

Ögonblick i färg

– om seendets natur och naturens seende

Det sitter några blåmesar vid fågelbordet. För mig är det omöjligt att se vilka som är honor och vilka som är hanar – de har alla samma klarblå huvuden. Men blåmesarna själva ser skillnad. Hanarnas huvuden lyser i ultraviolett, medan honornas inte gör det. Blåmesen, liksom de flesta andra fåglar, ser världen i fyra grundfärger: rött, grönt, blått och ultraviolett. Vi människor kan uppfatta grundfärgerna rött, grönt och blått, men inte ultraviolett, därför är blåmesarnas färgvärld mycket rikare än vår.

Fåglarna är inte unika. De flesta ryggradsdjur, insekter, kräftdjur och många andra varelser ser fler färger än människan. Dinosaurierna, som försvann för 65 miljoner år sedan, hade, med all sannolikhet, samma goda färgseende som sina sentida ättlingar blåmesarna. Däggdjuren är undantaget i djurvärlden, de flesta däggdjur ser bara blått och grönt. Vi människor, och våra närmaste släktingar, ser även i rött. Om vi inte är färgblinda förstås.

Ljusets färg beror på vilken våglängd det har, eller, vilket är samma sak, hur mycket energi det innehåller. Rött ljus har längst våglängd och innehåller minst energi av de färger människan ser. Sedan kommer i ordning: orange, gult, grönt, blått, och violett. Tillsammans utgör de vårt färgspektrum. Men det finns ljus med andra våglängder än de vi ser. Infrarött ljus har längre våglängd än det röda och ultraviolett ljus har kortare våglängd än det blå.

På 1910-talet upptäckte tysken Karl von Frisch att bin ser i grönt, blått och ultraviolett, men inte rött. Han tillverkade konstgjorda blommor i olika färger, vissa med sockerlösning i och vissa utan. Bina lärde sig fort vilka färger som betydde mat. Och genom att variera färgerna lärde sig Karl von Frisch hur binas synsinne fungerar. De kunde inte skilja på röda och gröna blommor, men däremot på ultravioletta och blå. Dessa experiment gav det första beviset på att det finns djur som ser färger som människan inte ser. Karl von Frisch fick Nobelpriset för sina bi-studier, men först 1973.

I ögat finns proteiner, kemiska ämnen som reagerar på ljus. De kallas opsiner. När ljus av en viss färg träffar opsinet avger det elektriskt laddade joner. Den signalen uppfattas av nervsystemet, som behandlar den och skickar den vidare till syncentrum i hjärnan, där synintrycket tolkas.

Opsinerna uppstod mycket tidigt i livets historia. Timothy Goldsmith, pensionerad professor från Yale-universitetet i New Haven i USA, vet mycket om färgseendets utveckling.

– Det finns encelliga organismer som reagerar på ljus. Processen kan vara mycket, mycket gammal, åtminstone från tidig Kambrium, säger han.

Tidig Kambrium inträffade för 540 miljoner år sedan. Före Kambrium fanns bara enkla livsformer, men under Kambrium ”exploderade” livet – alla stora nuvarande djurgrupper har sin början där, samt några som sedan länge dött ut.

De flesta forskare verkar vara överens om att alla de olika färgkänsliga opsiner som finns idag härstammar från samma ursprungsmolekyl, som alltså uppstod vid ett enstaka tillfälle, i någon encellig organism. Ögon, däremot, har utvecklats från

enkla ljuskänsliga fläckar ett antal gånger i djurvärlden, oberoende av varandra. Redan under Kambrium fanns flera olika sorters ögon.

– Man kan inte ha ett öga som fungerar som en kamera på något så litet som ett myrhuvud. Det finns ögon som fungerar enligt helt olika principer, men de använder alla ljuskänsliga opsiner som liknar varandra, fortsätter Timothy Goldsmith.

Redan före Kambrium uppstod opsiner som inte är exakt lika utan är maximalt känsliga för olika ljusvåglängder. Ett opsin kan, till exempel, signalera för grönt ljus men inte för blått.

– Det ser ut som om det finns fyra utskiljbara utvecklingslinjer för opsiner, säger Timothy Goldsmith.

Utvecklingslinjerna har lett fram till opsiner som är känsliga för rött, grönt, blått och ultraviolett ljus. Det blåkänsliga opsinet verkar vara äldst av alla. Kanske därför att djur med ögon först fanns i havet, och blått ljus tränger djupast ner i vattnet.

Redan de första ryggradsdjuren hade alla de fyra opsinerna. Det är också standarduppsättningen hos dagens ryggradsdjur. Men det har forskarna kommit underfund med ganska nyligen. Timothy Goldsmith igen:

– Att ryggradsdjuren var känsliga för ultraviolett insåg man inte särskilt tidigt. Jag tror det finns gamla experiment i den tyska litteraturen från 1920-talet som antyder ultraviolettkänslighet hos fiskar. Men det första man måste inse är att all teori för färgseende har dominerats av experiment med människor. Man visste att människor inte ser ultraviolett. Så forskarna letade helt enkelt inte.

Efter 1920-talet stod forskningen om djurs färgseende nästan stilla fram till 1970-talet.

– En del av problemet var att vi inte kunde mäta egenskaperna hos enstaka ljuskänsliga celler förrän på 1960-talet. Tekniker som kan analysera enskilda molekyler, som opsinerna, kom ännu mycket senare, säger Timothy Goldsmith.

När väl de tekniska förutsättningarna för att identifiera olika opsiner och bestämma deras färgkänslighet kom, började forskarna mäta i många olika djurs ögon.

