

# Nachtzicht en schermen op de scheepsbrug

Defays Eliot

Thesis voorgedragen tot het behalen  
van de graad van Master in de Nautische Wetenschappen  
aan de Hogere Zeevaartschool

Promotor: Veerle Van Driessche  
Co-promotor: Tim Geerts  
Academiejaar 2024-2025

## Woord vooraf

Mijn thesis onderzoekt de efficiëntie van schermtechnologieën die worden gebruikt aan boord van koopvaardij schepen, meer bepaald hoe de nachtmodus van verschillende schermen invloed heeft op het nachtzicht.

Het idee voor deze thesis ontstond in september 2023, toen ik de gelegenheid kreeg om gedurende twee weken te varen met Sail Training for Students op het schip Saeftinghe. Sail Training for Students is een initiatief gestart door studenten van de Antwerp Maritime Academy met als doel deelnemers de kans te bieden om te leren zeilen.

Tijdens de reis waren we met twaalf studenten. We waren opgedeeld in drie groepen van vier personen. Het gebruikte wachtsysteem was drie uur varen, zes uur rust. Hierdoor wisselden de tijden van wacht continu waardoor we allemaal blootgesteld werden aan nachtelijke navigatie. Tijdens deze wachtsessies bevonden wij ons buiten en maakten we gebruik van twee schermen: één voor de navigatiekaarten en één voor windrichting en koers.

Opvallend was dat deze schermen waren uitgerust met een "nachtmodus", waarbij de kleuren beperkt werden tot zwart en rood. Hierbij is informatie weergegeven in rood en is de achtergrond zwart. Tijdens de nachtwachten vroeg ik mij af hoe effectief deze nachtmodus is, aangezien ik constateerde dat het "zwart" in werkelijkheid niet volledig zwart was maar nog altijd licht uitstraalde en daardoor invloed had op het nachtzicht van de gebruiker. Ik vroeg mij af in hoeverre de makers van deze dit effect in aanmerking hebben genomen bij de constructie. In deze thesis wil ik onderzoeken of verschillende type schermen (andere constructies dan die op het zeilschip) meetbare verschillen vertonen op behoud van nachtzicht.

Ik wil graag mijn promotor Veerle Van Driessche bedanken voor haar begeleiding, vooral nadat ik een tijd zonder promotor kwam te zitten. Haar ondersteuning heeft mijn onderzoek mogelijk gemaakt.

Ook wil ik graag mijn co-promotor Tim Geerts bedanken om mij te hebben geholpen met de technische aspecten en materialen die in de proef van deze thesis worden gebruikt.

## Samenvatting

Deze thesis onderzoekt in hoeverre verschillende schermtechnologieën (LCD, OLED en E Ink) een impact hebben op de donkeradaptatie van het menselijk oog, met specifieke aandacht voor de context van maritieme wachtdiensten. In een volledig verduisterde simulatieomgeving werd een experiment uitgevoerd waarin de tijd gemeten werd die deelnemers nodig hadden om na schermblootstelling opnieuw hun nachtzicht te bereiken.

De literatuurstudie benadrukt het belang van donkeradaptatie voor situational awareness aan boord, evenals de verstorende invloed van blauw licht afkomstig van beeldschermen. E Ink-schermen, die passief werken en werden verlicht met een rode externe lichtbron, werden vergeleken met conventionele LCD- en OLED-schermen, die zelf licht uitzenden.

De resultaten toonden aan dat E Ink-schermen de minste invloed hadden op de donkeradaptatie: zes van de zeventien deelnemers bereikten onmiddellijk hun baselinewaarde. LCD-schermen bleken het meest storend, vermoedelijk vanwege hun achtergrondverlichting, ondanks vergelijkbare luxwaarden met OLED. OLED-schermen presteerden tussentijds.

De studie benadrukt het potentieel van E Ink-technologie en ook de beperkingen van LCD-schermen voor kritieke toepassingen, zoals het gebruik van ECDIS, waarbij nachtelijke scherminteractie onvermijdelijk is. Daarbij wordt bijzondere waarde gehecht aan een kritische beschouwing van de beeldschermen die momenteel aan boord van moderne koopvaardij schepen worden toegepast

## Abstract

This thesis investigates the extent to which different display technologies (LCD, OLED, and E Ink) affect the dark adaptation of the human eye, with specific attention to the context of maritime watchkeeping. In a fully darkened simulation environment, an experiment was conducted in which the time required for participants to regain their night vision after screen exposure was measured.

The literature review highlights the importance of dark adaptation for situational awareness on board, as well as the disruptive influence of blue light emitted by screens. E Ink displays, which operate passively and were illuminated with an external red light source, were compared to conventional LCD and OLED displays, which emit light themselves.

The results showed that E Ink displays had the least impact on dark adaptation: six of the seventeen participants immediately returned to their baseline values. LCD screens proved to be the most disruptive, presumably due to their backlighting, despite showing comparable lux values to OLED. OLED displays performed intermediately.

The study highlights the potential of E Ink technology, as well as the limitations of LCD screens, for critical applications such as the use of ECDIS, where nighttime screen interaction is unavoidable. Importance is given to a critical evaluation of the displays currently used on board modern merchant vessels.

## Inhoudstafel

|                                                              |      |
|--------------------------------------------------------------|------|
| Woord vooraf .....                                           | ii   |
| Samenvatting .....                                           | iii  |
| Abstract .....                                               | iv   |
| Lijst van figuren .....                                      | x    |
| Lijst van tabellen .....                                     | xii  |
| Verklarende woordenlijst .....                               | xiii |
| 1 Inleiding .....                                            | 1    |
| 2 Nachtzicht en visuele fysiologie .....                     | 2    |
| 2.1 Biologie van het oog .....                               | 2    |
| 2.2 Donkeradaptatie en lichtadaptatie .....                  | 4    |
| 3 Factoren die het nachtzicht beïnvloeden .....              | 5    |
| 3.1 Negatieve effecten op het (nacht)zicht .....             | 5    |
| 3.1.1 Nachtblindheid door oogafwijkingen .....               | 5    |
| 3.1.2 Slaapproblemen of slaaptekort .....                    | 7    |
| 3.1.3 Oogoperaties .....                                     | 8    |
| 3.1.4 Medicijnen .....                                       | 8    |
| 3.1.5 Alcohol en drugs .....                                 | 10   |
| 3.1.6 Vermoeidheid van het oog .....                         | 12   |
| 3.1.7 Blauw licht .....                                      | 13   |
| 3.2 Positieve effecten op het (nacht)zicht .....             | 15   |
| 3.2.1 Rood licht .....                                       | 15   |
| 3.2.2 Comfortmodus, nachtmodus en contrastverhoudingen ..... | 16   |
| 4 Operationele context aan boord .....                       | 20   |

