]. Effekten i våra mätningar är som mest 0,3 logMAR i högkontrast och 0,4 logMAR i lågkontrast i den riktning där korrektionen påverkar mest. Det var tydligt att somliga försökspersoner vinner mer på korrektionen än andra. Framöver blir det viktigt att utröna vad detta beror på: är det näthinnans begränsning som visar sig, är det gränser för uppmärksamhetsförmågan – eller är det något helt annat som har med synnedsättningens orsak att göra? Sammantaget: För försökspersonerna med skada på synnerven ligger detektionströskeln nära den som gäller för friska ögon, för dem med makuladegeneration långt under. Det sistnämnda är förvånande eftersom så många med CFL orsakat av retinal degeneration beskriver hur bra de klarar att upptäcka saker. Men detta kan bero på att många av upptäckterna sker under rörelse. Därför är ett viktigt nästa steg att värdera rörelssyn och eventuell effekt av excentrisk korrektion på rörelsesynen.
4. Ett välfokuserat öga ser i periferin horisontella gitter bättre än vertikala [Rovamo et al. 1982; Thibos et al. 1996]. Detta kan inte tydligt konfirmeras bland våra försökspersoner med CFL – ingen avgörande skillnad finns mellan förmågan att se vertikala respektive horisontella gitter.
5. Medvetandegörande och träning av PRL är en förutsättning för en så god synfunktion som möjligt. Utöver ovannämnda fixationsringar och synfältsmätningen CAPP har vi också sett effekter av lästräningmetoden MoviText.
6. Synfunktionsmätningar och träningsmetoder bör kompletteras med eyetracker så att man säkrare kan veta att de synintryck vi mäter kommer från precis samma del av näthinnan hela tiden.

En objektiv mätutrustning för aberrationer och refraktionsfel som smidigt kan användas inom synrehabiliteringen bör kunna utvecklas och bli till stor användning. I första hand är det i större vinklar än 10° som det finns anledning att söka efter en astigmatism som tidigare inte korrigerats. Excentrisk korrektion är lättast och enklast att utnyttja för dem som bara använder en PRL. Då kan

vanliga astigmatiska glasönglas användas. Använder personen med CFL olika PRL till olika synuppgifter, vilket flera gör [Fletcher et al. 1997;Guez et al. 1993;Lei et al. 1997], kan den excentriska korrektionen variera väsentligt, se resultatkapitlet. Den optiska korrektionen blir då mer komplicerad. Ändå kan personer som t.ex. FP 1 ha klar nytta av en enda excentrisk korrektion vid stillasittande, t.ex. för TV-seende.

Hur många som kan ha verklig nytta av excentrisk korrektion är osäkert. Större mätserier behövs med väsentligt fler personer med CFL och dessutom med bättre metoder att mäta synfunktion än de vi har i dag. För åtminstone fyra av personerna i sju-gruppen är den excentriska korrektionen till nytta. Detta har konfirmerats genom bättre upplösningsförmåga i PVE mätningarna hos åtminstone FP1, 11, 17 och 21.

Detektionsmätvärdena skiljer sig hos flera personer markant från upplösningsmätvärdena, men det är det sistnämnda som mest liknar resultaten med HRP-optotypen. Det förefaller därför som om HRP-ringarna inte bara mäter detektion, vilket hävdats av bland andra [Andersson et al. 1999].

Avhandlingens inriktning på mätningar av optiska avbildningfel och syn får inte dölja att den viktigaste synförmågan är den egna, den upplevda, i den levda verkligheten. Både före och under detta arbete har jag lyssnat till patienters synupplevelser och tagit dem på allvar, och jag tänker fortsätta att göra så. Jag visste t.ex. från min kliniska erfarenhet av subjektiv refraktionering att många personer med makuladegeneration vill ha annorlunda korrektion än den objektivt uppmätta för syn rakt fram. I tabellen på s. 47–48 finns exempel på att astigmatismen ökar med den excentriska vinkeln men också på förändringar åt både mer plus och minus i sfärisk ekvivalent värde. De individuella variationerna är alltså stora. Att de subjektiva och de objektiva refraktionsresultaten skiljer sig åt när de i själva verket mäter olika saker är inte förvånansvärt. Det finns också områden där de subjektiva mätningarna är de enda vi kan luta oss mot. Det gäller t.ex. för de många personer med makuladegeneration som har en uppseendeväckande god förmåga att upptäcka flygplanet på himlen eller pusselbiten på golvet trots i övrigt starkt nedsatt syn. Objektiva mätmetoder för detta behöver utvecklas. Andra viktiga områden för mätmetodutveckling är rörelsesynen – endast genom bra rörelsesynsmätningar kan vi studera hur denna påverkas av optiska korrektioner.