Vi människor har tre opsiner, maximalt känsliga för blått, grönt och gulgrönt. De grön- och gulgrönkänsliga opsinerna ger maximalt utslag för färger som ligger ganska nära varandra. Det beror på att vårt gulgrönkänsliga opsin kommit till en liten mutation av det grönkänsliga opsinet. Det kallas ändå oftast människans rödkänsliga opsin, trots att det inte är samma som det fåglarna har.

Opsinerna finns i tapparna, de färgkänsliga cellerna i näthinnan. Människor har alltså tre typer av tappar. Dessutom har vi, som de flesta andra ryggradsdjur, rodopsin, ett mycket ljuskänsligare ämne än färgopsinerna. Rodopsin finns i näthinnans stavar. Stavarna ger oss vårt mörkerseende, som vi använder när ljuset är så svagt att färgopsinerna inte orkar signalera.

– Det finns en viss skymningszon, ett område där de båda systemen överlappar. Men det är genuint två olika system. Och eftersom det bara använder en typ av receptor är mörkerseendet definitivt enfärgat. I mörkret är alla katter grå, säger

lektor Mats Lind vid Uppsala universitet. Han är perceptionspsykolog, vilket betyder att han undersöker hur människan uppfattar synintryck.

Tappar och stavar är inte jämnt fördelade över näthinnan. I mitten av näthinnan, där vi har det skarpaste seendet finns bara röda och gröna tappor. Blå tappor, som det finns mycket färre av än röda och gröna, finns i området strax intill mitten av näthinnan.

– Det betyder att när vi ska titta på detaljer så fattas alla korta våglängder, säger Mats Lind.

Vi ser alltså inte blå detaljer lika skarpt som gröna och röda.

Antalet tappor av alla sorter avtar ju längre bort från näthinnans centrum vi kommer och längst bort från mitten finns bara stavar. Det betyder att det vi ser i ögonvrån, det perifera seendet, är enfärgat.

Mats Lind berättar hur signalerna från tapparna bearbetas i näthinnan, innan de går vidare till hjärnans syncentrum:

– Signalerna från de röda, gröna, och blå tapparna kodas om till tre andra signaler. Först läggs signalerna från de gröna och röda tapparna ihop. Det kan betraktas som en ljushetskanal – signalen visar hur mycket energi det faller på den här punkten. Och sedan finns det två skillnadskanaler. Den ena är skillnaden mellan grönt och rött och den andra skillnaden mellan blått och summan av rött och grönt. Systemet utnyttjar att rött och grönt redan har adderats.

Skillnadskanaler kallas också färgkanaler.

Om vi tittar på en gul yta kommer ljushetskanalen att ge en stark signal, eftersom gult stimulerar både de röda och gröna tapparna kraftigt. Kanalen som innehåller grönt minus rött kommer att vara nära noll. Slutligen kommer kanalen som är skillnaden mellan blått och ljushetskanalen att ge en stark negativ signal, eftersom de blå tapparna nästan inte reagerar alls. Andra färger ger andra kombinationer av signaler.

– Det mesta som vi gör i termer av att se bygger på ljushetskanalen. Den är grunden för vårt formseende och för att se avstånd och rörelse. Det är svartvitt seende som baseras på energi. Man kan nog se det rent utvecklingshistoriskt som att inte vi hade råd att slänga bort energi för att detektera färger, utan vi ville utnyttja den energi som fanns oavsett från vilket våglängdsområde den kom. Därför har vi i grunden ett monokromt system som är summan av energierna. Färg, däremot, är en viktig signal för oss att någonting är annorlunda. Färg funkar för det mesta som en uppmärksamhetsväckande faktor för att vi ska förstå vad vi ska titta på. Men för att förstå vad det är använder vi ljushetskanalen, säger Mats Lind.

Att ett djurs öga innehåller ett antal olika opsiner räcker inte som bevis för att djuret faktiskt har färgseende. Det krävs också att näthinnan och hjärnan kan sammanväga signalerna från de olika opsinerna, precis som hos människan. Utan att göra beteendexperiment kan vi inte veta att andra djurs synsinne fungerar på samma sätt som vårt. Timothy Goldsmith var en av de forskare som började göra sådana experiment på 1970-talet. Han säger:

– I Tyskland gjordes experiment med kolibrier i fångenskap, som jag hörde talas om. De antydde att kolibrier har ultraviolett seende. Amerikanska naturhistoriska museet har en fältstation i sydvästra USA där det finns flera kolibriarter. Jag besökte fältstationen när jag var på resa i närheten och såg att de matade kolibrier från behållare som rymde tre-fyra liter, sådana som man använder för att mata höns. Och stora svärmar med kolibrier kom dit. Och jag tänkte för mig själv ”jösses, om man kan få hit sådana mängder kolibrier kan man göra experiment med olika färgfilter”. Jag köpte ordentliga behållare och åkte tillbaka under flera somrar och gjorde faktiskt ett antal upptäckter. En var att man kan träna fåglar att känna igen grönt på mycket kort tid. Det tog längre tid att lära dem rött, men det gick. De har ingen inbyggd preferens för rött. Ja, jag gjorde många experiment med kolibrier...

Timothy Goldsmith gjorde alltså samma sorts experiment med kolibrier som Karl von Frisch hade gjort med bin 60 år tidigare. Samtidigt tränade andra forskare guldfiskar att känna igen olika färger. Guldfiskar har också opsiner för rött, grönt, blått och ultraviolett. År 1985 kunde Christa Neymeyer vid Johannes Gutenberg-universitetet i Mainz i Tyskland visa att guldfiskens fyra opsiner samverkar. Det var första gången det tydligt bevisades att det finns djur som har verkligt fyrfärgseende.