|         |                                      |    |
|---------|--------------------------------------|----|
| 4.1     | Wachthouden .....                    | 20 |
| 4.2     | Observeren .....                     | 22 |
| 4.3     | Ooglap .....                         | 24 |
| 4.4     | Aantrekking door felle kleuren ..... | 25 |
| 5       | Schermen .....                       | 27 |
| 5.1     | Werking pixels .....                 | 27 |
| 5.2     | CRT .....                            | 29 |
| 5.2.1   | Werking .....                        | 29 |
| 5.2.2   | Voordelen .....                      | 30 |
| 5.2.3   | Nadelen .....                        | 31 |
| 5.3     | Plasma .....                         | 31 |
| 5.3.1   | Werking .....                        | 32 |
| 5.3.2   | Voordelen .....                      | 32 |
| 5.3.3   | Nadelen .....                        | 33 |
| 5.4     | LCD .....                            | 33 |
| 5.4.1   | Standaard LCD .....                  | 33 |
| 5.4.1.1 | Werking .....                        | 34 |
| 5.4.1.2 | Voordelen .....                      | 35 |
| 5.4.1.3 | Nadelen .....                        | 35 |
| 5.4.2   | LED LCD .....                        | 35 |
| 5.4.2.1 | Werking .....                        | 35 |
| 5.4.2.2 | Voordelen .....                      | 37 |
| 5.4.2.3 | Nadelen .....                        | 37 |
| 5.5     | OLED .....                           | 38 |
| 5.5.1   | Werking .....                        | 38 |

|         |                                         |    |
|---------|-----------------------------------------|----|
| 5.5.2   | Voordelen .....                         | 39 |
| 5.5.3   | Nadelen .....                           | 40 |
| 5.6     | Electrophoretic Displays.....           | 40 |
| 5.6.1   | Werking .....                           | 41 |
| 5.6.2   | Voordelen .....                         | 41 |
| 5.6.3   | Nadelen .....                           | 43 |
| 5.7     | ECDIS .....                             | 44 |
| 5.7.1   | ECDIS vereisten .....                   | 45 |
| 5.7.2   | ECDIS vandaag .....                     | 47 |
| 6       | Methodologie.....                       | 49 |
| 6.1     | Doel van het experiment.....            | 49 |
| 6.2     | Hypothese .....                         | 49 |
| 6.3     | Benodigde materialen.....               | 50 |
| 6.3.1   | Verschillende schermtechnologieën ..... | 50 |
| 6.3.1.1 | LCD.....                                | 50 |
| 6.3.1.2 | OLED .....                              | 51 |
| 6.3.1.3 | E Ink .....                             | 52 |
| 6.3.2   | Raspberry Pi.....                       | 52 |
| 6.3.3   | Testomgeving .....                      | 53 |
| 6.3.4   | Luxmeter.....                           | 53 |
| 6.3.5   | Contrastgevoeligheid testkaart.....     | 56 |
| 6.3.6   | Tijdregistratie .....                   | 58 |
| 6.3.7   | Registratie van waarnemingen .....      | 58 |
| 6.3.8   | Rood licht.....                         | 59 |
| 6.3.9   | Tape .....                              | 59 |

|        |                                             |    |
|--------|---------------------------------------------|----|
| 6.3.10 | Teksten.....                                | 59 |
| 6.3.11 | Formulier / vragenlijst .....               | 60 |
| 6.4    | Deelnemers .....                            | 60 |
| 6.4.1  | Inclusiecriteria .....                      | 60 |
| 6.4.2  | Exclusiecriteria .....                      | 61 |
| 6.4.3  | Verwerving van de deelnemers .....          | 61 |
| 6.5    | Vorbereiding van de proefruimte .....       | 62 |
| 6.6    | Kalibratie van de schermen .....            | 63 |
| 6.7    | Pilot-testen .....                          | 63 |
| 6.8    | Uitvoering experiment .....                 | 63 |
| 6.8.1  | Instructies en voorzorgsmaatregelen.....    | 64 |
| 6.8.2  | Baseline meting.....                        | 64 |
| 6.8.3  | Blootstelling aan schermen .....            | 65 |
| 6.8.4  | Nachtzichtmeting na blootstelling .....     | 65 |
| 6.8.5  | Herhaling voor elk schermtype.....          | 66 |
| 6.8.6  | Opmerkingen over de proeven .....           | 66 |
| 7      | Resultaten .....                            | 68 |
| 7.1    | Friedman test .....                         | 70 |
| 8      | Discussie.....                              | 74 |
| 8.1    | Interpretatie van de resultaten .....       | 74 |
| 8.2    | Verklaring van opvallende bevindingen ..... | 75 |
| 8.3    | Beperkingen van dit onderzoek.....          | 75 |
| 8.4    | Suggesties voor vervolgonderzoek .....      | 77 |
| 9      | Conclusie .....                             | 78 |

|      |                    |     |
|------|--------------------|-----|
| 10   | Bibliografie ..... | 80  |
| 11   | Annex .....        | 94  |
| 11.1 | Annex 1 .....      | 94  |
| 11.2 | Annex 2 .....      | 97  |
| 11.3 | Annex 3 .....      | 99  |
| 11.4 | Annex 4 .....      | 101 |
| 11.5 | Annex 5 .....      | 104 |
| 11.6 | Annex 6 .....      | 105 |
| 11.7 | Annex 7 .....      | 106 |
| 11.8 | Annex 8 .....      | 107 |
| 11.9 | Annex 9 .....      | 108 |

## Lijst van figuren

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figuur 1 Structuur menselijk oog.....                                                   | 2  |
| Figuur 2 Verschillende types kegels .....                                               | 3  |
| Figuur 3 Pelli-Robson Contrast Sensitivity Chart .....                                  | 7  |
| Figuur 4 Kleuren en hun golflengte.....                                                 | 14 |
| Figuur 5 Papieren kaart onder rood licht .....                                          | 16 |
| Figuur 6 Contrastverhoudingen .....                                                     | 18 |
| Figuur 7 Overlevingskans in functie van tijd .....                                      | 23 |
| Figuur 8 Prestatie Index.....                                                           | 23 |
| Figuur 9 LCD pixel met RGB subpixels .....                                              | 27 |
| Figuur 10 Kleurmenging: subtractief en additief .....                                   | 28 |
| Figuur 11 Cathode Ray Tube .....                                                        | 30 |
| Figuur 12 Plasma display .....                                                          | 32 |
| Figuur 13 De constructie van een LCD .....                                              | 34 |
| Figuur 14 LED LCD .....                                                                 | 36 |
| Figuur 15 Full array LED backlight.....                                                 | 37 |
| Figuur 16 Blooming effect op LED LCD scherm.....                                        | 38 |
| Figuur 17 OLED display.....                                                             | 38 |
| Figuur 18 Navigatiebrug 's nachts met LCD-schermen.....                                 | 40 |
| Figuur 19 Een iPhone 15 Pro Max met burn-in .....                                       | 40 |
| Figuur 20 E Ink Carta .....                                                             | 41 |
| Figuur 21 E Ink in het donker .....                                                     | 42 |
| Figuur 22 MAPTATTOO .....                                                               | 43 |
| Figuur 23 ECDIS met AIS.....                                                            | 45 |
| Figuur 24 ECDIS standaard display dag (links) and standaard display nacht (rechts)..... | 46 |
| Figuur 25 U.S. Industrial Display Markt.....                                            | 47 |
| Figuur 26 2015 MacBook Pro.....                                                         | 50 |
| Figuur 27 OLED-scherm met Raspberry Pi .....                                            | 51 |
| Figuur 28 E-reader onder rood licht.....                                                | 52 |

