

V. Harsch (2026): Die Signallaterne nach Charles H. Williams zur Testung der Farbtüchtigkeit in der verkehrsmedizinischen Beurteilung aus historischer Sicht

Einführung

Dieser Beitrag widmet sich einer frühen Version der in der Luftfahrt verwendeten Williams-Signallaterne zur Testung des Farbsehens. Neben einem geschichtlichen Rückblick zur Bedeutung des Farbsehens in der Verkehrsmedizin wird die Williams-Signallaterne als vor allem im angelsächsischen Raum bis in die 40er Jahre verbreitet verwendete Testgerät einer näheren Betrachtung unterzogen.

Die Farbsinnprüfung hat insbesondere in der Verkehrsmedizin eine lange Geschichte. Erfahrungen aus dem Eisenbahnwesen und der Schifffahrt fanden Eingang auch in die Untersuchungsmethoden bei den Luftfahrern. Selbst in den aktuellen US-amerikanischen FAA- und europäischen EASA-Luftfahrtvorschriften ist der Testdreisprung aus Ishihara Test mit 24 standardisierten Farbtafeln und bei farbunsicheren Probanden eine Prüfung mit einem Anomaloskop und letztlich an einer zugelassenen Farblaterne festgelegt. Eine der Vorläufer der derzeit in der Luftfahrtmedizin zugelassenen Signallaternen wird näher vorgestellt.

Dr. Williams führte seinen Laternentest vor mehr als einem Jahrhundert in 1903 ein, wobei die Probanden die durch Leuchtmittel illuminierten Farbgläser richtig benennen mussten. Diese vom Verfasser in Nordamerika während eines Fliegerarztkurses erworbene, voll funktionsfähige Testgerät, das seinerzeit bei der kanadischen Luftwaffe verwendet worden sei, stellte aufgrund seiner Komplexität zwar kein Screeningverfahren zur Differenzierung von verkehrsmedizinisch relevanter Farbschwäche dar, war jedoch für eine realitätsnahe Simulation der Erkennbarkeit, Identifizierung und Unterscheidung von farbkodierten Navigationssignalen durchaus hilfreich.¹

Eine moderne Untersuchungsmethode stellt der Farbbeurteilungs- und Diagnosetest CAD (Colour Assessment and Diagnosis) dar und wird von den europäischen und US-Luftfahrtbehörden nunmehr als Gold-Standard anerkannt, da der Farbtest höchst sensitiv das Farbsehen automatisch und präzise testen kann [1,2].²

¹ Siehe hierzu auch Nat.Res.Council (US) Com. of Vision, 1981 [14]

² Dieser Test gilt als bestanden, wenn der Schwellenwert bei einer Deutan-Störung unter 6 Standardnormalwerten (SN) liegt oder bei einer Protan-Störung unter 12 SN. Ein Schwellenwert von mehr als 2 SN bei einer Tritan-Störung weist auf eine erworbene Ursache hin, die ophthalmologischerseits weiter untersucht werden sollte. Farbdefiziente Personen werden bei diesem Test mit 100%iger Sensitivität und Spezifität erkannt und ist nicht trainierbar. Als weiterführende Literatur sei insbesondere verwiesen auf den Studienbericht der EASA von Dr. Constantin MIHAI, MD. Literature review regarding the colour vision requirements for aircrew. EASA_REP_RESEA_2019_1 [13].



Abb. 1 Williams Signallaterne, Frontansicht [19].

Geschichtlicher Rückblick zur Prüfung des Farbsehens in der Augenheilkunde und Verkehrsmedizin

Eine der ersten Beschreibungen von Farbuntüchtigkeit reicht bis in das 18. Jahrhundert zurück. Huddart (1777) erwähnte eine familiäre Häufung der Farbuntüchtigkeit beim männlichen Geschlecht, wobei einer der Brüder als Kapitän eines Handelsschiffes tätig war [6].

Auf die klinische Bedeutung der Farbsinnstörung für Verkehrsteilnehmer wurde erstmalig durch den schwedischen Physiologen Alarik Frithiof Holmgren (1831-1897) hingewiesen, der 1875 die Ursache für ein schweres Zugunglück bei Lagerlunda in der Farbenblindheit des Lokführers sah, der entsprechende Signale nicht richtig erkannt habe. Holmgren (1878) schlug daher die Einführung der Farbsinnprüfung für die Zulassung zum Eisenbahn- und Marinedienst basierend auf seinem Farbwolltest vor [6].

Auf Schiffsunglücke, die ursächlich auf Farbsignalverwechslungen zurückgeführt werden konnten, wies etwa zur gleichen Zeit der Liverpooler Augenarzt Thomas Herbert Bickerton (1857-1933) hin [3]. Auch bei einem Schiffsunglück auf der Niederelbe 1910, bei dem 110 Menschen ums Leben kamen, sei als Unfallursache die Farbsinnschwäche eines der Kapitäne benannt worden, der die Positionslaternen nicht richtig erkannt habe [10].