Forskarna har numera visat verkligt fyrfärgseende hos ett antal fiskar, reptiler, och fåglar. Många utdöda ryggradsdjur hade också fyrfärgseende.

– Det finns djur i alla reptilgrupper med fyra opsiner. Och många fiskar har fyra. Så dinosaurierna, och till och med deras föregångare, hade troligen fyra opsiner, säger Timothy Goldsmith.

Så dinosaurierna, symbolen för alla utdöda djur, hade mycket bättre färgseende än vi människor.

Timothy Goldsmith har även gjort experiment med undulater, som också är fyrfärgseende.

– Vi vet mycket mindre om hur fågelhjärnor hanterar opsin-signalerna, jämfört med människohjärnor. Man har observerat skillnadskanaler i ett mycket litet antal fågelhjärnor. Och det finns många olika sätt att kombinera signalerna, inte bara parvis. De experiment jag gjorde med undulater antyder att det finns en kanal för skillnaden mellan blått och ultraviolett och en annan för skillnaden mellan rött och grönt. Men det kan ju finnas många andra kombinationer. Det är enormt mycket vi inte vet om fåglars färgseende, säger han.

På frågan om han träffade på någon färgblind fågel berättar Timothy Goldsmith om en albinoundulat:

– Den hade väldiga problem att skilja på färger med korta våglängder, i det ultraviolett till blå området. Kanske blev den bara bländad, eftersom den var albino, vi vet inte. Men om man letar tillräckligt noga kommer man säkert att hitta fåglar som saknar ett av de fyra opsinerna.

Enligt Timothy Goldsmith har fåglarna bäst syn av alla djur, men inte alla fåglar ser i ultraviolett.

– Det finns också en violett utvecklingslinje. En mutation har inträffat flera gånger i olika fågelsläkten. Höns till exempel. Deras ”ultraviolettkänsliga” opsin reagerar inte maximalt för ultraviolett utan för violett. Ingen har föreslagit någon bra förklaring för detta än. Antingen är violett viktigare än ultraviolett när fåglarna väljer partner eller också vistas de i omgivningar där det inte finns mycket ultraviolett ljus, säger han.

Professor Staffan Andersson vid Göteborgs universitet har visat att blåmesarna vid fågelbordet använder den ultravioletta färgen för att välja partner. Han var doktorand i Göteborg på 1980-talet när det började komma rapporter om ultraviolett seende hos fåglar.

– Min professor Frank Götmark blev intresserad. Gruppen skaffade spektrometer. Vi letade bland fåglarna med denna, säger Staffan Andersson.

En spektrometer mäter en färgs våglängd exakt. Den är känslig för de vanliga färgerna, men även för ultraviolett och infrarött, så forskarna kan se om en fågels fjäderdräkt är ultraviolett.

– Vi ser nästan ingen skillnad på blåmesarna. Men hanarna har en ganska väsentlig skillnad i ultraviolett på huvudet, jämfört med honorna. Och det finns en papegoja, svart lori, som ser svart ut för oss men har stark ultraviolett färg. Den syns som ett blåaktigt skimmer för oss. Detsamma gäller den blå visseltrasten. Men i båda fallen är det ingen könsskillnad, som hos blåmesen. Jag letade i många museilådor med fågelskinn för att hitta något liknande, säger Staffan Andersson.

På frågan om vad fåglarna använder sitt ultravioletta seende till svarar han:

– I samtliga fall jag känner till är det partnerval. Vi har studerat blåmesar, zebrafinkar, visseltrastar och blåhakar. Blåhakeexperimentet var det bästa. Vi hade fåglarna i burar på fjället i deras naturliga miljö. Vi tog bort den ultravioletta signalen i fjäderdräkten genom att stryka på solskyddsmedel.

Solskyddsmedel stoppar ju den ultravioletta strålningen. Blåhakehonor fick välja på två hanar, varav den ena hade sin ultravioletta färg maskerad av solskyddsmedel. I fyra fall av fem valde honan den hane som hade sin ultravioletta färg kvar. Liknande experiment med blåmesar visar att honorna föredrar de mest ultraviolettljysande hanarna.

Rovfåglar använder troligen också sitt ultravioletta seende när de jagar. Många gnagares urin lyser i ultraviolett, så de lämnar, för rovfågeln, tydliga spår efter sig.

Däggdjuren skiljer sig markant från de andra ryggradsdjuren. De allra flesta däggdjur är tvåfärgseende.

– Evolutionen tenderar att inte behålla saker den inte använder. Om en varelse har många opsiner men inte använder den till *någonting*, så finns ingen anledning att ha dem kvar. Ett exempel är de där fiskarna som lever i grottor. De kan förlora hela ögat och bli helt blinda. Varför slösa energi på det djuret inte använder?, säger Timothy Goldsmith.

Samma mekanism är orsaken till att däggdjuren förlorade två av sina opsiner innan dinosaurierna försvann vid slutet av kritperioden, för mer än 65 miljoner år sedan.

– Argumentet är att de olika grupperna av däggdjur, ganska små varelser, under många miljoner år bara var aktiva på natten. Det verkar ha orsakat förlusten av opsinerna för ultraviolett och rött ljus, säger Timothy Goldsmith.

De tidiga däggdjuren hade alltså ingen nytta av bra färgseende, eftersom de bara kunde vara aktiva om natten. På dagarna var det alltför farligt att vara i rörelse, det var då rovdinosaurierna med sin utmärkta syn var på jakt.

Ett annat tecken på samma sak är att nästan alla däggdjur, inklusive människan, har fler stavar för mörkerseende än tappar för färgseende. Och att vi använder ljushetskanalen från näthinnan mer än de två färgkanalerna, som Mats Lind berättade.