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| Figuur 29 Lichtmeter .....                       | 54 |
| Figuur 30 Vergelijkingen Luxmeters .....         | 55 |
| Figuur 31 Lichtmeter app en Apparaat .....       | 56 |
| Figuur 32 Oogtestkaart.....                      | 57 |
| Figuur 34 Altair, Bellatrix, Capella .....       | 62 |
| Figuur 35 Tijd per persoon .....                 | 70 |
| Figuur 36 Box plot, Friedman test.....           | 72 |
| Figuur 37 Box plot, gemiddelde totaal tijd ..... | 73 |

## Lijst van tabellen

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1 Kenmerken van drugs .....                         | 11 |
| Tabel 2 Voorbeelden van kleuren op het RGB spectrum ..... | 29 |
| Tabel 3 Eenheden van licht .....                          | 54 |
| Tabel 4 Contrast Niveaus .....                            | 57 |
| Tabel 5 Testresultaten.....                               | 69 |
| Tabel 6 Data Friedman.....                                | 71 |

## Verklarende woordenlijst

|                                    |                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Accommodatie</i>                | Verwerking van informatie.                                                                                                                                                          |
| <i>Acuïteit (visuele acuïteit)</i> | De scherpte van het gezichtsvermogen, doorgaans gemeten met een oogkaart.                                                                                                           |
| <i>LMD</i>                         | Leeftijdsgebonden Maculadegeneratie. Een oogziekte die de macula aantast, het centrale deel van het netvlies dat verantwoordelijk is voor scherp, centraal zicht.                   |
| <i>Black-outgordijn</i>            | Verduisteringsgordijn van dichte stof dat vrijwel alle lichtinval blokkeert.                                                                                                        |
| <i>Blooming</i>                    | Wanneer er licht lekt van lichtgevende pixels naar donkere pixels. Hierdoor is een lichte waas te zien.                                                                             |
| <i>Candela (cd)</i>                | SI-eenheid van lichtsterkte, de hoeveelheid licht die in een bepaalde richting wordt uitgestraald.                                                                                  |
| <i>CCTV</i>                        | Closed Circuit Television. Systeem waarbij camera's beelden vastleggen en deze beelden via een gesloten circuit, dus niet openbaar, naar een monitor of recorder sturen.            |
| <i>Contrastgevoeligheid</i>        | Het vermogen om subtiele helderheidsverschillen tussen                                                                                                                              |
| <i>CVS</i>                         | Computer Vision Syndrome. Een groep oog- en zich gerelateerde problemen die het gevolg zijn van langdurig gebruik van digitale schermen een object en de achtergrond waar te nemen. |
| <i>Dagmodus</i>                    | Weergave-instelling op digitale apparaten waarbij de achtergrond licht is en de tekst en iconen donker.                                                                             |
| <i>ECDIS-tafel</i>                 | Een fysieke navigatietafel waarin een touchscreen ECDIS systeem geïntegreerd is                                                                                                     |
| <i>E Ink</i>                       | Scherntechnologie die gebruikmaakt van elektronische inkt en geen eigen licht uitstraalt.                                                                                           |
| <i>Fotopigment</i>                 | Lichtgevoelig pigment in fotoreceptoren, zoals rodopsine.                                                                                                                           |
| <i>Fotopisch zicht</i>             | Zicht bij hoge lichtniveaus waarbij kegels actief zijn.                                                                                                                             |

|                            |                                                                                                                                                                             |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Fysiologie</i>          | De tak van de biologie die zich bezighoudt met de studie van de normale werking en processen van levende organismen, inclusief de functies van organen, weefsels en cellen. |
| <i>Glare (verblinding)</i> | Visuele hinder door fel licht of reflecties, waardoor contrast en zichtbaarheid afnemen.                                                                                    |
| <i>Hersteltijd</i>         | In deze thesis wordt dit gedefinieerd als de benodigde tijd om het nachtzicht te herstellen na blootstelling aan licht.                                                     |
| <i>Kegels</i>              | Fotoreceptorcellen in het netvlies die gevoelig zijn voor kleur en detail bij voldoende licht.                                                                              |
| <i>Kijkhoek</i>            | In de context van beeldschermen, bepaalt de kijkhoek de maximale hoek waaronder je naar het scherm kunt kijken zonder dat de beeldkwaliteit significant achteruitgaat.      |
| <i>LCD</i>                 | Liquid Crystal Display. Schermtechnologie waarbij vloeibare kristallen het doorgelaten licht van een achtergrondverlichting moduleren.                                      |
| <i>Lumen</i>               | De hoeveelheid licht die een oppervlak uitstraalt of reflecteert per eenheid van oppervlakte in een bepaalde richting.                                                      |
| <i>Lux</i>                 | Eenheid van verlichtingssterkte, gedefinieerd als lumen per vierkante meter.                                                                                                |
| <i>Mesopisch zicht</i>     | Tussenfase van zicht bij schemering, waarbij zowel kegels als staven actief zijn.                                                                                           |
| <i>Miose</i>               | Pupilvernauwing, vaak als reactie op fel licht.                                                                                                                             |
| <i>Mydriase</i>            | Pupilverwijding, vaak als reactie op duisternis.                                                                                                                            |
| <i>Nachtmodus</i>          | Weergave-instelling op digitale apparaten waarbij de achtergrond donker is en de tekst en iconen licht.                                                                     |
| <i>OLED</i>                | Organic Light-Emitting Diode. Schermtechnologie waarbij elke pixel zelf licht produceert door organische halfgeleiders.                                                     |

|                              |                                                                                                                                                   |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Perifere visie</i>        | Het zicht buiten het centrale gezichtsveld, voornamelijk waargenomen door staven.                                                                 |
| <i>Pterygium</i>             | goedaardige, driehoekige groei van het bindvlies (conjunctiva) over het hoornvlies van het oog.                                                   |
| <i>Pupilreflex</i>           | Automatische aanpassing van de pupilgrootte aan de hoeveelheid invallend licht.                                                                   |
| <i>Prevalentie</i>           | Frequentie van een gebeurtenis                                                                                                                    |
| <i>Retina</i>                | Het netvlies; de lichtgevoelige laag achter in het oog.                                                                                           |
| <i>Rodopsine</i>             | Lichtgevoelig fotopigment in de staven, essentieel voor zien bij weinig licht.                                                                    |
| <i>Saccade</i>               | Snelle, korte oogbeweging om het blikveld te verleggen.                                                                                           |
| <i>Scotopisch zicht</i>      | Zien bij zeer lage lichtniveaus waarbij uitsluitend staven actief zijn.                                                                           |
| <i>Staven</i>                | Fotoreceptorcellen in het netvlies die gespecialiseerd zijn in het waarnemen van lichtintensiteit bij lage lichtniveaus, zonder kleuronderscheid. |
| <i>Vestibulair systeem</i>   | Het zintuigstelsel in het binnenoor dat verantwoordelijk is voor het waarnemen van beweging, evenwicht en ruimtelijke oriëntatie.                 |
| <i>Visuele discriminatie</i> | Het vermogen om verschillen en overeenkomsten tussen visuele stimuli, zoals afbeeldingen, letters of woorden, te herkennen.                       |



## 1 Inleiding

In de hedendaagse maritieme sector is het gebruik van digitale schermen aan boord van schepen niet meer weg te denken. Navigatiesystemen zoals de ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) en de RADAR (Radio Detection And Ranging) vormen een essentieel hulpmiddel voor veilige en efficiënte vaart. Tegelijkertijd brengen deze schermen visuele uitdagingen met zich mee, in het bijzonder tijdens nachtelijke wachtdiensten. Waar vroeger papieren kaarten onder rood licht werden geraadpleegd, worden moderne wachtlopers nu blootgesteld aan schermlicht dat mogelijk een negatieve invloed heeft op het nachtzicht, en daarmee op de veiligheid aan boord.