Folglich wurde in der verkehrsmedizinischen Begutachtung vermehrt auf die Früherkennung von Farbdefekten im Rahmen der Tauglichkeitsuntersuchungen bis heute geachtet und spielt in der Luft- und Raumfahrtmedizin nach wie vor eine wichtige Rolle.³

Die ersten verbreiteten Farbsinnprüfungen erfolgten im auslaufenden 19. Jahrhundert mittels der Holmgrenschen Wollprobe (s.o.) bzw. mit den standardisierten pseudoisochromatischen Tafeln nach Jakob Stilling (1842-1915) im Jahr 1877 [17].

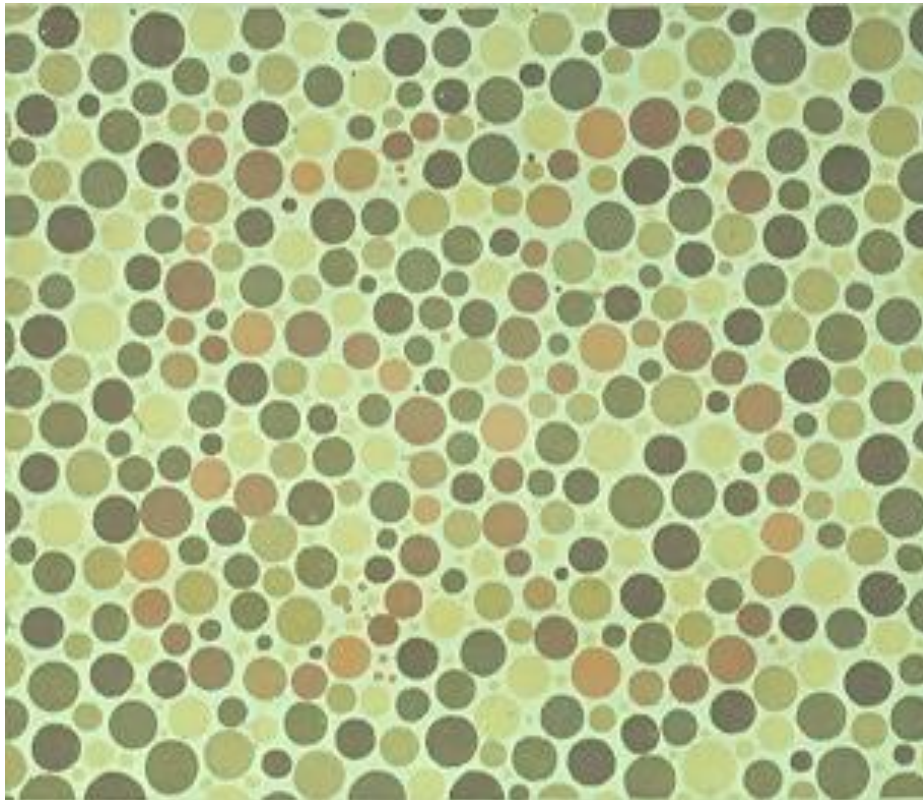


Abb. 2 Stilling Farbtafeln. In Draeger u, Harsch 2006: 34.

Ein weiteres Untersuchungsverfahren des Farbensehens ist das Farbfleckverfahren. Hierbei erfuhr der Test von Farnsworth weltweite Verbreitung. Er basiert auf dem US-Munsell-Farbordnungssystem und überprüft neben dem Rot-Grün-Sinn in einem Testgang mit 85 Farbmarken auch den Blausinn [9].

International durchgesetzt haben sich jedoch die 1917 eingeführten Ishihara-Tafeln. Der japanische Militärarzt Shinobu Ishihara (1879-1963) entwickelte die bis heute in der Flugmedizin verwendeten nach ihm benannten pseudoisochromatischen Tafeln. Diese nutzen den Effekt, dass normal Farbsichtige die Farbpunkte unterschiedlich sehen und so bspw. Zahlen oder Schlangenlinien wahrnehmen, während bei Farbsinnschwäche die Farbunterschiede nicht wahrgenommen werden. Die Nachteile liegen vor allem bei den Anforderungen an die Lichtverhältnisse und der nachlassenden Farbintensität des Farbbuchdruckes [3].

³ Liegt ein „intaktes“ Farbsehen des Menschen vor, so spricht man von einem Trichromaten. Liegt eine Farbschwäche vor, spricht man von einer Anomalie, bei Farbenblindheit von Anopien. Die häufigste Farbstörung ist die Grünschwäche (Deuteranomalie), die auf Grund der x-chromosomale Vererbung bei Männern deutlich häufiger auftritt (rund 8%, bei Frauen rund 0.5%).