Lina Roth är doktorand på Lunds universitet. Hon studerar bland annat hästens färgseende. Hästen har samma färgseende som de flesta andra däggdjur, med tappar för blått och grönt, så kunskaperna blir allmänna än för det enskilda djuret.

– Hästar ser i panorama, de ser allt omkring sig utom rakt bakåt och mitt framför pannan. Troligtvis ser de fler färger än vi trott. Man börjar med studier av näthinnan för att se förutsättningarna och gör sedan beteendestudier för att förstå hur de upplever färgerna, säger Lina Roth.

Som i de flesta andra beteendestudier får hästen välja mellan två alternativ, ett som ger en belöning och ett som inte gör det. Här var alternativen två luckor i olika färger, till exempel grönt och grått. Det fanns morötter bakom båda, så hästen inte kunde använda luktsinnet. Den kunde knuffa upp den gröna luckan med nosen och plocka ut morötterna men den grå luckan var låst.

– För att undvika att hästarna lär sig ljusstyrkan istället för färgen använde vi flera olika gröna och flera olika grå färger. När vi hade tränat hästarna visade vi en slumpmässig grön och en slumpmässig grå färg och valde vänster eller höger lucka slumpmässigt, säger Lina Roth.

Det finns ett antal fallgropar när man gör beteendetest. Lina Roth fortsätter:

– Det är viktigt att föraren är neutral. I början tittade hästarna mycket på sin förare som för att fråga ”Går jag rätt?” Senare, när de lärt sig, var de nästan svåra att hålla tillbaka. Det var mera: ”Ge mig min morot!”

När hästarna väl lärt sig att grönt betyder morötter, görs de intressanta testen.

– När hästarna var tränade la vi in andra färger, t ex gult och blått, för att se hur de förhåller sig till nya färger. Det lär man sig mycket på, säger hon.

Hästar ser alltså färger från blått till grönt. Någonstans mitt emellan signalerar de blå tapparna lika mycket som de gröna. Den färgen kallas neutralpunkten. Hästen kan inte skilja den färgen från grått. De flesta forskare har hittills trott att neutralpunkten delar upp hästens färgseende i en blå del och en grön del, med grått i mitten.

– Vi har visat att det snarare är så att hästen ser en kontinuerlig färgskala, där neutralpunkten uppfattas som ”blågrön”. De behandlar neutralpunkten som vilken

färg som helst. Vi har trott att de tvåfärgseende däggdjuren har en enklare färgvärld än vår, men jag tror att de har en intressantare färgvärld. Vårt nästa projekt är att undersöka hästens nattseende. Det finns mycket kvar att hitta bland djuren. Och även i vår egen näthinna tror jag, säger Lina Roth.

Däggdjuren förlorade alltså sitt fyrfärgseende och blev tvåfärgseende under dinosauriernas tidsålder. Men människan och hennes närmaste släktingar är trefärgseende. Det beror på att någon gång för 35-40 miljoner år sedan uppstod en mutation hos en apa i gamla världen, det vill säga i Afrika-Asien-Europa. Mutationen dubblerade den genetiska koden för det grönkänsliga opsinet. Samtidigt, eller senare, förändrades den ena kopian. Känsligheten hos opsinet ändrades så att den blev maximalt känslig för gulgrönt i stället för grönt. Skillnaden räckte för att göra aporna trefärgseende.

Det förbättrade färgseendet var uppenbarligen en fördel, så att de individer som hade det fick fler överlevande ättlingar. Därför är människor och de flesta apor i gamla världen trefärgseende. Forskarna har spekulerat i att förbättringen i förmågan att skilja gröna färger från röda, som hästar inte har, gjorde att aporna fick mycket lättare att hitta mogna frukter. Vissa forskare talar till och med om människans ”fruktseende”.

Sedan forskningen av djurs färgseende kommit igång på allvar har det visat sig att samma typ av dubblerande mutation som gett oss bättre färgseende har inträffat även hos andra däggdjur.

– Exempel är en fladdermus och några pungdjur. De är alla grynings- och skymningsaktiva, säger Lina Roth.

Fladdermusen heter Fischers flyghund och lever på Filippinerna. Dess huvudsakliga föda är frukt, så bättre röd-grönt färgseende bör definitivt vara en fördel. Pungdjuren är pungmus, där forskarna gjort beteendevetenskapliga experiment som visar att djuren har trefärgseende, och snabelpungdjur, båda från Australien. Det kan finnas fler trefärgseende pungdjur, men åtminstone den lilla känguru som kallas Wallaby har däggjurens vanliga tvåfärgseende.

Ryggradsdjuren har alla ungefär samma typ av ögon, som fungerar som en kamera. Andra djur har utvecklat helt andra ögon, till exempel insekternas facettögon. Insekterna har ofta väl utvecklat färgseende, med hjälp av opsiner som är nästan identiska med dem som finns hos ryggradsdjuren. Kackerlackan har dock bara två opsiner, för ultraviolett och grönt, honungsbiet ser som tidigare nämnts i ultraviolett, blått och grönt. Många insekter är femfärgseende. Den vanliga husflugan har opsiner för djupt ultraviolett, ultraviolett, blått, grönt och gulgrönt. Ett antal fjärilar ser i fem eller till och med i sex färger. Med tanke på detta är det inte förvånande att många fjärilar har ultraviolett på vingarna. Och att dessa ultravioletta markeringar kan vara olika på honor och hanar, trots att könen ser precis lika ut för våra ögon. Trollsländan ser också i fem färger, som täcker en ovanligt stor del av spektrum, från djupt ultraviolett till rött.