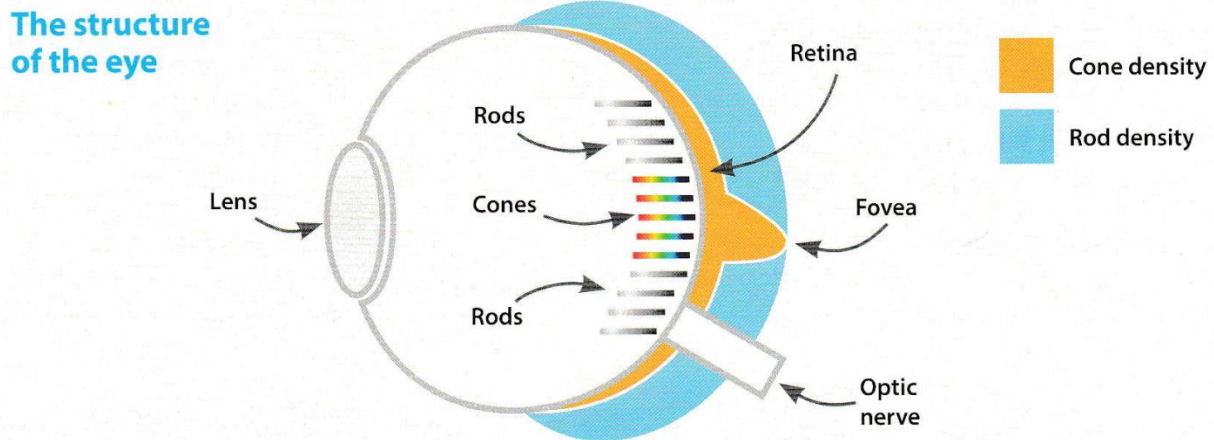
Donkeradaptatie — het proces waarbij het oog zich aanpast aan duisternis — is cruciaal voor de situational awareness van de Officer of the Watch (OOW). Aangezien maritieme schermen doorgaans licht uitstralen rijst de vraag in welke mate verschillende schermtechnologieën elk onafhankelijk bijdragen aan visuele belasting.

Deze thesis onderzoekt de impact van drie verschillende schermtypes — LCD, OLED en E Ink — op het herstel van het nachtzicht na schermblootstelling. Via een experimentele opstelling in volledig verduisterde proefruimtes werd de donkeradaptatietijd van deelnemers gemeten na het lezen van tekst op elk type scherm. De centrale onderzoeksvraag luidt: in welke mate beïnvloeden verschillende schermtechnologieën het herstel van donkeradaptatie na schermblootstelling, en welke implicaties heeft dit voor de veiligheid tijdens nachtelijke wachtdiensten?

De relevantie van dit onderzoek ligt in de groeiende afhankelijkheid van technologie op de scheepsbrug, waarbij visueel comfort en veiligheid hand in hand moeten gaan. Door inzichten te bieden in de fysiologische impact van schermlicht op het menselijk oog, wil deze studie bijdragen aan een meer verantwoorde toepassing van schermtechnologie in de maritieme praktijk.

## 2 Nachtzicht en visuele fysiologie

### 2.1 Biologie van het oog



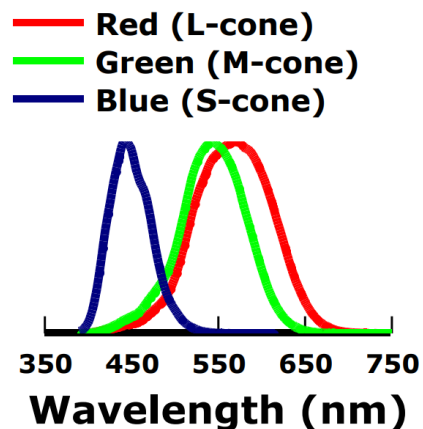
Figuur 1 Structuur menselijk oog  
Bron: Abdul Khalique & Alan Bury

Het oog is een complex orgaan dat ons in staat stelt de wereld visueel waar te nemen. Voor een adequate werking is het oog afhankelijk van een lichtbron. Het licht passeert de ooglenzen en valt op de achterkant van het oog, op de fotoreceptorcellen die zich in het netvlies bevinden. Deze fotoreceptorcellen (ook fotoreceptoren genoemd) sturen signalen van het waargenomen licht naar de hersenen. De hersenen transformeren deze signalen vervolgens in een visuele waarneming. Het invallende licht wordt door de bolvormige structuur van het oog zodanig gebroken dat het beeld omgekeerd op het netvlies wordt geprojecteerd: licht afkomstig van de bovenzijde van het gezichtsveld bereikt de onderzijde van het netvlies, terwijl licht afkomstig van de onderzijde van het gezichtsveld de bovenzijde van het netvlies raakt. De hersenen bepalen via complexe zenuwimpuls, met hulp van het vestibulair systeem in de oren, wat de juiste oriëntatie is. (Rogers-Ramachandran & Ramachandran, 2008).

De fotoreceptoren kunnen worden onderverdeeld in twee types: kegels ("cones") en staven ("rods"). Kegels zijn verantwoordelijk voor de waarneming van kleuren, details en het zicht op lange afstand. Dit wordt fotopisch zicht genoemd, dat beschikbaar is in sterk verlichte situaties

met een lichtsterktebereik van  $10^{-10}$  tot  $10^8$  cd/m<sup>2</sup> (zie voetnoot<sup>1</sup>). In onze ogen zijn er drie typen kegels, elk gespecialiseerd in het detecteren van blauwe, groene en rode kleuren. (Hicklin, 2016)

Ongeveer 10% van deze fotoreceptoren is gevoelig voor blauw licht, circa 30% voor groen licht en de meerderheid, namelijk 60%, is gevoelig voor rood licht (Diamond, 2025). De kleur blauw heeft de kortste golflengte (meer uitleg in het deel Blauw Licht), daarom zijn de S-kegels (*S* = *short*) verantwoordelijk voor deze kleur. Hetzelfde geldt voor de M-kegels (*medium*, gevoelig voor groen licht) en de L-kegels (*long*, gevoelig voor rood licht). Samen maken deze drie typen fotoreceptoren het mogelijk dat onze hersenen het volledige kleurenspectrum waarnemen. (Purves et al., 2001)



Figuur 2 Verschillende types kegels  
Bron: Maritime and Coastguard Agency

Scotopisch zicht treedt op in het donker (onder 0,003 cd/m<sup>2</sup>, tussen  $10^{-3}$  en  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup>) en wordt geregeld door de staven. Deze bieden het meeste detail en contrast, maar kunnen geen kleuren onderscheiden. Tussen fotopisch en scotopisch zicht bevindt zich mesopisch zicht (tussen 0,003 en 3 cd/m<sup>2</sup>), waarin kegels en staven gezamenlijk functioneren. (Carter & Barbur, 2015)

---

<sup>1</sup> cd/m<sup>2</sup> staat voor candela per vierkante meter. Candela staat voor het aantal lumen in uitgestraald licht. Een lumen is de hoeveelheid uitgestraald licht per seconde. Candela is dus een licht intensiteit.