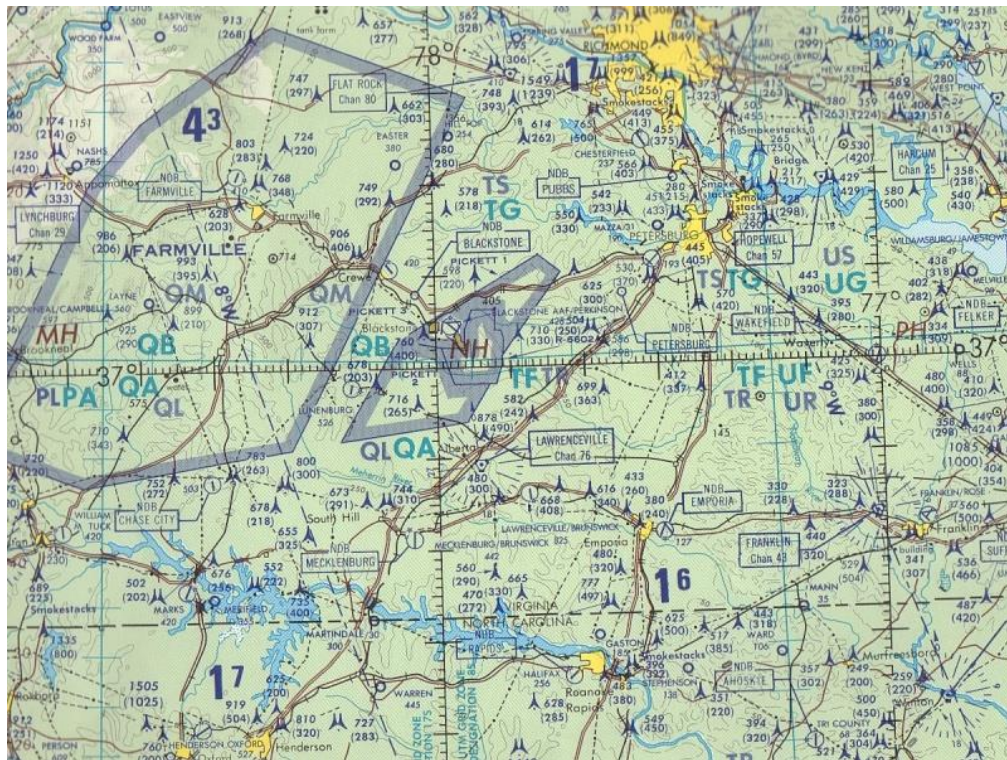


Abb. 3 US-Navigationskarte für Flüge nach Sichtflugregeln. Privatarchiv V. Harsch [19].

Bei der Untersuchung mit den Farbtafeln handelt es sich um ein Screeningverfahren für Farbsehstörungen, mit denen allerdings nicht in jedem Fall eine zweifelsfreie Aussage zur Art und Schwere der Farbsinnstörung möglich ist. Gutachterliche, fliegerärztliche und arbeitsmedizinische Untersuchungen werden daher häufig mittels zweier verschiedener Tafelhersteller durchgeführt, die zudem in der unterschiedlichen Darbietungsreihenfolgen eine Täuschung durch die Probanden erschweren [7].

In der Luftfahrt hat sich traditionell als weitere Prüfmöglichkeit die inflight-Testung mittels Signalpistole bewährt, das Ablesen des PAPI-Anflugsystems ist zudem eine individuell leicht überprüfbare Möglichkeit, die farbschwächebedingten Einschränkungen des Luftfahrers im fliegerischen Umfeld praktisch abzuschätzen.⁴

Ist der Bewerber nicht farbensicher, was mit dem Ishiharetest mit 24 Farbtafeln geprüft wird, so macht dieses untauglich und wird um die Untersuchung am Anomaloskop und letztlich an einer zugelassenen Farblaterne ergänzt [7].

Für die Untersuchung mit exakten und reproduzierbaren Farbreizen werden Spektralfarben benutzt. Verwendung finden hierfür sogenannte Anomaloskope. Nagel übernahm 1907 die Rayleigh-Gleichung⁵ für sein Anomaloskop, mit dem drei Spektrallichter der Helligkeit nach verändert werden konnten. Das Ergebnis der Untersuchung ermöglichte erstmals eine differentialdiagnostisch eindeutige Einteilung der Rot-Grün-Sinnesgestörten.⁶

⁴ Das optische PAPI-System ergänzt das Instrumentenlandesystemen (ILS) und warnt vor zu hohen oder zu tiefen Anflügen. Die Präzisions-Anflugleitwegbefehrerung (Precision Approach Path Indicator) ist eine seit Jahrzehnten bewährte visuelle Navigationshilfe zur Einhaltung des korrekten Gleitpfades bis zum Aufsetzpunkt der Landebahn. Farbschwache Privatpiloten erhalten in der Regel keine Nachflugberechtigung.