Snabelsvärmaren, en insekt som är vanlig i Sverige, suger nektar ur blommorna om nätterna. Den ser i ultraviolett, violett och grönt, och kan urskilja olika färger till och med i stjärnljus. Dessa experiment, under ledning av Lina Roths handledare Almut Kelber, var de första som visade att det finns djur som har färgseende även om natten. Lina Roth själv har visat att geckoödlor kan skilja olika färger från varandra i svagt månljus.

Det djur som har det allra mest fantastiska färgseendet är mantisräkan, som lever i de tropiska havens korallrev. Mantisräkor är glupska små rovdjur. De har 12 till 16 olika opsiner som är känsliga från långt in i ultraviolett till djupt rött.

– Den använder inte alla till färgseende, några används till polarisation. De har jättetjusa ögon, säger Lina Roth.

Ljusets polarisation, eller, enkelt uttryckt, vågriktning, är en egenskap som de flesta djur inte uppfattar. Bläckfiskar lever i samma miljö som mantisräkan. De har stora kameraögon som liknar ryggradsdjurens, men bläckfiskens ögon har utvecklats helt oberoende av dessa. Bläckfiskarna är helt färgblinda, trots sin färgrika omgivning och trots att de själva visar sig i många och föränderliga färger. Deras enda opsin är, inte förvånande, maximalt känsligt i blått.

De flesta människor är trefärgseende, men långt ifrån alla. Var tolfte man och var tvåhundra kvinna har samma tvåfärgseende som hästen. Att männen drabbas så mycket oftare beror på att generna för grön- och rödkänsligt opsin finns i X-kromosomen, den som kvinnor har två av, men män bara en. Alla X-kromosomer har samma risk att vara defekta. Om mannens enda är skadad blir han färgblind, men om bara en av kvinnans två är skadad blir hon (nästan) normalseende. Koden för det blåkänsliga opsinet finns däremot på en kromosom som finns i dubbel upplaga hos båda könen.

Rödblind blir man om det rödkänsliga opsinet saknas. Eller om det är lite felaktigt, så att det får nästan samma känslighet som det gröna. Rödblinda kan inte skilja på grönt och rött och ser röda färger mörkare än normalt. Grönblind blir man om det grönkänsliga opsinet saknas eller om det är felaktigt. Grönblinda kan inte heller skilja på grönt och rött, men röda färger ser inte mörka ut för dem. Både män och kvinnor kan också vara blåblinda, det vill säga sakna det blåkänsliga opsinet, men bara en av 50 000 människor drabbas av detta. Givetvis är kombinationer av alla färgdefekter möjliga, men ytterst ovanliga.

Patrick Karlsson är rödblind.

– Jag ser inte skillnad på rött och grönt, och inte heller på lila och blått. På dagis målade jag gräset brunt, trädstammarna gröna och himlen lila. Dagensfröknarna sa att det var fel – det var så jag kom underfund med att jag var annorlunda. Det var i 5-6 årsåldern, säger han.

Patrick Karlssons dagliga liv påverkas på olika sätt av färgblindheten.

– Jag köper inte kläder själv. Antingen ber jag om hjälp i affären eller har en kompis med. Ibland får jag kommentarer om mitt klädval: ”Det var en djärv färgkombination”. Men det skär sig bara i andras ögon, inte i mina, säger han.

Han är road av matlagning, men det är inte problemfritt:

– Jag lagar mycket mat, men aldrig fläskkött. Jag kan inte se när det är lagom stekt. Kyckling går däremot bra, och biff gör ju inget om det är lite rött.

Patrick Karlsson vistas gärna utomhus, men klättrar hellre på klippor eller orienterar än intresserar sig för växter och djur.

– Det finns inga lingon i min skog. Dem köper man på burk. Däremot finns det blåbär. Svamp plockar jag inte, dels har jag svårt att hitta dem, dels ser jag inte vilken sort det är. Överhuvudtaget är det svårt att artbestämma växter och svampar. Och fågelskådning är inget för mig, av samma skäl.

En annan nackdel med att inte se rött att hudens varningssystem inte syns.

– Jag ser inte när jag själv eller andra bränner sig i solen. Det blir varmt men ingen färgskillnad.

Patrick Karlsson tycker inte att färgblindheten är ett stort problem, men mycket information går förlorad.

– Mycket av skolans färgbaserade pedagogik gick över huvudet på mig. Man bör skilja på *både* färg och form. Och det är inte pedagogiskt att rita med färgpennor på overheadfilm. Man missar var tolfte kille helt, säger han.

Det betyder i genomsnitt en pojke i varje klass.

– Det finns så mycket dålig design. Olika signalfärger borde lysa i olika lampor – om samma lampa växlar färg ser jag det inte. Varningsdioder i elektronik är speciellt besvärliga, de lyser grönt när det fungerar och rött när det är fel. Jag ser bara att det lyser. Och i många datorprogram där färger används är alltid rött och grönt de två första färgerna programmet väljer. Det borde vara blått och något annat. Designutvecklare måste tänka på färg och inte ha instruktioner som ”tryck på den gröna knappen”, säger Patrick Karlsson ganska irriterat.

Helst avstår han från färger när han får välja själv.

– Jag lägger ingen vikt vid färg. Form är mycket viktigare. Jag har alltid valt inredning, som tapeter och konst, i vitt-grått-svart. Etsningar och blyertsteckningar tycker jag om, avslutar han.