## 2.2 Donkeradaptatie en lichtadaptatie

In het donker schakelt het menselijk oog geleidelijk over van het gebruik van kegels naar het gebruik van staven. De overgang van kegels naar staven, ook wel gekend als donkeradaptatie, vindt plaats door de vrijgave van de lichtgevoelige fotoreceptor rodopsine. Rodopsine bevindt zich in de staven (Satheesh, 2018).

De adaptatie aan nachtzicht is een complex tweefasig proces. In de eerste fase passen de kegels zich snel aan, binnen de 3 tot 4 minuten. In de tweede fase treedt de adaptatie van de staven in, waarbij het in totaal 20 tot 30 minuten duurt om bij een lichtintensiteit van  $10^{-5}$  cd/m<sup>2</sup> volledig nachtzicht te bereiken. Bij adaptatie van de staven worden geleidelijk subtielere contrastverschillen waargenomen. De adaptatiesnelheid aan nachtzicht is afhankelijk van de voorafgaande lichtintensiteit en de duur van blootstelling. Indien een persoon voorafgaand is blootgesteld aan fel licht of gedurende langere tijd in een goed verlichte omgeving verbleef, zal het gemiddeld langer duren voordat zijn nachtzicht wordt bereikt. (Hecht et al., 1937) (Bury & Khalique, 2023). Wanneer het oog zich aanpast aan duisternis, verwijden de pupillen zich ook. Dit gebeurt om zoveel mogelijk licht binnen te laten om de fotoreceptoren (staven) te stimuleren. (Dragoi, 2020)

Wanneer licht het oog binnendringt, neemt de hoeveelheid rodopsine af, wat resulteert in een verminderd nachtzicht (Satheesh, 2018). Het duurt slechts 5 minuten om alle rodopsine te elimineren. Met andere woorden, na slechts vijf minuten blootstelling aan storend licht is er opnieuw een aanpassingsperiode van 20 tot 30 minuten vereist om het volledige nachtzicht te herstellen (Bury & Khalique, 2023). Wanneer licht het oog bereikt is er ook sprake van pupilvernauwing. Dit is om het inkomend licht te minimaliseren om de fotoreceptoren te beschermen tegen felle lichten. (Dragoi, 2020)

## 3 Factoren die het nachtzicht beïnvloeden

### 3.1 Negatieve effecten op het (nacht)zicht

#### 3.1.1 Nachtblindheid door oogafwijkingen

Nachtblindheid, of nyctalopie, is een aandoening waarbij het zicht in donkere of slecht verlichte omgevingen aanzienlijk verminderd is, terwijl het zicht bij daglicht normaal kan zijn. Dit komt doordat de staven in het netvlies niet goed functioneren (Oogfonds, n.d.-a).

Er zijn verschillende oorzaken voor nachtblindheid. De meest voorkomende (en ook erfelijke) is retinitis pigmentosa, een groep genetische aandoeningen waarbij de staven en kegels in het netvlies geleidelijk afsterven. Deze aandoening komt voor bij ongeveer 1 op de 3.500 mensen wereldwijd (ClevelandClinic, 2022). Vitamine A is essentieel voor de werking van de staven. Een ernstig tekort kan de aanmaak van het lichtgevoelige pigment in de staven verstoren, wat leidt tot nachtblindheid. Hoewel zeldzaam in ontwikkelde landen, kan dit voorkomen bij ernstige ondervoeding of darmziekten waardoor voedingsstoffen slecht opgenomen worden. (Oogfonds, n.d.-a)

Ook aandoeningen zoals staar (troebele ooglens) en glaucoom (verhoogde oogdruk) kunnen nachtblindheid veroorzaken. Staar (in het Engels gekend als cataract) is een leeftijdsgebonden oogaandoening die doorgaans begint te ontwikkelen tussen de leeftijd van 40 en 50 jaar. De aandoening wordt veroorzaakt door een degeneratie van de eiwitten in de normaal heldere ooglens. Naarmate deze eiwitten afbreken, klonteren ze samen tot troebele structuren die de doorgang van licht door de lens naar het netvlies belemmeren. Door het vertroebelen van de ooglens veroorzaken cataracten een algemene vermindering van de gezichtsscherpte onder vrijwel alle lichtomstandigheden. Dit effect is bijzonder hinderlijk in omgevingen met weinig licht, aangezien patiënten met cataract vaak aanzienlijke moeilijkheden ondervinden bij het zien in schemerige of donkere situaties. In ernstige gevallen kan dit resulteren in een vrijwel volledig onvermogen om visuele details waar te nemen in duistere omstandigheden. (BREyePhysicians, 2023)

Glaucoom tast het gezichtsvermogen aan door progressieve schade die wordt veroorzaakt aan de oogzenuw. De definitieve oorzaak van glaucoom is onzeker, maar het komt het meest voor bij patiënten met verhoogde oogdruk als gevolg van een ophoping van vocht dat niet normaal kan worden afgevoerd. Het kan ook veroorzaakt worden door te hoge of te lage bloeddruk, bij een dun hoornvlies of bij hart- en/of vaatziekten. De symptomen van gezichtsuitval ten gevolge van glaucoom manifesteren zich op uiteenlopende wijze en verschillen per individu. In illustratieve voorstellingen wordt de uitval vaak gesymboliseerd door een zwarte ring of door zwarte vlekken; in de klinische werkelijkheid komt dit beeld echter zelden voor. Een aanzienlijk deel van de patiënten rapporteert wazige vlekken binnen het gezichtsveld, terwijl bij anderen specifieke onderdelen of details binnen het getroffen gebied ontbreken. Daarnaast beschrijven sommige patiënten hun visuele waarneming als een wazige tunnel. Opmerkelijk is dat een aanzienlijk deel van de personen met glaucoom in het geheel geen klachten ervaart. (Oogfonds, n.d.-b)

Een studie uitgevoerd door het *Centre Hospitalier National d'Ophtalmologie* in Frankrijk rapporteerde dat moeilijkheden met zien in het donker tot de meest voorkomende klachten van glaucoompatiënten behoren. Het perifere gezichtsveld wordt ook aangetast door glaucoom. Deze beperkingen hebben duidelijke gevolgen voor het dagelijks functioneren, waaronder autorijden en lezen in omgevingen met weinig licht. Daarnaast werd een hoge prevalentie van bijkomende symptomen vastgesteld, waaronder verminderde helderheid van het gezichtsveld en moeite met scherp te zien. (Nordmann et al., 2003)

Vroege symptomen van staar en glaucoom kunnen worden gedetecteerd aan de hand van contrastgevoeligheidstesten. Hiervoor wordt doorgaans een contrastkaart gebruikt, waarvan de "Pelli-Robson contrast sensitivity chart" de meest gebruikte is (zie onderstaande figuur). Een verminderde waarneming van laag contrast kan wijzen op het ontstaan van deze oogandoeningen doordat ze gelinkt worden aan het afsterven van de kegels en staven. (Precision Vision, n.d.). Contrastgevoeligheid vormt een bijzonder belangrijke parameter binnen de beoordeling van de visuele functie, vooral in omstandigheden waarin het contrast tussen objecten en hun achtergrond verminderd is, zoals bij schemerlicht, mist of verblinding door tegenlicht (Chu et al., 2011).