⁵ Die Spektralgleichung (Grünreiz + Rotreiz = Gelbreiz) nach Lord Rayleigh (1881) ging auf die Benutzung dreier Lichter zurück (mit den Spektrallinien des Lithiums (Rotreiz, 671 nm), des Natriums (Gelbreiz, 589 nm) und des Thalliums (Grünreiz, 535 – später von Kohlrusch (1935) auf 546 nm geändert).

⁶ Anomaliequotient: Ein quantitatives Maß ergibt einen Anomaliequotienten (AQ, auch: Anomalquotient), der aus dem Mittelwert von wiederholten Einstellungen (P) der Versuchsperson (Vp) im Vergleich zu den Einstellungen (N) von Farbtüchtigen (No) nach der Rayleigh-Gleichung errechnet wird: $AQ = [(73 - P)/P] : [(73 - N)/N]$

Für Luftfahrzeugführer in Europa sind die nachfolgenden Kriterien bezüglich des Farbsehens festgelegt (AMC2 MED.B.075 Colour Vision/Farbsehen (a) (b) (c)): „Das Farbsehen sollte bei klinischer Indikation bei Revalidierungs- und Verlängerungsuntersuchungen getestet werden. Der Ishihara-Test (Version mit 24 Tafeln) gilt als bestanden, wenn die ersten 15 Tafeln, die in zufälliger Reihenfolge präsentiert werden, fehlerfrei erkannt werden. Wer den Ishihara-Test nicht besteht, soll bedarfsweise mit dem Nagel-Anomaloskop (oder gleichwertig) weiter untersucht werden. Dieser Test gilt als bestanden, wenn die Farbanpassung trichromatisch ist und der Anpassungsbereich 4 Skalenpunkte oder weniger beträgt, oder wenn der Anomalie-Quotient akzeptabel ist (0.7-1.4).“

Mit einem Anomaloskop wird in der Verkehrsmedizin die Farbunterscheidung beim Rot-Grün-Sehen näher betrachtet. Beim Betrachten mit jeweils einem Auge wird ein horizontal geteilter Kreis dargestellt, wobei das untere Gelbfeld (spektrale Na-Linie 589,3 nm) als Referenzfeld dient. Auf der oberen Hälfte (Mischfeld) lassen sich ein spektrales Rot (671 nm, Li-Linie) und ein spektrales Grün (546,1 nm, Hg-Linie) durch Drehen an einem Feintrieb mischen, so dass der Farbtüchtige im Mischfeld eine mit dem Vergleichsfeld übereinstimmende Gelbtönung einstellen kann bzw. „annimmt“, so dass ein komplett gelber Kreis entsteht. Der Grünschwache (Deuteranomale) wird im oberen Halbkreis zu viel Grün dazugeben, ein Rotschwacher (Protanomaler) wird zu viel rot einstellen.

Mit den bisher beschriebenen isochromatischen Tafeln und dem Anomaloskop sind die für die Teilnahme an den verschiedenen Verkehrsarten vorgeschriebene Farbtüchtigkeit hinreichend testbar.

Ein weiteres weitverbreitetes Testverfahren in der Verkehrsmedizin stellte die mittlerweile antiquierte Laternenprobe dar, die dem Prinzip der Farbbenennung folgt. Die Schiötz-Farblaterne war in Deutschland seit 1925 in Gebrauch. Die Prüfung der Farberkennung bei ungünstigen Witterungsverhältnissen konnte dahingehend technisch beeinflusst werden, dass die Farbsignale durch einen Filtervorsatz vernebelt dargeboten bzw. eine Helligkeitsherabsetzung durch die Verwendung von Grauscheiben erreicht wurde. Die Signale wurden aus einer Entfernung von 3 m für relativ kurze Zei dargeboten, als Blinklichter wurden die Farben gelb, rot und grün eingesetzt [7,17].