# 7. Slutsatser

Denna avhandling visar att synförbättringar genom excentriska optiska korrektioner hos människor med CFL är möjliga. Den har därmed öppnat dörren till ett större fält med förhoppningar om att det skall gå att:

1. Utveckla fler och bättre synmättningsmetoder för excentrisk syn.
2. Gå vidare med att studera rörelsesyn samt korrektioner och synskadors inverkan på balansen. Använda tex. VR-miljö till detta.
3. Specialtillverka kontaktlinser formade efter vågfronter uppmätta med Hartmann-Shack-sensor så att alla viktiga aberrationer korrigeras excentriskt.
4. Bättre förstå hur olika synskador inverkar på vad de optiska korrektionerna kan påverka.
5. Bättre förstå varför många med CFL upptäcker saker så bra trots nedsatt synfunktion. Detta kräver en kombination av situerad forskning och klinisk forskning.
6. Medverka till att forskningsresultat och metoder omsätts i klinisk verklighet.
7. Vidga den undersökta gruppen till att omfatta fler människor med CFL än dem med stora centrala skotom och medveten excentrisk fixation.

## Referenser

Anderson, R. S., Ennis, F. 1999, *Foveal and peripheral thresholds for detection and resolution of vanishing optotype tumbling E's*, *Vision Res.*, vol. 39, pp. 4141–4144.

Anderson, R. S., Evans, D. W., Thibos, L. N. 1996, *Effect of window size on detection acuity and resolution acuity for sinusoidal gratings in central and peripheral vision*, *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 13, pp. 697–76.

Aoshima, S., Nagata, T., Minakata, A. 2004, *Optical characteristics of oblique incident rays in pseudophakic eyes*, *J. Cataract. Refract. Surg.*, vol. 30, no. 2, pp. 471–477.

Artal, P., Derrington, A. M., Colombo, E. 1995a, *Refraction, Aliasing, and the Absence of Motion Reversals in Peripheral Vision*, *Vision Research*, vol. 35, no. 7, pp. 939–947.

Artal, P., Iglesias, I., López-Gil, N. 1995b, *Double-pass measurements of the retinal-image quality with unequal entrance and exit pupil sizes and the reversibility of the eye's optical system*, *Journal of the Optical Society of America A*, vol. 12, no. 10, pp. 2358–2366.

Atchison, D. 2003, *Comparison of Peripheral Refractions Determined by Different Instruments*, *Optom. Vis. Sci.*, vol. 80, no. 9, pp. 655–660.

Atchison, D., Scott, D. 2002, *Monochromatic aberrations of human eyes in the horizontal visual field*, *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 19, no. 11, pp. 2180–2184.

Atchison, D., Smith, G. 2000, "Monochromatic aberrations of schematic eyes," in *Optics of the Human Eye*, Butterworths-Heinemann, pp. 163–165.

Bäckman, Ö., Inde, K. 1979, *Low Vision Training* Liber Hermods, Kristianstad, Sweden.

Bressler, N. M., Bressler, S. B., Congdon, N. G., Ferris, F. L. III, Friedman, D. S., Klein, R., Lindblad, A. S., Milton, R. C., Seddon, J. M. 2003, *Potential Public Health Impact of Age-Related Eye Disease Study results: AREDS report no. 11*, *Arch. Ophthalmol.*, vol. 121, no. 11, pp. 1621–1624.

Charman, W. N., Jennings, J. A. M. 1982, *Ametropia and Peripheral Refraction*, *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, vol. 59, no. 11, pp. 922–923.

Choi, M., Weiss, S., Schaeffel, F., Seidemann, A., Howland, H. C., Wilhelm, B., Wilhelm, H. 2000, *Laboratory, clinical, and kindergarten test of a new eccentric infrared photorefractor (PowerRefractor)*, *Optom. Vis. Sci.*, vol. 77, no. 10, pp. 537–548.

Deruaz, A., Whatham, A. R., Mermoud, C., Safran, A. B. 2002, *Reading with multiple preferred retinal loci: implications for training a more efficient reading strategy*, *Vision Res.*, vol. 42, no. 27, pp. 2947–2957.

