

Menschliche Einflussfaktoren auf das Erkennen von Anzeigen bei bildgebenden Systemen

Thomas Lüthi, Empa, Dübendorf (CH)

Zusammenfassung

Etwa 10 % Männer eurasischer Rasse haben eine mehr oder weniger ausgeprägte Farbfehlsichtigkeit. Neben dieser erblich bedingten Eigenschaft gibt es auch Erkrankungen des Auges, die zu einer schleichenden oder abrupten Veränderung der Sehfähigkeit führen.

Gängige Regelwerke schreiben Mindestwerte der Beleuchtung bzw. Höchstwerte des Restlichts vor und sie regeln die Art der regelmässigen Überwachung der Sehfähigkeit. In Bezug auf das Farbsehvermögen ist EN 473 allerdings ziemlich wenig ergiebig.

Mit der zunehmenden Verbreitung von Darstellungen bildgebender Systeme, deren Ergebnisse dann oft in Falschfarben dargestellt werden, erhält diese Problematik etwas mehr an Bedeutung. Bei unglücklicher Wahl der Farbwerte können die in einen Bericht eingebauten Farbdarstellungen bei farbschwachen Betrachtern zu Fehlinterpretationen führen.

Der Beitrag zeigt an Hand von verschiedenen Beispielen den Einfluss des Auges und des Sehvorgangs auf die Interpretation von verschiedenen Anzeigen (VT, PT, MT und allg. bildgebende Systeme).

Normative Grundlagen

Im europäischen ZfP-Regelwerk wird in mehreren Normen auf die Sehfähigkeit und die optischen Randbedingungen eingegangen. Am bekanntesten sind dabei die Forderungen in EN 473 (Zerstörungsfreie Prüfung – Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung – Allgemeine Grundlagen, Kapitel 6.3): eine Nahsehfähigkeit Jaeger-Nummer 1 (bzw. Times Roman N 4.5 @ 30 cm) und dass ein Farbsehvermögen ausreichend sein muss, damit Farben bzw. Farbunterschiede erkannt werden, die beim betreffenden ZfP-Verfahren – wie vom Arbeitgeber festgelegt – benutzt werden. Etwas weniger bekannt ist die Forderung nach EN 13018 (Zerstörungsfreie Prüfung – Sichtprüfung – Allgemeine Grundlagen, Kapitel 7c), dass für Übersichtsprüfungen zusätzlich auch die Fernsicht mindestens einem Sehschärfegrad von 0.63 (@ 4 m) entsprechen muss. Dazu wird die EN ISO 8596 (Augenoptik – Sehschärfebestimmung – Das Normsehzeichen und seine Darbietungsbedingungen) angezogen. Die Sehfähigkeit ist jährlich wiederkehrend zu überprüfen, das Farbsehvermögen nur einmalig. Beide Sehfähigkeitsuntersuchungen sind einfach durchzuführen. Der notwendige Visuskurztest mit Landoltringen kann aus dem Internet (beispielsweise unter <http://www.sov.ch>) heruntergeladen werden (korrekte Skalierung beim Ausdruck beachten!).

Im Weiteren werden Forderungen nach der minimalen Beleuchtung gestellt und zwar min. 500 lx für MT, PT (beide mit farbigen Prüfmitteln) und für die örtliche Sichtprüfung, sowie min. 160 lx für Übersichtsprüfungen (d.h. Sichtprüfung aus einer Distanz grösser als 0.6 m). Zusätzlich gibt es Hinweise bezüglich der Farbtemperatur der Beleuchtungsquelle und der Vermeidung von Spiegelungen.