In den 60er Jahren wurde die Testung noch bei der Handelsmarine, der Zivillfiegerei und den Streitkräften benutzt und erlebte eine, wenn auch überraschende, vorübergehende Renaissance durch die luftfahrtmedizinischen JAA-Regularien (JAR FCL III). Letztlich kann einer Fliegerärztlichen Untersuchungsstelle oder einem Institut mittels einer Signallaterne eine Testung erfolgen. Zum Einsatz kommen heutzutage noch die Signallaternen nach Beynes, Holmes-Wright und Spektrolux.⁷ Der Williams-Laternentest findet demgegenüber keine Anwendung mehr. Eine moderne Untersuchungsmethode stellt der Farbbeurteilungs- und Diagnosetest CAD (Colour Assessment and Diagnosis) dar und wird von den europäischen und US-Luftfahrtbehörden nunmehr als Gold-Standard anerkannt, da der Farbttest höchst sensitiv das Farbsehen automatisch und präzise testen kann [1,2].⁸

– N)/N] Das entspricht der Beziehung: $AQ = \frac{\text{Grünanteil } V_p \times (\text{Rotanteil } N_o [= 40])}{\text{Rotanteil } V_p \times (\text{Grünanteil } N_o [= 33])}$. Farbtüchtige liegen in einem Bereich von $AQ = 0,7-1,4$. Bei Protanomalien ergibt sich ein AQ von $0,1-0,6$ mit P-Werten > 40 . Bei Deuteranomalien ergibt sich ein AQ von $2-20$ mit P-Werten < 40 mit einem Mittelwert um $3,0$.

⁷ Bei der RAF und britischer ziviler Luftfahrtbehörde ist die Fletcher-Evans-Cam-Laterne zugelassen. Die von Holmes Wright-Laternen für Luft- und Seefahrt festgelegten Standards stimmen eng überein und werden im CAM verwendet, da die H/W-Laternen inzwischen nicht mehr hergestellt werden. Darüber hinaus bietet die CAM-Laterne in demselben Gerät einen zusätzlichen klinischen Modus.

⁸ Dieser Test gilt als bestanden, wenn der Schwellenwert bei einer Deutan-Störung unter 6 Standardnormalwerten (SN) liegt oder bei einer Protan-Störung unter 12 SN. Ein Schwellenwert von mehr als 2 SN bei einer Tritan-Störung weist auf eine erworbene Ursache hin, die ophthalmologischerseits weiter untersucht werden sollte. Farbdefiziente Personen werden bei diesem Test mit 100%iger Sensitivität und Spezifität erkannt und ist

Nicht zuletzt erwähnt seien die Farbperimetrie und Farbunterschiedsperimetrie, beides Methoden zur Farbwahrnehmung der gesamten Netzhaut. Da der Farbsinn gegenüber dem Lichtsinn eine differenziertere Funktion darstellt, geht der Farbsinndefekt dem Lichtsinndefekt in der Regel voraus, so dass die Farbperimetrie bspw. in der Glaukom-Frühdagnostik ihre Berechtigung hat [7].

Beruflicher Werdegang von Dr. Charles H. Williams

Charles H Williams (1850-1918) konstruierte 1899 die nach ihm benannte Signallaterne für die Testung des Farbsehens in der Verkehrsmedizin. Verwendung fand das Testinstrument über Jahrzehnte bei der Eisenbahn sowie See- und Luftfahrt.⁹ Es ähnelt von der Form her einer Eisenbahnlaterne und war zunächst mit Kerzen, später mit Glühbirnen illuminiert.

Die an der Vorderseite befindliche, mit Glasplatten in verschiedenen Farben rotierende Scheibe, war um eine weitere rotierende Scheibe mit Blenden unterschiedlicher Größe erweitert. Hieraus ergab sich eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten, was den Gebrauch aber hierdurch nicht gerade erleichterte.

Für die Erprobung des Testinstrumentes sandte der Bostoner Ophthalmologe im Jahr 1899 eine seiner Signallaternen an den niederländischen Arzt Hermann Snellen (1834-1908), der 1862 die nach ihm benannten und bis heute Verwendung findenden Sehproben-Tafeln zur Testung der Sehschärfe sowie in 1873 von pseudoisochromatischen Tafeln zur Testung des Farbsinnes einführte [6,7,18].

Die Williams-Laterne wurde in den Vereinigten Staaten, Kanada und weiteren angelsächsischen Ländern verbreitet eingesetzt. Sie wurde beispielsweise in New South Wales in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts verwendet, während die Eisenbahnen in Victoria und Queensland die Edridge-Green-Laterne nutzten [5]. Die historische Bedeutung der Williams-Signallaterne mag daran ermessen werden, dass die US-Navy diese im Kriegsjahr 1943 noch testete und sie durchaus als weniger geeignet für ihre Zwecke befand [8].