Dourish, P. 2001, *Where the Action is*. The Foundation of Embodied Interaction, MIT Press, Cambridge, MA, USA.

- Dunne, M. C. M., Barnes, D. A., Clement, R. A. 1987, *A Model for Retinal Shape Changes in Ametropia*, Ophthalmic and Physiological Optics, vol. 7, no. 2, pp. 159–160.
- Ennis, F., Johnson, C. A. 2002, *Are High-Pass Resolution Perimetry Thresholds Sampling Limited or Optically Limited?*, Optom. Vis. Sci., vol. 79, no. 8, pp. 506–511.
- Feldkamper, M., Schaeffel, F. 2003, *Interactions of genes and environment in myopia*, Dev. Ophthalmol., vol. 37, pp. 34–49.
- Ferree, C. E., Rand, G., Hardy, C. 1931, *Refraction for the peripheral field of vision*, Archives of Ophthalmology, vol. 5, pp. 717–731.
- Ferree, C. E., Rand, G., Hardy, C. 1932, *Refractive asymmetry in the temporal and nasal halves of the visual field*, Am. J. Ophthalmol., vol. 15, pp. 513–522.
- Ferris, F. L., Tielsch, J. M. 2004, *Blindness and visual impairment: a public health issue for the future as well as today*, Arch. Ophthalmol., vol. 122, no. 4, pp. 451–452.
- Fetchenheuer, I., Gustafsson, J. 2004, *Visual field testing in patients with central field loss and low vision rehabilitation implications*, manuscript.
- Fletcher, D. C., Schuchard, R. A. 1997, *Preferred retinal loci relationship to macular scotomas in a low-vision population*, Ophthalmology, vol. 104, no. 4, pp. 632–638.
- Frennesson, C., Jakobsson, P., Nilsson, U. L. 1995, *A computer and video display based system for training eccentric viewing in macular degeneration with an absolute central scotoma*, Doc. Ophthalmol., vol. 91, no. 1, pp. 9–16.
- Frisén, L. 1987, *High-pass Resolution Targets in Peripheral Vision*, Ophthalmology, vol. 94, no. 9, pp. 1104–1108.
- Frisén, L., Nikolajeff, F. 1993, *Properties of high-pass resolution perimetry targets*, Acta Ophthalmologica, vol. 71, pp. 320–326.
- Guez, J. E., Le Gargasson, J. F., Rigaudiere, F., O'Regan, J. K. 1993, *Is there a systematic location for the pseudo-fovea in patients with central scotoma?*, Vision Res., vol. 33, no. 9, pp. 1271–1279.
- Guirao, A., Artal, P. 1999, *Off-axis monochromatic aberrations estimated from double pass measurements in the human eye*, Vision Research, vol. 39, pp. 207–217.
- Guirao, A., Williams, D. R. 2003, *A method to predict refractive errors from wave aberration data*, Optom Vis Sci, vol. 80, no. 1, pp. 36–42.
- Gullstrand, A. 1909, "The optical system of the eye," in *Physiological Optics, vol.1*, H. v. Helmholtz, ed., English translation: J. P. C. Southall (ed) New York: Optical Society of America, pp. 350–358.