Det står i alla läroböcker att kvinnor med anlag för färgblindhet i ena X-kromosomen alls påverkas av detta. Doktor Gabriele Jordan och hennes forskningsgrupp på Newcastle-universitetet i Storbritannien har nyligen visat att detta inte är alldeles sant. Hon har testat färgseendet hos kvinnor som har minst en färgblind son och jämfört med andra män och kvinnor.

Normalt ska det vara dubbelt så många röda tappar som gröna i mitten av näthinnan. Om ena X-kromosomen har anlag för färgblindhet blir det annorlunda. Med anlag för rödblindhet blir det dubbelt så många gröna tappar som röda, omvänt mot normalfallet. Men den skillnaden klarar nervsystemet av att hantera, så kvinnorna får ingen mätbar skillnad från normalt färgseende.

Om den ena X-kromosomen i stället bär anlag för grönblindhet blir det hela fem gånger så många röda tappar som gröna. Det klarar nervsystemet inte av, så det leder till sämre färgseende. Kvinnorna kan inte skilja på små färgskillnader i det

röd-gröna området riktigt lika bra som normaleende. Men de är långt ifrån grönblinda.

Forskargruppen i Newcastle har också visat att kvinnor och män utan anlag för färgblindhet har precis lika bra färgseende.

Även hos normaleende är de individuella variationerna i färgseende större än de flesta inser. Det mönster som bildas av de olika typerna av tappar i näthinnan är slumpmässigt, och dessutom kan andelen av de olika sorterna variera lite grann.

– Det är inte ett perfekt system som skapar identiska kopior. Varje person brukar ha lite olika mönster i näthinnan. Jag, till exempel, vet, eftersom jag har testat mig, att jag har lite mer röda tappar än vanligt. Men det är småskillnader. Det gör inte att jag kan skilja färger sämre åt, men jag upplever dem lite annorlunda än de flesta personer gör, säger Mats Lind, perceptionspsykologen på Uppsala universitet.

Färgseendet kan till och med vara olika på de båda ögonen. Det gäller både mig själv och Mats Lind.

– Det är rätt vanligt att se olika på de båda ögonen. Det är klart synligt om man vet vad man ska titta efter. Jag, till exempel, har en varmare, gulare ton på höger öga än på vänster. Sådana små varianter finns det åt alla möjliga håll, säger han.

De här variationerna mellan människor, även sådana som har normalt färgseende, gör det svårt att kommunicera om färger. Samma namn kan betyda helt olika färger för olika personer.

– Man kan skilja ett fåtal färger från varandra och namnge dem. Man brukar säga att om man tittar på hur olika kulturer namnger färger så är det en, två, tre, fyra, fem, sex, sju färger som brukar namnges, säger Mats Lind.

Forskningschef Gunilla Derefeldt på Försvarets forskningsinstitut i Linköping har undersökt hur många färger människor kan känna igen. Hon visar sina försökspersoner två färger intill varandra och frågar om det är samma eller olika färg. Om personen svarar rätt de flesta gångerna är det bevis för att den uppfattar färgskillnaden.

Färger brukar klassificeras på tre olika sätt: nyans, ljushet och mättnad. Nyansen är den våglängd ljuset har. Ljusheten anger hur mycket vitt det är i färgen. Och en färgs mättnadsnivå anger hur mycket grått det är inblandat i den. Rena färger är omättade och svart är helt mättat.

– Ofta säger man att vi kan skilja på 6,5 miljoner färger, men det har inte bestämts med experiment utan detta har man räknat fram. Vi kan skilja på drygt 150 olika ljusvåglängder. Hur tätt de kan ligga varierar i olika delar av spektrum. Sedan ser vi omkring 200 ljushetsnivåer, vi urskiljer en ljusskillnad på en halv procent. Hur många mättnadsgrader vi urskiljer är olika för olika färger. Bäst är vi i det gulröda området. I medeltal ser vi ungefär 150 mättnadsnivåer, säger Gunilla Derefeldt.

När jag multiplicerar 150 färger med 200 ljushetsnivåer och med 150 mättnadsnivåer får jag 4,5 miljoner färger. Gunilla Derefeldt tror att den högre siffran, 6,5 miljoner, beror på att andra forskare räknat med att vi kan skilja på

färger och mättnadsnivåer lika bra i hela spektrum som i de delar där vårt färgseende är bäst.

Trots att vi ser skillnad på så många olika färger när vi ser dem bredvid varandra är det svårt att minnas färger.

– Det är skillnad på att komma ihåg färger och att beteckna dem. Svårigheten är att komma överens om allmänna namn. Vi gjorde en palett med 30 olika färger och lät försökspersoner sätta *egna* namn på färgerna. En man kallade till exempel en färg ”Elvisgrön”. Sedan försökspersonerna lärt sig färgerna visade vi slumpmässigt en av dem. De hade inga större problem att känna igen dem och säga sitt eget namn på dem, säger Gunilla Derefeldt.

Allmänna namn är som sagt mycket svårare. Hon fortsätter:

– Vi gjorde ett annat experiment, där vi bad personer peka på en färg på en bildskärm när vi sa ett namn. De flesta färger kallade vi ljus och mörk, till exempel ljusgul och mörkgul. Och det gick ganska bra. Men när vi bad personerna peka på den klarblå färgen hittade de den inte, trots att den fanns mitt på skärmen. Det är viktigt med rätt ord för rätt sinnesintryck.

Perceptionspsykologer brukar räkna med att det finns elva färger vi sällan missförstår när namnet anges: rött, rosa, lila, blått, grönt, gult, orange, brunt, vitt, grått och svart.

Gunilla Derefeldts forskning är inriktad på att presentera information så effektivt som möjligt i ytterst påfrestande situationer.