Charles H. Williams wurde am 19. April 1850 in Boston als erster Sohn des Ophthalmologie-Professors an der Harvard Medical School Dr. Henry W. Williams (1821-1895) geboren. Nach seiner Approbation in 1874 hielt er sich zunächst mehrere Jahre zur Weiterbildung in der Augenheilkunde in Europa auf, bevor er in einer Gemeinschaftspraxis mit seinem Vater in Boston arbeitete. 1885 nahm er eine Stelle bei der „Chicago, Burlington and Quincy Railway“ als medizinischer Berater an.¹⁰ 1895 folgte eine Tätigkeit in der augenärztlichen Gemeinschaftspraxis mit seinem Bruder Dr. E. R. Williams in Milton. Dr. Williams starb im Alter von 68 Jahren an den Folgen einer Herzerkrankung am 9. Juli 1918 in Cambridge [4].

nicht trainierbar. Als weiterführende Literatur sei insbesondere verwiesen auf den Studienbericht der EASA von Dr. Constantin MIHAI, MD. Literature review regarding the colour vision requirements for aircrew. EASA_REP_RESEA_2019_1 [13].

⁹ Vgl. Bilder und Beschreibung einer bauartgleichen Williams-Signallaterne am australischen Cyril Kett Optometry Museum und Archiv am College of Optometry: museum.aco.org.au/archive/3601-dr-c-h-williams-lantern-for-testing-color-sense# [14].

¹⁰ Director of ist medical and health insurance interests.

Die Williams-Signallaterne

Die Dr. C. H. Williams' Signallaterne zum Testen des Farbsehens (von Peter Gray & Sons Inc., Hersteller, Boston, Massachusetts) verfügt über mehrere Hebel und Knöpfe zum Freilegen verschieden großer Farbglasskombinationen. Sie besteht aus einem metallischen Gehäuse, ähnlich dem einer Eisenbahn-laterne. Die Gesamthöhe beträgt rund 43 cm, die Seitenmaße je 15,5 cm. Der rechteckige Korpus ist 35 cm hoch, der sich anschließend verjüngt und in einer kuppelartigen Wölbung am oberen Ende mit Tragegriff endet. Illuminiert wird die Signallaterne mittels zwei Glühlampen; frühere Ausführungen wurden mit drei Glühbirnen und davor mit Petroleumlampen beleuchtet. Eine kleine Öffnung für die Stromkabelzuführung ist mittels Schieber teilweise oder ganz verschließbar.



Abb. 4 Williams Signallaterne, Rückansicht.

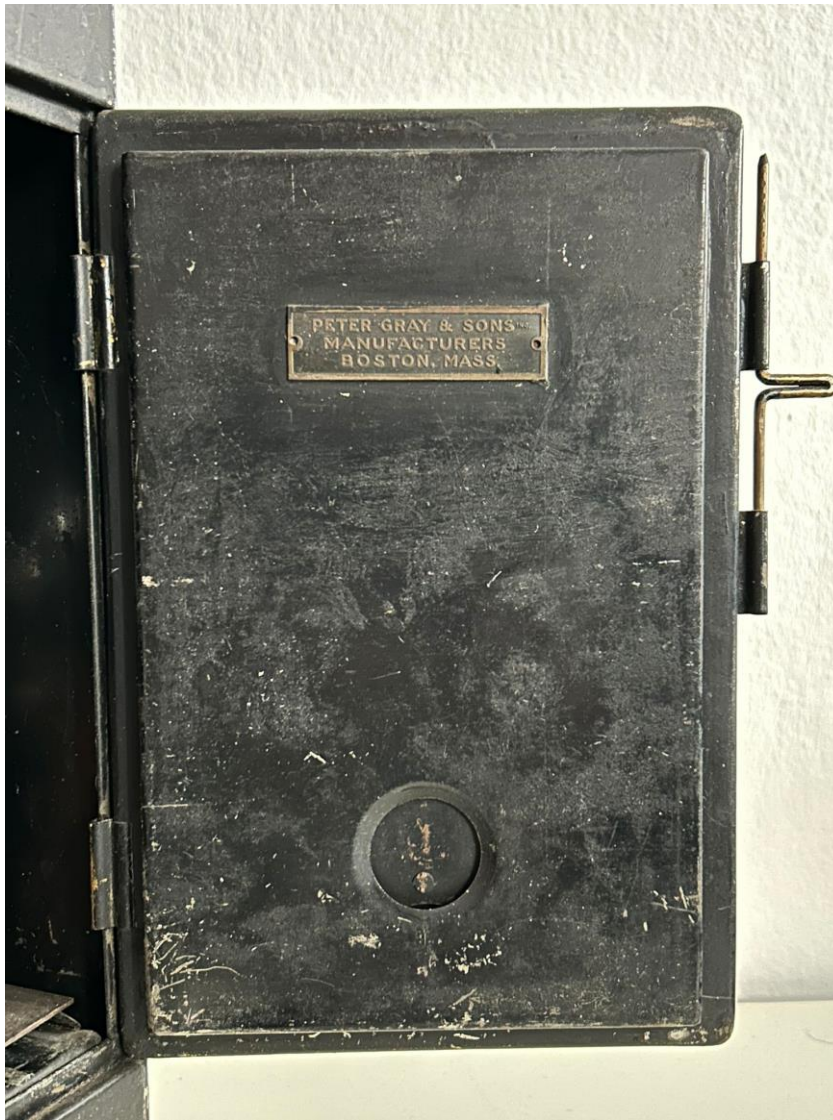


Abb. 5 Williams Signallaterne, Verschlussklappe mit kreisrundem Öffnungsschlitz, Innenansicht.