- Gustafsson, J. 1997, *Visual Fields in Low Vision Devices* "Proceedings from the Fifth International Conference on Low Vision", vol. 1 pp. 159–162, Madrid: ONCE. Presented at The International Conference on Low Vision 1996, "Vision 96", Madrid, Spain.
- Gustafsson, J. 2001, *Eccentric Correction in Central Visual Field Loss*, Licentiate thesis, LTH Number 2:2001, Certec, Lund University.
- Gustafsson, J. 2002, *The first successful eccentric correction*, Visual Impairment Research-2001, vol. 3, no. 3, pp. 147–155.
- Gustafsson, J., Inde, K. 2004, *The MoviText Method: Efficient pre-optical reading training in persons with central visual field loss*, accepted for publication in Technology and Disability.
- Gustafsson, J., Terenius, E., Buchheister, J., Unsbo, P. 2001, *Peripheral astigmatism in emmetropic eyes*, Ophthalmic Physiol Opt., vol. 21, no. 5, pp. 393–400.
- Gustafsson, J., Unsbo, P. 2003, *Eccentric Correction for Off-Axis Vision in Central Visual Field Loss*, Optom. Vis. Sci., vol. 7, no. 80, pp. 535–541.
- Inde, K. 1978, *Low Vision Training in Sweden*, Visual Impairment and Blindness, vol. 72, pp. 307–310.
- Jennings, J. A. M., Charman, W. N. 1981, *Off-Axis Image Quality in the Human-Eye*, Vision Research, vol. 21, no. 4, pp. 445–455.
- Jönsson, B., Malmborg, L., Svensk, A. 2004, *Situated Research and Design for Everyday Life*, [www.certec.lth.se/doc/situatedresearch/](http://www.certec.lth.se/doc/situatedresearch/).
- Kooijman, A. C. 1983, *Light distribution on the retina of a wide-angle theoretical eye*, Journal of the Optical Society of America, vol. 73, no. 11, pp. 1544–1550.
- Lei, H., Schuchard, R. A. 1997, *Using two preferred retinal loci for different lighting conditions in patients with central scotomas*, Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., vol. 38, no. 9, pp. 1812–1818.
- Liang, J., Grimm, B., Goelz, S., Bille, J. F. 1994, *Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor*, Journal of the Optical Society of America A, vol. 11, no. 7, pp. 1949–1957.
- Liou, H.L., Brennan, N. A. 1997, *Anatomically accurate, finite model eye for optical modeling*, Journal of the Optical Society of America A, vol. 14, no. 8, pp. 1684–1695.
- Lundström, L., Gustafsson, J., Svensson, I., Unsbo, P. 2004a, *Assessment of Objective and Subjective Eccentric Refraction*, manuscript.
- Lundström, L., Unsbo, P. 2004b, *Unwrapping Hartmann-Shack Images from Highly Aberrated Eyes Using an Iterative B-Spline Based Extrapolation Method*, Optom. Vis. Sci., vol. 81, no. 5, pp. 383–388.

- Lundström, L., Unsbo, P., Gustafsson, J. 2004c, *Measuring peripheral Wavefront Aberrations in Subjects with Large Central Visual Field Loss*, Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng., vol. 5314, p. 209.
- Millodot, M. 1981, *Effect of Ametropia on Peripheral Refraction*, American Journal of Optometry and Physiological Optics, vol. 58, no. 9, pp. 691–695.
- Millodot, M. 1984, *Peripheral refraction in aphakic eyes*, Am. J. Optom. Physiol. Opt., vol. 61, no. 9, pp. 586–589.
- Navarro, R., Artal, P., Williams, D. R. 1993, *Modulation Transfer of the Human Eye as a Function of Retinal Eccentricity*, Journal of the Optical Society of America A-Optics Image Science and Vision, vol. 10, no. 2, pp. 201–212.
- Nilsson, U. L., Frennesson, C., Nilsson, S. E. 2003, *Patients with AMD and a large absolute central scotoma can be trained successfully to use eccentric viewing, as demonstrated in a scanning laser ophthalmoscope*, Vision. Res., vol. 43, no. 16, pp. 1777–1787.
- Norton, T. T., Corliss, D. A., Bailey, J. E. 2002, *The Psychophysical Measurement of Visual Function*, Butterworth-Heinemann, ISBN 0750699353.
- Pelli, D. G., Robson, J. G., Wilkins, A. J. 1988, *The design of a new letter chart for measuring contrast sensitivity*, Clinical Vision Sciences 2, pp. 187–199.
- Pomerantzeff, O., Pankratov, M., Wang, G. J., Dufault, P. 1984, *Wide-Angle Optical-Model of the Eye*, American Journal of Optometry and Physiological Optics, vol. 61, no. 3, pp. 166–176.
- Popiolek-Masajada, A., Kasprzak, H. T. 1999, *A New Schematic Eye Model Incorporating Accommodation*, Optometry and Vision Science, vol. 76, no. 10, pp. 720–727.
- Rempt, F., Hoogerheide, J., Hoogenboom, W. P. H. 1971, *Peripheral Retinoscopy and the Skiagram*, Ophthalmologica, vol. 162, pp. 1–10.
- Rovamo, J., Virsu, V., Laurinen, P., Hyvarinen, L. 1982, *Resolution of gratings oriented along and across meridians in peripheral vision*, Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., vol. 23, no. 5, pp. 666–670.
- Santamaria, J., Artal, P., Bescos, J. 1987, *Determination of the point-spread function of human eyes using a hybrid optical-digital method*, J. Opt. Soc. Am. A, vol. 4, no. 6, pp. 1109–1114.
- Seidemann, A., Schaeffel, F., Guirao, A., Lopez-Gil, N., Artal, P. 2002, *Peripheral refractive errors in myopic, emmetropic, and hyperopic young subjects*, J. Opt. Soc. Am. A, vol. 19, no. 12, pp. 2363–2373.
- Smith, G., Lu, C. W. 1991, *Peripheral Power Errors and Astigmatism of Eyes Corrected with Intraocular Lenses*, Optometry and Vision Science, vol. 68, no. 1, pp. 12–21.
- Svensk, A. 2003, *I de blindas rike är den enögde kung?*, [www.certec.lth.se/dok/ideblindasrike/](http://www.certec.lth.se/dok/ideblindasrike/). (August, 2004)