Figuur 3 Pelli-Robson Contrast Sensitivity Chart  
Bron: Precision Vision

### 3.1.2 Slaapproblemen of slaaptekort

Visuele klachten die ontstaan door een gebrek aan slaap zijn doorgaans gemakkelijk te herkennen, maar worden in veel gevallen genegeerd of als onschuldig beschouwd. Toch kunnen deze symptomen het dagelijks functioneren aanzienlijk verstoren. Mensen die te weinig slapen, ervaren vaak droge of jeukende ogen, roodheid, irritatie en wazig of dubbel zicht. Daarnaast kan slaaptekort leiden tot een verhoogde gevoeligheid voor licht, een onaangenaam gevoel of lichte pijn in en rond de ogen, en een tragere pupilreactie bij veranderingen in lichtomstandigheden. Ook komen spontane spiertrekkingen van de oogleden regelmatig voor, net als overmatige traanvorming en verminderd zicht in het donker. Slaaptekort beïnvloedt niet alleen de helderheid van het zicht, maar tast ook de algemene gezondheid van de ogen aan. Het verstoort de samenstelling en stabiliteit van de traanfilm (waterlaag op het oog), wat essentieel is voor een scherp en comfortabel gezichtsvermogen. Een verstoorde traanfilm kan leiden tot klachten als droogheid, irritatie en een verhoogde gevoeligheid voor licht. Hierdoor wordt ook het herstelvermogen van de ogen na dagelijkse visuele belasting verminderd. (Tollsen, 2024)

Om een betere slaap te bekomen bestaan zogenoemde blauwlichtfilterbrillen. Deze brillen zijn ontworpen om te voorkomen dat blauw licht van digitale schermen de ogen bereikt tijdens de

avonduren, wanneer men gewoonlijk gaat slapen (meer uitleg bij “3.1.7 Blauw licht”). Het dragen van amberkleurige lenzen, die blauw licht filteren, gedurende drie uur voorafgaand aan het slapengaan kan niet alleen de slaapkwaliteit verbeteren, maar kan tevens bijdragen aan een positievere stemming en meer gevoelens van vreugde de daaropvolgende dag (Kimberly & James R., 2009)

### 3.1.3 Oogoperaties

Oogoperaties worden wereldwijd gebruikt om refractiefouten (onvermogen om scherp te zien) te corrigeren. Hoewel de resultaten over het algemeen positief zijn, kunnen patiënten na de ingreep visuele klachten ervaren, met name in omstandigheden met weinig licht. Een veelgehoorde klacht na een oogoperatie is een verhoogde gevoeligheid voor felle lichtbronnen in een donkere omgeving, zoals tegemoetkomend autoverkeer 's nachts. Dit veroorzaakt een zogenaamd *glare*-effect (schittering, verblindende glans), waarbij een sluierachtig lichtverschijnsel optreedt dat het contrast vermindert en de herkenning van objecten bemoeilijkt. Hoewel het gezichtsvermogen overdag vaak uitstekend is, hebben veel patiënten na een operatie moeite met het onderscheiden van voorwerpen tegen een achtergrond met een laag contrast in schemerige of donkere omstandigheden. Moeilijkheden met nachtzicht en glare werden gerapporteerd bij 60% van de patiënten na 1 maand, 30% na 3 maanden en 0% na 6 maanden. (Chisholm, 2001)

### 3.1.4 Medicijnen

Bepaalde medicijnen kunnen negatieve gevolgen hebben op het nachtzicht. Isotretinoïne, bekend onder merknamen zoals Roaccutane, wordt gebruikt bij ernstige acne. Als bijwerkingen ontstaan droge huid, alsook droge ogen. Het kan het nachtzicht tijdelijk verminderen en is in zeldzame gevallen gelinkt aan permanente nachtblindheid. (VisonDirect, n.d.)

Amiodaron (anti-aritmicum), gebruikt bij hartritmestoornissen, kan afzettingen veroorzaken op het hoornvlies en andere delen van het oog. Dit kan in zeldzame gevallen leiden tot wazig zicht of, met name 's nachts, het waarnemen van blauwgroen gekleurde ringen rondom lichtbronnen (in het Engels bekend als *halos*). (Mäntyjärvi et al., 1998)

Verschillende soorten antidepressiva, waaronder selectieve serotonineheropnameremmers (SSRI's), serotonine-noradrenalineheropnameremmers (SNRI's) en tricyclische antidepressiva (TCA's), kunnen de traanproductie verstoren, wat leidt tot droge ogen. Deze verstoring kan resulteren in een onstabiele traanfilm, waardoor klachten zoals een branderig of korrelig gevoel, en algemeen wazig zicht ontstaan (Dr. Evans, 2018). Ook kunnen TCA's eigenschappen bezitten die kunnen leiden tot mydriase (pupilverwijding). Deze farmacologische werking resulteert in een verminderde pupilrespons op licht (Constable et al., 2022). Als gevolg van de vermindering van deze natuurlijke respons neemt de gevoeligheid voor intense lichtbronnen (fotofobie) toe. Het vermogen om zich dan aan te passen aan donkere omstandigheden neemt aanzienlijk af. (TheEyeShopAZ, 2022).

Miotische oogdruppels (pupilvernauwende oogdruppels) die frequent worden voorgeschreven bij de behandeling van glaucoom, veroorzaken een vernauwing van de pupil. Dit beperkt de hoeveelheid licht die het oog bereikt, waardoor de visuele prestaties tijdens nachtelijke en schemerige situaties worden verminderd. (Boyd, 2024)

Antibiotica kunnen, ondanks hun belangrijke therapeutische rol, negatieve effecten op het gezichtsvermogen veroorzaken. Fluorochinolonen zijn krachtige antibiotica die onder andere worden ingezet bij de behandeling van longontsteking en urineweginfecties. Een mogelijke bijwerking is het loslaten van het netvlies (retina) van de achterkant van het oog, wat kan leiden tot ernstige visuele problemen. Tetracyclines, vaak voorgeschreven voor aandoeningen zoals acne, de ziekte van Lyme en luchtweginfecties, zijn in verband gebracht met een verhoogde intracranieële druk. Deze verhoogde druk kan zich manifesteren op de oogzenuw, wat kan resulteren in visuele problemen. Macroliden worden toegepast bij infecties van de luchtwegen, de huid en soms ook van de ogen. Bij gebruik kunnen sommige patiënten last krijgen van droge ogen, irritatie of tijdelijke wazigheid van het zicht. Aminoglycosiden, die vooral worden gebruikt bij ernstige infecties, zijn bekend vanwege hun ototoxische effecten (schade aan het gehoor of evenwichtsorgaan), in de vorm van gehoorverlies en evenwichtsstoornissen. Aangezien het evenwicht is aangetast kunnen ze daarnaast ook het gezichtsvermogen beïnvloeden door een bewegend of wiebelend beeld te veroorzaken. (Al-Namaeh, 2024)

### 3.1.5 Alcohol en drugs

Het effect van alcoholconsumptie op de visuele prestaties, en in het bijzonder op het nachtzicht, is onderwerp van toenemende wetenschappelijke aandacht vanwege de implicaties voor verkeersveiligheid en algemene volksgezondheid.