Die Glühbirnen befinden sich hinter einer Öffnung an der Rückseite. An der Vorderseite befindet sich eine rotierende Scheibe mit 18 Farbmustern aus Glas, darunter Rot, Grün, Blau, Lila und Klar. Eine dahinter gesetzte, zweite rotierende Scheibe stuft die angebotenen Bildmarken in drei verschiedenen Größen an (Normal-, Mittel-, Kleinformat). Durch Drehen beider Scheiben ist es möglich, zahlreiche Kombinationen vor der beleuchteten Öffnung zu platzieren. Durch den an der Front oben angebrachten Schieber-Hebel werden weitere 20 Blendenoptionen über 5 Schieberpositionen bedient. Es werden in den verschiedenen Positionen ein oder mehrere Farbproben unterschiedlicher Größe dem Probanden gleichzeitig angeboten.



Abb. 6 Williams Signallaterne, Innenansicht nach Entfernung der Leuchtmittel.

An der Front ist der Hersteller eingestempelt: „DR C H WILLIAMS/ LANTERN FOR TESTING COLOUR SENSE“ An der hinteren Türplatte innen ist ein Firmenschild angebracht: „PETER GRAY AND SONS MANUFACTURERS, BOSTON, MASS.“.

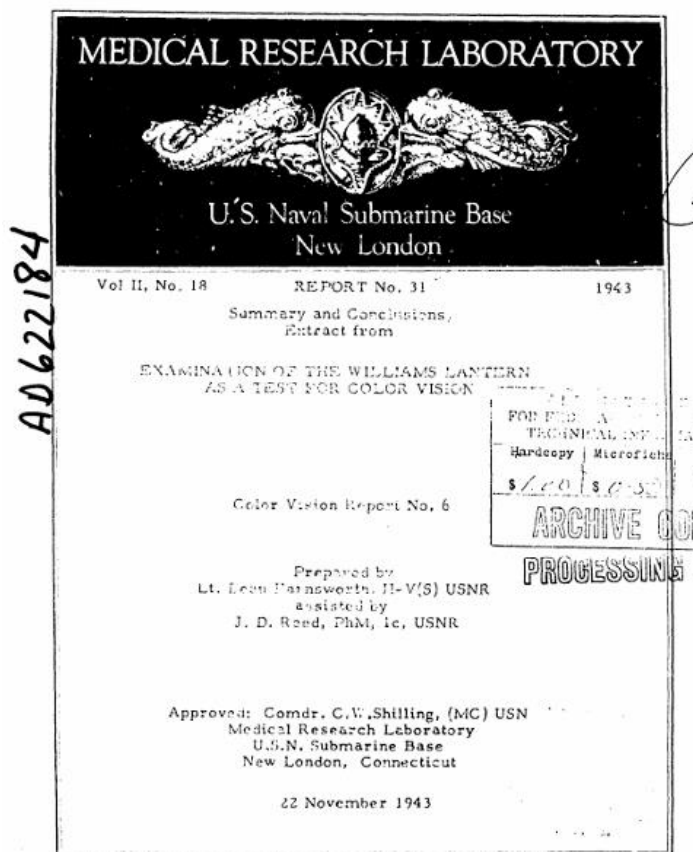


Abb. 7 Williams Signallaterne, Detailansicht Typenschild Front.

Die Testung der Williams Signallaterne durch die US-Mariene 1943

Im Weltkriegsjahr 1943 testete die US-Navy die Williams-Signallaterne und fand sie wenig geeignet für ihre Zwecke [8]. Sie wurde an 75 farbsicheren und 25 farbsehschwachen Personen getestet, wobei verschiedene Kombinationen von Blendenöffnungen, Anzahl der Lichtfilter und Helligkeitsstufen verwendet wurden. Die Gesamtzahl der Bewertungen betrug 12.600. Die Tests wurden sowohl in dunkler als auch in heller Umgebung durchgeführt. Farbsehschwächen der Probanden wurden Mithilfe von mehreren Standardtests für das Farbsehen zuvor ausgeschlossen (Pseudoisochromatische Tests, Dimmick-Anomaloskop, Royal Canadian Navy Lantern und Farnsworth Dichotomous Test B-20).