– Vi gjorde experiment för att utveckla skärmar i flygplan, senast för JAS-Gripen. De visar att piloten kan uppfatta information dubbelt så snabbt om man använder färg jämfört med svartvitt. Men i stressade situationer kan man bara skilja på tre till fyra olika färger, säger hon.

Mats Lind vet hur vi ska utforma grafik och bilder så mottagaren kan uppfatta informationen så bra som möjligt. Liksom Patrick Karlsson, som inte får bli pilot på grund av sin färgblindhet, tycker han det finns mycket att förbättra, även om designern förutsätter att mottagaren är normaleende.

– Jag har massor av exempel. Varenda dag när jag surfar runt ser jag exempel på webbsidor där man har för dålig kontrast, säger Mats Lind.

Redan tidigare har han berättat att ljushetskanalen, summan av den röda och gröna signalen, är grunden för människans formseende. Han fortsätter:

– Det första man måste se till att varje form som man vill att betraktaren ska uppfatta – bokstäver, symboler, linjer, kanter, vad som helst – har en ordentlig ljushetskontrast. Om man till exempel har rött mot grönt, så kan det vara stor skillnad i våglängd men ungefär samma energi och då kommer vi inte att se formen. Man *måste* se till att det finns klara ljushetskontraster.

Stor ljuskontrast underlättar även för färgblinda. Ljust betyder att färgen innehåller både rött och grönt, till exempel gult eller vitt. Mörkt betyder varken grönt eller rött, till exempel mörkblått eller svart. Detta är grunden för god grafik. Men det finns även risk för att ögat tröttnas om bilden innehåller fel färgkombinationer.

– Detta händer när man har färger som stimulerar en av färgkanalerna så den går i maxläge åt ena hållet. Ta kanalen som innehåller rött minus grönt. Om du tittar omväxlande på rent rött och rent grönt, då får de stackars neuronerna först pumpa ut joner så det stänker om det och bli maximalt positiva och sedan ska de helt plötsligt vända och sända maximalt med joner åt andra hållet. Om det dessutom är blått i så kommer även den andra färgkanalen att drabbas. Det slutar i trötthet alltihop det där, säger Mats Lind.

Hur ska vi göra då? Mats Linds grundtips är som följer.

– Det bästa man kan göra för att skapa en lugn och behaglig bild är att använda mättade färger som innehåller lite av alla nyanser så att ingen av kanalerna behöver jobba för mycket. Så i grund och botten en svartvit bild som man lägger mättade färger på, för att få en ökad urskillningsförmåga. Och sen, om man vill väcka uppmärksamhet, kan man använda klara omättade färger i små områden.

Dagens människor använder allt mera tid på att titta på färgskärmarna på TV, datorer, och andra apparater. Skärmarna består av röda, gröna och blåa små fläckar, som lyser mer eller mindre starkt, beroende på vilken bild som visas. Skärmarna är långt ifrån anpassade till människans färgseende. Candice Brown Elliott, chefs-
teknolog och grundare av företaget Clairvoyante i Cupertino i Kalifornien, vill ändra på detta.

– Det finns tre problem med dagens skärmar: Mönstret av färgfläckar, det begränsade antalet färger som kan visas, och skillnaden i ljushet mellan vitt och svart, säger hon och fortsätter:

– Rött, grönt och blått ligger i ränder med lika mycket av varje färg. Våra ögon fungerar inte så. Dagens mönster ger för mycket blått. Det ger ingen skärpa, eftersom vår ljushetskanal är summan av grönt och rött. Vi kan se en tiondel så små saker med ljushetskanalen jämfört med de två färgkanalerna. Det ogenomtänkta mönstret visar samma skärpa för alla tre kanalerna.

Det betyder att om vi med ljushetskanalen ser detaljer som är en millimeter stora, så måste de vara en centimeter för att färgkanalerna ska uppfatta dem. Morgondagens skärmar borde utnyttja ögats egenskaper och ha större skärpa i ljushet än i färg, anser hon. Det går att åstadkomma med nya mönster av röda, gröna, blåa *och vita* fläckar. Och nya sätt att programmera hur de ska lysa.

Nästa problem är det begränsade antalet färger på skärmarna.

– Rött, blått och grönt kan inte skapa alla färger vi kan se, det är välkänt. Billiga skrivare använder fyra färger och de bästa sex färger. På dagens skärmar får gräs och himmel inte bra färger. Och coelinblått, en kraftig himmelsblå färg som används i många målningar, kan inte visas alls, säger Candice Brown Elliott.

Hur borde det då vara istället?

– Vi behöver fler färger för att kunna visa alla färger människan uppfattar. Vi kommer så småningom att använda vitt tillsammans med fyra eller fem andra färger. Med fyra färger kommer vi att välja en djupröd, en gulgrön, en smaragdgrön

(blåaktigt grön) och en djupblå färg. Det kommer att ge oss mycket bättre blåa färger, som är riktigt usla idag, och därmed också bättre gröna, säger hon.

Det tredje problemet är att det vita på skärmarna inte är ljusst nog.

– Om vi vill ha vitt kan vi idag bara åstadkomma detta genom att lysa maximalt i rött, grönt och blått. Vi människor ser mycket fler ljushetsnivåer än skärmarna visar. Vita fläckar i skärmarna kommer att ge mer realistiska bilder, med mycket större skillnad mellan svart och vitt, säger Candice Brown Elliott.

I det enklaste av de nya mönster som hennes företag marknadsför finns lika många röda, gröna, blå och vita fläckar. Förutom att bilderna blir bättre, drar skärmarna bara hälften så mycket ström.