- Svensson, I. 2003, *Subjectiv Excentrisk Refraktion (Subjective Eccentric Refraction)*, BSc thesis at the Optometry Education, Karolinska Institute, Stockholm, Sweden.
- Thibos, L. N., Cheney, F. E., Walsh, D. J. 1987, *Retinal limits to the detection and resolution of gratings*, Journal of the Optical Society of America A-Optics Image Science and Vision, vol. 4, no. 8, pp. 1524–1529.
- Thibos, L. N., Still, D. L., Bradley, A. 1996, *Characterization of spatial aliasing and contrast sensitivity in peripheral vision*, Vision. Res., vol. 36, no. 2, pp. 249–258.
- Villarrodona, L., Barrett, G. D., Johnson, B. 2004, *High-order aberrations in pseudophakia with different intraocular lenses*, J. Cataract. Refract. Surg., vol. 30, no. 3, pp. 571–575.
- Wang, Y. Z., Thibos, L. N. 1997a, *Oblique (Off-Axis) Astigmatism of the Reduced Schematic Eye with Elliptical Refracting Surface*, Optometry and Vision Science, vol. 74, no. 7, pp. 557–562.
- Wang, Y. Z., Thibos, L. N., Bradley, A. 1997b, *Effects of Refractive Error on Detection Acuity and Resolution Acuity in Peripheral Vision*, Investigative Ophthalmology & Visual Science, vol. 38, no. 10, pp. 2134–2143.
- Wang, Y. Z., Thibos, L. N., Lopez, N., Salmon, T., Bradley, A. 1996, *Subjective refraction of the peripheral field using contrast detection acuity*, Journal of the American Optometric Association, vol. 67, no. 10, pp. 584–589.
- WHO 1992, *International Statistical Classification of Diseases (ICD-10)*, Geneva, Switzerland.
- WHO 2001, *International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF)*, Geneva, Switzerland.
- Williams, D. R., Artal, P., Navarro, R., McMahon, M. J., Brainard, D. H. 1996, *Off-axis optical quality and retinal sampling in the human eye*, Vision Research, vol. 36, no. 8, pp. 1103–1114.

## Bilagor

1. Gustafsson, J., Terenius E., Buchheister, J., Unsbo, P. (2001). *Peripheral Astigmatism in Emmetropic Eyes*, Ophthalm. Physiol. Opt. Vol 21, No. 5, pp. 393–400.
2. Gustafsson, J. (2002). *The first successful eccentric correction*, Visual Impairment Research 2001. Vol.3, No. 3, pp. 147–155.
3. Gustafsson, J., Unsbo, P. (2003). *Eccentric correction for off-axis vision in central visual field loss*, Optometry & Vision Science. Vol. 80, No. 7, pp. 535–541.
4. Gustafsson, J., Inde, K. (2004). *The MoviText Method: Efficient pre-optical reading training in persons with central visual field loss*, accepterad för publikation i Technology and Disability.
5. Fetchenheuer, I., Gustafsson, J.: (2004). *Visual field testing in patients with central field loss and low vision rehabilitation implications*, manuskript.
6. Lundström, L., Unsbo, P. and Gustafsson, J. (2004) *Measuring Peripheral Wavefront Aberrations in Subjects with Large Central Visual Field Loss*, Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. 5314, 209.
7. Lundström, L., Gustafsson, J., Svensson, I., Unsbo, P. (2004) *Assessment of Objective and Subjective Eccentric Refraction*, manuskript.