In een experimentele studie van Castro et al., leden van het *Department of Optics, University of Granada*, werd onderzocht hoe alcoholconsumptie de beeldkwaliteit van het netvlies en het vermogen tot visuele discriminatie bij weinig licht beïnvloedt. Aan dit onderzoek namen 67 proefpersonen deel, waarbij zowel voor als na alcoholconsumptie metingen werden verricht van de optische kwaliteit van het oog, traanfilmvolume, pupilgrootte en visuele discriminatie onder nachtelijke omstandigheden. De deelnemers werden op basis van hun bloedalcoholgehalte ingedeeld in een laag-alcoholgroep ( $< 0,58$  promille) en een hoog-alcoholgroep ( $\geq 0,58$  promille).

Uit de resultaten bleek dat de Visual Disturbance Index (VDI), een maat voor visuele verstoringen zoals halo's en schittering rond lichtbronnen, significant toenam na alcoholconsumptie. Alcohol oefent een negatief effect uit op de traanfilm. Het veroorzaakt zowel een afname van het traanfilmvolume als een afname van de traanfilmstabiliteit. De verstoorde traanfilm leidt tot een grotere hoeveelheid verstrooid licht binnenin het oog. Daarnaast is aangetoond dat alcohol mydriase induceert. Door de stijging van invallend perifeer licht, veroorzaakt door mydrisase, wordt zo het effect van de verstoorde traanfilm versterkt. De combinatie van beide factoren verklaart de significante stijging van de Visual Disturbance Index (VDI) na alcoholconsumptie.

Ten slotte toonden de auteurs aan dat de mate van nachtzichtstoornissen dosisafhankelijk was: hoe hoger het alcoholgehalte, des te groter de achteruitgang van de visuele prestaties. Hoewel er geen significante verschillen tussen mannen en vrouwen werden waargenomen, registreerden vrouwelijke deelnemers gemiddeld een iets grotere verslechtering van het gezichtsvermogen. (Castro et al., 2014)

Niet enkel alcohol, maar ook diverse soorten drugs beïnvloeden het (nacht)zicht. In onderstaande tabel worden verschillende typen drugs weergegeven, samen met hun systemische effecten en de daaraan gerelateerde oculaire effecten.

Tabel 1 Kenmerken van drugs

| <b>Drug</b>      | <b>Werkingsmechanisme</b>                                                                                                                                                         | <b>Systemisch Effect</b>                                                                                      | <b>Direct Oculair Effect</b>                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Cafeïne</b>   | Afgifte van dopamine (hormoon voor motivatie en beloning), noradrenaline (reguleert aandacht, alertheid en stemming) en serotonine (hormoon voor innerlijk geluk en tevredenheid) | Stimulatie van het CZS (centraal zenuwstelsel), verhoogde waakzaamheid en metabolische activiteit (vertering) | Verhoogde saccadische snelheid (snelle beweging van de ogen die tot doel heeft een nieuw fixatiepunt te vinden), myokymie (trillende oogleden), pupilverwijding, verhoogde accommodatie (verwerking van informatie), verhoogde traanproductie, vaatvernauwing van het netvlies |
| <b>Nicotine</b>  | Activeert bepaalde zenuwreceptoren in het lichaam op dezelfde manier als het stofje acetylcholine (neurotransmitter voor spiercontractie, leerprocessen, geheugen en aandacht)    | Versnelde hartslag, verhoogde bloeddruk                                                                       | Toename van cataractprogressie, verhoogde bloeddruk heeft nadelig effect op het vaatvlies, netvlies en op de oogzenuw                                                                                                                                                          |
| <b>Marihuana</b> | Stimulatie van CB1- en CB2-receptoren (cannabis receptoren)                                                                                                                       | Versnelde hartslag, verhoogde bloeddruk, psychotrope effecten (gelinkt aan hallucinogenen)                    | Verlaagde intra-oculaire druk, verminderde nauwkeurigheid van saccades                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Cocaïne</b>   | Potentiatie (wanneer een chemicalië het effect van een andere                                                                                                                     | Euforie, sympathische stimulatie                                                                              | Pupilverwijding                                                                                                                                                                                                                                                                |

|                |                                                                                      |                                                                        |                                                     |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                | chemicalië vergroot)<br>van dopamine en<br>noradrenaline                             |                                                                        |                                                     |
| <b>Meth</b>    | Potentiatie van<br>catecholamines<br>(=dopamine,<br>noradrenaline,<br>adrenaline)    | Euforie, verhoogde<br>concentratie,<br>sympathische<br>stimulatie      | Pupilverwijding, verminderde<br>accommodatie        |
| <b>Heroïne</b> | Stimulatie van<br>opioïdreceptoren<br>(ontvangers die pijn en<br>stress verminderen) | Pijnstilling, depressie<br>van het CZS,<br>oppervlakkige<br>ademhaling | Pupilvernauwing, exotropie<br>(uitwaartse oogstand) |

Bron: ReviewOfOptometry

(Karbach et al., 2018)

### 3.1.6 Vermoeidheid van het oog

Tegenwoordig worden mensen constant omringd door schermen. 64% tot 90% van computer gebruikers, ofwel 60 miljoen mensen wereldwijd, lijden in toenemende mate aan Computer Vision Syndrome (CVS) (Hayes et al., 2007). CVS omvat niet slechts één effect, maar is een verzameling van oog-en visuele klachten die ontstaan door langdurig gebruik van digitale apparaten. Een studie naar de effecten van schermgebruik op de gezondheid, uitgevoerd door de Faculteit Medische Wetenschappen van de *University of the West Indies* in Jamaica, onderzocht symptomen van CVS bij 409 studenten. Veel studenten rapporteerden oculaire klachten van CVS, waaronder oogvermoeidheid (67%), branderige ogen (61,9%), wazig zicht (51,6%), diplopie (dubbel zicht) (28,9%) en droge ogen (26,2%)(Mowatt et al., 2018). Droge en branderige ogen worden veroorzaakt doordat de knipperfrequentie afneemt tijdens het langdurig staren naar een scherm, wat leidt tot een verminderde bevochtiging van het oog (Tsubota & Nakamori, 1993). Doordat een lichtbron gedurende lange tijd rechtstreeks op de ogen wordt gericht, is het kijken naar een scherm aanzienlijk vermoeiender voor de ogen dan het kijken naar papier bijvoorbeeld. (Chu et al., 2011). Uit onderzoek is gebleken dat blauwlichtfilterbrillen de symptomen van het

CVS gedeeltelijk kunnen verlichten. Dit effect wordt mede verklaard door het feit dat dergelijke brillen een verhoogde knipperfrequentie stimuleren tijdens het kijken naar beeldschermen. (Kimberly & James R., 2009)

Zeevarenden ervaren dagelijks een combinatie van schermen en de realiteit. Ze worden voortdurend omringd door schermen terwijl ze op de brug zijn, maar moeten ook vaak naar buiten kijken tijdens een wacht om de omgeving te observeren.