De nya skärmarna kanske kommer att uppskattas extra mycket av vissa kvinnor. Ett envist rykte påstår nämligen att det finns kvinnor som ser färger bättre än vi andra. De ska ha fyrfärgseende och ska därmed kunna särskilja många fler nyanser.

De kvinnor det gäller har en normal X-kromosom och en X-kromosom med anlag för en typ av rödblindhet. Det som borde vara det rödkänsliga opsinet reagerar maximalt för en färg i närheten av det gröna. Kvinnorna har bevisligen fyra opsin, de vanliga tre och ett fjärde, som kan kallas gulkänsligt. Så långt är alla överens. Vad diskussionen gäller är om dessa kvinnor faktiskt kan utnyttja sitt fjärde opsin för att få fyrfärgseende.

Timothy Goldsmith, professorn från Yale-universitetet, påpekar att samma fenomen finns hos de sydamerikanska små döds-kalleaporna, en av nya världens apor.

– Istället för den mutation som inträffade hos gamla världens apor, där två olika gener finns på samma X-kromosom, så inträffade andra mutationer. Det finns gener för olika färger inom arten, men varje X-kromosom har bara en, säger han.

Susan Cropp vid Washington-universitetet i St. Louis i USA och hennes kollegor har studerat döds-kalleapans färgseende. Varje X-kromosom har alltså bara en opsin-gen. Men denna gen finns i tre varianter, som ger röd-, gul-, eller grönkänsligt opsin. Hanarna, som bara har en X-kromosom, ser blått och en av de tre andra färgerna, de blir tvåfärgseende. De honor som har samma gen i sina två X-kromosomer blir också tvåfärgseende. Men två tredjedelar av honorna kommer att ha olika gener i sina två X-kromosomer. De blir då trefärgseende och får liknande färgseende som vi människor. Samma system finns hos andra sydamerikanska apor.

– De här fyrfärgseende kvinnorna kan vara i samma situation hos människan som hos döds-kalleaporna. Idén har funnits i litteraturen åtminstone ett decennium, kanske mer, säger Timothy Goldsmith.

”Situationen” är alltså att X-kromosomen kan innehålla gener för olika opsin, hos apan gul-, grön- eller rödkänsligt, hos människan grön och gul- eller rödkänsligt.

Forskarna från St. Louis har också visat att det måste finnas en viss minsta skillnad mellan den maximala känsligheten för två olika opsiner för att nervsystemet ska kunna utnyttja båda färgerna. Kanske är skillnaden mellan det röd- och det gulkänsliga opsinet hos kvinnorna för liten för att det ska fungera, ingen vet.

Candice Brown Elliott har också hört ryktet om de fyrfärgseende kvinnorna.

– Det är svårt att tro. Vi förlorade vårt fyrfärgseende. Men vi förlorade inte bara opsinerna, vi förlorade också de nervbanor som måste finnas. Så jag tror inte det är möjligt. Å andra sidan läste jag nyligen en artikel om möss, där mössen hade fått ett opsin de normalt inte har. Och de använde det, säger hon.

Artikeln, som publicerades mars 2007, kommer från Gerald Jacobs och hans kollegor vid California-universitetet i Santa Barbara i USA. Möss ser, som andra däggdjur, i blått och grönt. Men forskarna gav några möss den mänskliga genen för rödkänsligt opsin. Mössens näthinnor utvecklade då lika många röda tappar som gröna. Men blev de också trefärgseende?

Efter att ha gjort beteendetest på mössen är forskarnas svar ett obetingat ja. Tre möss med röda tappar kunde lätt skilja på färger som vanliga rödblinda mössen förväxlade. Detta trots att musens näthinna inte alls innehåller de celler som forskarna trodde var nödvändiga för trefärgseende. Mushjärnorna anpassade sig helt enkelt till att utnyttja alla signaler som synsinnet gav när musungarna öppnade ögonen och lärde sig se.

Om mushjärnor kan anpassa sig till utökat färgseende borde nog mänskliga hjärnor kunna göra detsamma. Gabriele Jordan och hennes kollegor i Newcastle letar efter fyrfärgseende kvinnor. De använder samma taktik som när de upptäckte att kvinnor med anlag för grönblindhet ser lite färre färger än andra, de undersöker mödrar till färgblinda pojkar. Men nu är det de som bär på det rödblinda anlaget som är intressanta.

Normalt kan människor inte skilja på gult ljus och en blandning av rött och grönt ljus. Men kvinnor som kan utnyttja signalen från ett gulkänsligt opsin borde kunna se denna skillnad. Forskarna i Newcastle har visat rena färger och färgblandningar för sina försökskvinnor, för att se om någon upptäcker olikheten.

Gabriele Jordan sitter just nu och skriver en vetenskaplig rapport om resultaten av dessa test. Hon är mycket hemlighetsfull och har via e-post meddelat att hon inte vill prata med någon journalist om fyrfärgseende kvinnor innan rapporten är publicerad. Min tolkning är att hon snart kommer att tillkännage slutgiltiga bevis för att fyrfärgseende kvinnor finns. Och att hon inser att detta blir en världsnöhet.

Jämfört med blåmesarna vid fågelbordet är dessa fyrfärgseende kvinnor ändå färgblinda, eftersom fåglarna också ser i ultraviolett. Forskarna skulle nog kunna lägga in blåmesens gen för ultraviolettkänsligt opsin i människan, precis som de la in vår gen för rött i mössen. Och förmodligen skulle de barn som växer upp lära sig se färger på samma sätt som fåglarna. Men de skulle inte kunna berätta för oss andra hur de upplever detta, lika lite som en normalseende kan förklara skillnaden mellan grönt och rött för en färgblind.

Gunilla Borgefors