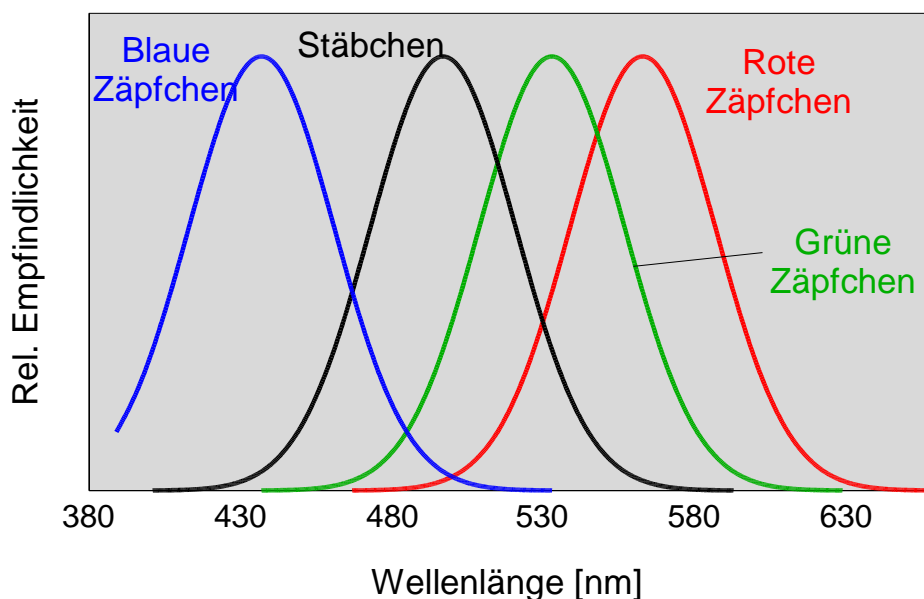
Beleuchtung und Konzentrationsfähigkeit

Dass eine korrekte Beleuchtung die Konzentrationsfähigkeit und damit die Auffindwahrscheinlichkeit von Anzeigen erhöht, ist seit längerem bekannt. Eine amerikanische Studie [McCormick, 1970] zeigt beispielsweise, dass für Baumwollarbeiterinnen bei einer Steigerung der Beleuchtung von 170 auf 750 lx die Produktivität um über 10% gesteigert und die Unkosten für Ausschuss um 40% verringert werden konnten. Es ist naheliegend, dass auch für Aufgaben in der ZfP analoge Werte gefunden werden könnten. Derartige Werte gelten allerdings nicht für eine kurzzeitige Tätigkeit, sondern die Verbesserungen sind erst bei einer Dauerbelastung sichtbar.

Dies bedeutet, dass bei einer länger andauernden Übersichtsprüfung bei knapper Einhaltung der normativen Forderung von 160 lx die Fehlerwahrscheinlichkeit des Betrachters erhöht ist.

Der Helligkeits- und Farbsehprozess

Für die Farberkennung sind in der Netzhaut des Auges verschiedene Rezeptoren verantwortlich. Der Mensch besitzt drei entsprechende Zäpfchen, blaue oder K-Zäpfchen (K für kurzwellig) mit einer maximalen Empfindlichkeit bei 437 nm [Dowling, 1987], grüne oder M-Zäpfchen (M für mittelwellig) mit einer maximalen Empfindlichkeit bei 533 nm und schliesslich rote oder L-Zäpfchen (L für langwellig) mit einer maximalen Empfindlichkeit bei 564 nm. Der Begriff "rot" kann dabei insofern irreführend sein, als dass mit diesem Zäpfchen zwar der rote Spektralbereich abgedeckt ist, die maximale Empfindlichkeit aber bei grünlich-gelb liegt. In der Literatur finden sich auch leicht abweichende Zahlen. Der Mensch verfügt über etwa 7 Mio. Zäpfchen.



Figur 1: Spektrale Empfindlichkeit der Stäbchen und Zäpfchen

Daneben verfügt der Mensch auch über etwa 125 Mio. auf Helligkeitsunterschiede reagierende Stäbchen mit einer maximalen Empfindlichkeit bei 498 nm. Die Stäbchen sind empfindlicher und gestatten auch das Sehen bei geringen Lichtstärken oder Beinahe-Dunkelheit. Unter diesen Bedingungen nimmt aber das Farbsehvermögen stark ab und verschwindet schliesslich vollständig. Daher auch der bekannt Ausspruch "in der Nacht sind alle Katzen grau".

Beim normalen (photopischen) Tageslichtsehen liegt die maximale spektrale Empfindlichkeit bei etwa 555 nm, unter Verdunkelungsbedingungen, wie sie beim Einsatz von

fluoreszierenden Prüfmitteln vorkommen, wird diese nur geringfügig auf etwa 550 nm reduziert.