## Teori och metod på Certec:

Situated research and design for everyday life, 2004,  
[www.certec.lth.se/doc/situatedresearch](http://www.certec.lth.se/doc/situatedresearch)

*Hittillsvarande doktorsavhandlingar och licentiatuppsatser på Certec:*

Calle Sjöström, Icke-visuell haptisk interaktionsdesign, 2002,  
<http://www.certec.lth.se/dok/ickevisuellhaptiskdesign/>

Eve Mandre, Vårdmiljö eller lärandemiljö, 2002,  
<http://www.certec.lth.se/dok/franvardmiljotill/>

Arne Svensk, Design av kognitiv assistans, 2001,  
<http://www.certec.lth.se/dok/designavkognitiv/>

Jörgen Gustafsson, Excentrisk korrektion vid centrala skotom, 2001  
<http://www.certec.lth.se/dok/excentrisk/>

Björn Breidegard, En datorexekverbar modell för lärande, 2000  
<http://www.certec.lth.se/dok/datorexekverbarmodell/>

Håkan Eftring, The Useworthiness of Robots for People with Physical Disabilities, 1999,  
<http://www.certec.lth.se/doc/useworthiness/>

Eve Mandre, Från observation till specialpedagogisk design, 1999,  
<http://www.certec.lth.se/dok/franobservation/>

Peter Anderberg, Internetlärande för alla, 1999,  
<http://www.certec.lth.se/dok/internetlarandeforalla/>

Calle Sjöström, IT Potentialen hos haptik, 1999,  
<http://www.certec.lth.se/dok/kanseltillganglighet>

Håkan Neveryd, Ultraljudsnavigerande mobil robot för rörelsehindrade personer, 1998,  
<http://www.certec.lth.se/dok/ultraljudsnavigerande/>



Vår samtid hyllar det *innovativa*. Metodiskt leder detta fram till olika former av korsbefruktning, bland annat via tvärvetenskap, nätverk och täta kontakter mellan universiteten och det omgivande samhället.

*Kontakten kan aldrig bli så nära och så korsbefruktande som när den finns inuti en enda människa.* Får en människa med långvarig praktisk yrkeserfarenhet fortsätta med samma

inriktning som tidigare men på forskarnivå, har han unika förutsättningar att dra nytta av sina erfarenheter samtidigt som han kan utmana det invanda. Så har det varit och så är det för Jörgen Gustafsson. Efter många år på Syncentralen i Jönköping kom han till Certec, en gedigen tvärvetenskaplig avdelning på Institutionen för Designvetenskaper, LTH. Därifrån skapade han starka externa forskarnätverk men bibehöll och utvecklade samtidigt kontakterna med praktiken.

Framför allt arbetade han, arbetade och arbetade och arbetade. Merparten av all forskning är just hårt vardagsarbete. Varje uppslag måste bevisas eller förkastas – på ett vetenskapligt hållbart sätt. I det här fallet fanns det ett tilläggs villkor: idéerna, metoderna och redskapen måste också visa sig bärkraftiga när de mötte de främst berörda, människorna med nedsatt syn på grund av stora centrala skotom.

Den dubbla utmaningen från å ena sidan de berörda människorna och å andra sidan vetenskapen har varit den knivsegg som lett fram till föreliggande avhandling. Knivseggen har varit vass och hotande men också vägledande: den har hjälpt till att hålla fokus och att hela tiden ifrågasätta. Avhandlingen baserar sig på ett stort antal vetenskapligt publicerade rapporter och konferensbidrag. Här förs de för första gången samman. Avhandlingen ger omvärlden en möjlighet till inblick i det totala arbetet och hur detta samspelar med Jörgens Gustafssons bakomliggande tankevärld. Avhandlingen för oss fram till dags dato, 15 oktober 2004, och pekar också ut några möjliga framtidsinriktningar.

 Certec

Avdelningen för  
rehabiliteringsteknik  
Institutionen för  
designvetenskaper  
Lunds tekniska högskola



Certec, LTH  
Box 118  
221 00 Lund



Sölvegatan 26  
223 62 Lund



046 222 46 95



046 222 44 31



certec@certec-lth.se



www.certec.lth.se

DOKTORSAVHANDLING CERTEC, LTH NUMMER 1:2004  
ISBN 91-628-6236-7  
OKTOBER 2004

Jörgen Gustafsson

Optik för synsvaga människor