Die gewonnenen Ergebnisse waren allerdings schwer zu interpretieren. Farbsichere und moderat farbschwache Probanden gaben ähnliche Antworten. Die möglichen Interpretationen korrelierten schlecht mit den seinerzeit verwendeten Standardtests. Die Willimas-Signallaterne wurde demnach als unhandlich und als verwirrend im Gebrauch befunden.



Best Available Copy

Abb. 8 Williams Signallaterne, Testbericht des Navy Medical Research Lab New London
Aus dem Jahr 1943 [8].

Schlußbetrachtung

Die Williams-Signallaterne war über Jahrzehnte im Gebrauch, um auch Luftfahrer auf deren Farbtüchtigkeit hin zu testen. Erstaunlicherweise erlebte die Signallaterne mit der Implementierung der europäischen Luftfahreruntersuchungsrichtlinien eine Renaissance zu Beginn unseres Jahrhunderts. Gleichwohl erlauben geeignete Computerprogramme erlauben die Auswahl und Variation von Sättigung, Gesichtsfeldort, Winkelgröße, Darbietungszeit, Typ des Reizes, Farbton etc. und werden damit die Signallaternen zunehmend verdrängen [6, 7].

Literatur

- 1 - Barbour JL, Rodriguez-Carmona M (2012). Variability in normal and defective colour vision: Consequences for occupational environments. In: Colour design. Best J. (Ed.). Cambridge: Woodhead Publ. Lim. pp. 24-82.
- 2 - Barbur J L, Rodriguez-Carmona M (2016). Occupational colour vision needs with emphasis on aviation. AIC 2016 Interim Meeting, Color in Urban Life: Images, Objects and Spaces; Book of Abstracts, pp. 431-434.
- 3 - Bickerton TH (1896). Colour blindness and eyesight in the Mercantile Marine : a criticism of the new rules of the Board of Trade. Liverpool 1896. World Wide Web: <https://wellcomecollection.org/works/zj9uxjs5/items>.
- 4 - Boston Medical and Surgical Journal 1918; 178: 886.
- 5 - Dain, S et al. (2015): Farbsehen und die Eisenbahnen: Teil 1. Der Eisenbahn-LED-Laternentest. Optometry and Vision Science, Bd. 92, Nr. 2.
- 6 - Draeger J, Harsch V (2006): Entwicklung der Untersuchungsmethoden für das Farbsehen. S. 33-6. In: Draeger J. u. Harsch V. Die Bedeutung der optischen Signalgebung für die modernen Verkehrsarten. Rethra Verlag, Neubrandenburg.
- 7 - Draeger J, Harsch V (2008): Zur Geschichte der optischen Signalgebung im Verkehrswesen. Ophthalmologe. 2008 Apr;105(4):362-8.
- 8 - Farnsworth D, Reed, JD (1943). Naval Medical Research Lab New London CT.22. Nov. 1943. Examination oft he Williams Lantern as a Test for Colour Vision. Technical Report AD0622184. World Wide Web.
- 9 - Grützner P (1976). Untersuchungsmethoden des Farbsinns. In: Straub W. Die ophthalmologischen Untersuchungsmethoden. Enke-Verlag, Stuttgart, 1976. In: Draeger J, Harsch V 2006: 110.
- 10 - Heinsius E (1973). Die Farbsinnstörung und ihre Prüfung in der Praxis. Enke, Stuttgart 1973. Draeger J, Harsch V 2006: 111.
- 11 - Holmgren F (1877): Die Farbblindheit in ihren Beziehungen zu den Eisenbahnen und der Marine. Tafeln zur Bestimmung der Rot-Grün-Blindheit. Kassel 1877. In: Draeger J, Harsch V 2006: 114.
- 12 - Huddart J (1777): An account of persons who could not distinguish colours. Philosoph. Trans. Roy. Soc. Part Z: 260-5. London 1777. In: Draeger J, Harsch V 2006: 111.
- 13 - Mihai C (2019). Literature review regarding the colour vision requirements for aircrew. EASA_REP_RESEA_2019_1.
- 14 - C. Kett Optometry Museum and Archives, Australien. World Wide Web: museum.aco.org.au/archive/3601-dr-c-h-williams-lantern-for-testing-color-sense.
- 15 - National Research Council (US) Committee of Vision (1981). Procedures for Testing Colour Vision: Report of Working Group 41. Washington (DC): National Academic Press.
- 16 - Schiötz H (1925). Tonometry. Br J Ophthalmol. 1925 Apr.; 9 (4): 145-53.
- 17 - Stilling J (1880). Über das Sehen der Farbenblinden. Fischer, 1880/3.
- 18 - Snellen H. https://de.wikipedia.org/wiki/Herman_Snellen. Internetzugriff 20.12.2025 , <https://eye.hms.harvard.edu/henrywillardwilliams>.
- 19 - Privataarchiv Autor. Harsch V. Neubrandenburg.