Bei Beinahe-Dunkelheit (scotopisches Sehen) reduziert sich die spektrale Empfindlichkeit zu kurzwelligeren Werten. Für die ZfP ist diese Art des Sehens und die dann notwendige lange Dunkelheitsadaptation (typischerweise 30 Minuten) aber nicht von Bedeutung.

Farbanomalien

Farbanomalien sind fast ausschliesslich erblich bedingt. Sie betreffen meistens das Funktionsvermögen einzelner Zäpfchen; andere Formen sind sehr selten. Die Information über das Farbsehvermögen der roten und grünen Zäpfchen ist auf dem X-Chromosom enthalten und geschlechtsspezifisch rezessiv. Da das Y-Chromosom keine Farbinformation enthält, sind wesentlich mehr Männer von diesen Anomalien betroffen. Die Information bezüglich der blauen Zäpfchen ist auf dem Chromosom 7 gespeichert und wirkt sich nicht geschlechtsspezifisch aus. Bei Farbanomalien sind zwar die entsprechenden Zäpfchen vorhanden, jedoch funktioniert der Austausch der photochemischen Substanzen nur reduziert oder überhaupt nicht. Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, weisen bezogen auf die männliche Weltbevölkerung etwa 8% eine Farbanomalie auf. Die Verteilung ist aber rassenspezifisch und liegt bei Eurasiern bei etwa 10%. Eine seltene Möglichkeit, dass Farbenblindheit anderweitig erworben wird, sind Hirnverletzungen (z.B. infolge eines Schlaganfalls), die das Sehzentrum betreffen.

Tabelle 1: Verteilung der Farbschwäche und –blindheit (: männliche Bevölkerung, Frauen je nur 1/20 bis 1/100); die Grössenangaben für Blauschwäche bzw. –blindheit schwanken je nach Quelle sehr stark*

| | Schwäche | Blindheit |
|------|-----------------------|-----------------------|
| Rot | Protanomalie (1%*) | Protanopatie (1%*) |
| Grün | Deuteranomalie (5%*) | Deuteranopatie (1%*) |
| Blau | Tritanomalie (0.005%) | Tritanopatie (0.005%) |

Da die spektralen Maxima der grünen und roten Zäpfchen lediglich 31 nm auseinander liegen, sind die Farbunterscheidungsmöglichkeiten von rot- und grünblinden Personen ziemlich ähnlich. Rotblinde Personen haben aber den Nachteil, dass sie für Wellenlängen oberhalb von etwa 620 nm keinen Rezeptor besitzen. Für Grünblinde trifft dies nicht zu. Analog fehlt bei Blaublinden ein Rezeptor für den kurzwelligen Spektralbereich unterhalb von etwa 430 nm.

Um nun die Auswirkungen auf Tätigkeiten in der ZfP erfassen zu können, lassen sich typische Anzeigen mit Programmen (z.B. <http://www.vischeck.com>) direkt auch mit eigenen Bildern simulieren.

Bedeutung von Farbanomalien in der ZfP






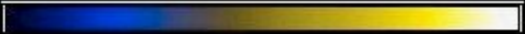


Allgemeine Aussagen bezüglich von Tätigkeiten in der Sichtprüfung lassen sich nicht machen, potentielle Einschränkungen müssen spezifisch erfolgen. Hingegen lässt sich der Einsatz bei der Eindring- und Magnetpulverprüfung untersuchen.

Es zeigt sich, dass Rot- und Grünblinde bei farbigen (roten) Prüfmitteln die Anzeige zwar sehr wohl sehen, aber Schwierigkeiten haben können, sie von Schattenwürfen zu unterscheiden. Dies könnte sich speziell bei der Zwischenreinigung negativ auswirken.

Bei (gelblich-grün) fluoreszierenden Prüfmittel haben sie keine Probleme. Speziell Rotblinde können wegen dem Abfall der Sensibilität für höhere Wellenlängen bei orange-rot fluoreszierenden Prüfmitteln Probleme bekommen, weil sie die Anzeigen nur schwach erkennen können.

Umgekehrt liegt der Fall bei Blaublinden, die bei farbigen Prüfmitteln keine Unterscheidungsprobleme haben, jedoch bei fluoreszierenden Prüfmitteln Schwierigkeiten haben können mit der Unterscheidung von Anzeigen und Spiegelungen.

Falschfarbendarstellungen sind für viele bildgebende Verfahren (UT, ET, TT, GPR usw.) üblich. Nur lässt sich hier noch viel weniger kontrollieren, ob die Betrachter die entsprechenden Farbkombinationen unterscheiden können. Ziemlich ungünstig wirkt sich die Kombination rot-grün aus, insbesondere wenn das eine davon einer Fehleranzeige entspricht und das andere den normalen Untergrund darstellt. Diesbezüglich günstige Farbbalken enthalten keine dunkelroten Bereiche und weisen nur einen kurzen oder gar keinen grünen Bereich auf. Es gibt aber kaum eine Kombination mit vielen Farben, die allen Ansprüchen gerecht würde (Figur 2). Weitere Beispiele finden sich zum Beispiel unter <http://www.colorvisiontesting.com>.

| | | |
|----------|---|--|
| Original |  |  |
| Deutanop |  |  |
| Protanop |  |  |
| Tritanop |  |  |

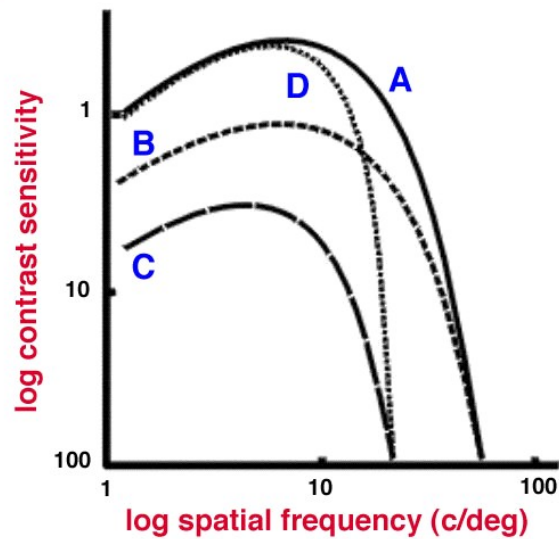
Figur 2: Beispiele von zwei Farbbalken und die entsprechende Simulation für Farbenblinde; gesamtes Spektrum links (fehlende Unterscheidungsmöglichkeit zwischen hellgrün und hellrot für Grünblinde), grünfreies Spektrum rechts (schlechte Unterscheidungsmöglichkeit zwischen dunkelrot und schwarz für Rotblinde und Wegfall der kurzen Wellenlängen für Blaublinde)

Schliesslich müssen auch Bedienungselemente so geplant werden, dass sie nicht zu Irrtümern führen können. Fatal können sich kritische Signalanzeigen wie Leuchtdioden (wie sie z.B. bei CD-Recordern oder gewissen USB Memory-Sticks verwendet werden) oder Anzeigefelder (z.B. Laufbalken) deren Farbe auf gewisse Signalschwellwerte reagiert auswirken, wenn sie ihre Farbe wechseln, ohne dass zusätzlich eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit besteht.

Photoskopische Kontrastempfindlichkeit

Die photoskopische Kontrastempfindlichkeit zeigt den Zusammenhang zwischen der erkennbaren Auflösung und den Kontrastunterschieden auf. Dass hohe Ostsfrequenzen bei geringem Kontrast nicht mehr aufgelöst werden können, erscheint sofort als logisch. Hingegen fällt die Auflösung auch für geringe Ostsfrequenzen wieder ab. Dieser Bereich wird zwar vom Auge erfasst, die Ganglionzellen filtern diese Information aber aus und leiten sie nicht ans Sehzentrum des Hirns weiter. Es kann also sein, dass feine Kontrastunterschiede nicht erkannt werden, wenn sich der Betrachter zu nahe am Objekt befindet.

Verschiedene Erkrankungen können zu einer Veränderung der Normalsituation führen (Figur 3).



Figur 3: Photoskopische Kontrastempfindlichkeit; A: Normal, B: Multiple Sklerose, C: Katarakt (grauer Star) und D: Refraktionsfehler und Amblyopie (lazy eye), in schweren Fällen in die Kurve C übergehend (nach Kalloniatis & Luu, <http://webvision.med.utah.edu/>)