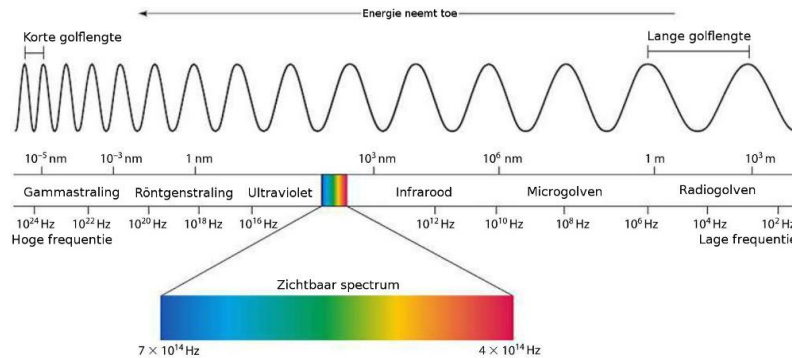
Om oogvermoeidheid van schermen te voorkomen heeft optometrist dr. Jeffrey Anshel de zogeheten 20-20-20-regel geïntroduceerd: iedere 20 minuten dient men gedurende 20 seconden te kijken naar een object dat zich op een afstand van 20 voet (ongeveer 6 meter) bevindt. Deze richtlijn is opgesteld ter bevordering van de ooggezondheid. Het primaire doel van deze aanbeveling is om de ogen periodiek te laten ontspannen door de focus te verleggen naar een verder gelegen punt, bij voorkeur buiten, bijvoorbeeld door een raam. Daarnaast biedt deze korte pauze van 20 seconden de mogelijkheid om even afstand te nemen van het scherm en de gedachten op iets anders dan werk te richten. Hoewel het wetenschappelijk bewijs voor de effectiviteit van deze regel beperkt is en het niet als klinisch advies moet worden beschouwd, benadrukt het wel het belang van regelmatige onderbrekingen tijdens langdurig schermgebruik. (Boulet, 2016)

### 3.1.7 Blauw licht

Fysiologen van het *American Journal of Physiology* hebben ontdekt dat blauw licht de slaapkwaliteit kan beïnvloeden vanwege zijn effect op de hersenen. Blauw licht reguleert het circadiaans ritme van het lichaam (de dagelijkse 24 uur cyclus), evenals iemands alertheid, cognitie en geheugen, doordat blauw licht de aanmaak van melatonine onderdrukt (melatonine is het hormoon dat iemand slaperig maakt) (Münch et al., 2006). Blauw licht heeft ook een groot effect op de vernauwing van de pupil, waardoor minder licht wordt toegelaten in het oog (Schilling et al., 2023).

Het vermogen van blauw licht om het slaapritme te beïnvloeden is biologisch bepaald, de zon zelf geeft ook ongeveer 25% tot 30% blauw licht af. Blauw licht is daarom ongewenst in de avond-

en nachturen. Het blauwe licht dat wordt uitgestraald door de zon is vergelijkbaar met het blauwe licht dat digitale schermen genereren (Boothe, 2016).



Figuur 4 Kleuren en hun golflengte  
Bron: Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI)

Figuur 4 toont aan dat blauw (450–495 nanometer) een kortere golflengte heeft dan de andere kleuren. Het *Penn State College of Earth and Mineral Sciences* past de volgende formule toe:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1.986 \times 10^{-16} \text{ J nm photon}^{-1}}{\lambda}$$

E = Energie, h = constante van Planck, c = lichtsnelheid,  $\lambda$  = golflengte.

Door gebruik te maken van deze formule kunnen we vaststellen dat de golflengte omgekeerd evenredig is aan de energie die de golflengte, of kleur, draagt. Dit betekent dat kortere golflengten, zoals blauw licht, meer energie hebben dan langere golflengten, zoals rood licht (Brune, 2023).

De mate waarin melatonine wordt onderdrukt, hangt samen met de energie-inhoud van de verschillende golflengten van licht. Blauw licht heeft de grootste invloed op de verspreiding van melatonine in de hersenen (Van Der Meijden et al., 2018). Daarnaast is ook rodopsine bijzonder gevoelig voor blootstelling aan blauw licht, waarbij de afbraak ervan in grotere mate wordt versneld dan bij andere lichtkleuren (Bury & Khalique, 2023).

Ten slotte is blauw licht ook schadelijk voor het oog. Het is in staat schadelijke effecten te verrichten op het netvlies. Blauw licht draagt hoofdzakelijk bij aan de ontwikkeling van

leeftijdsgebonden maculadegeneratie (LMD). Dit komt vaak alleen voor bij mensen ouder dan 55 jaar. LMD wordt veroorzaakt door een ophoping van afvalstoffen onder het netvlies, waardoor de macula langzaam wordt vernietigd. De macula is een deel van het netvlies waar de kegels dicht op elkaar zitten. Dit is een langzaam voortschrijdend proces en een van de belangrijkste oorzaken van wazig centraal zicht bij oudere volwassenen. (Het Oog Ziekenhuis Rotterdam, n.d.)

In 2012 leden ongeveer twee miljoen personen van 50 jaar en ouder aan LMD, wat een toename van 25% is ten opzichte van het jaar 2000. In 2003 bedroeg het aantal wettelijk blinden ten gevolge van maculadegeneratie circa 1,2 miljoen, met jaarlijks 200.000 nieuwe gevallen. Tegen 2030 wordt verwacht dat dit aantal zal oplopen tot 6,3 miljoen, met naar schatting 500.000 nieuwe gevallen per jaar. (Boothe, 2016)

## 3.2 Positieve effecten op het (nacht)zicht

### 3.2.1 Rood licht

Rood licht, met een golflengte van 620 tot 750 nanometer, heeft het tegenovergestelde effect van blauw licht. Vanwege de langere golflengte bevat rood licht aanzienlijk minder energie dan de kortere golflengten in het zichtbare spectrum, zoals geïllustreerd in figuur 4. Hierdoor heeft rood licht slechts een minimale invloed op de verspreiding van melatonine en van rodopsine (Van Der Meijden et al., 2018) (Bury & Khalique, 2023). Rood licht is dus ideaal voor taken die een langdurige aanpassing aan duisternis vereisen (González, 2018).

Voor nachtelijke navigatie wordt sinds de Tweede Wereldoorlog rood licht gebruikt in militaire en maritieme toepassingen (Narang, 2023). Elementen op nautische kaarten in magenta, zoals TSS-markeringen (Traffic Separation Schemes) en windrozen, blijven onder rood licht goed zichtbaar en worden zelfs extra geaccentueerd. In tegenstelling daarmee veranderen kleuren zoals blauw, groen en bruin onder rood licht in verschillende grijs tinten. Dit kan het onderscheiden van bepaalde kaartdetails bemoeilijken en daarmee de navigator benadelen in specifieke situaties zoals dicht bij de kust of ondieptes. (Michelin, 2020)



Figuur 5 Papieren kaart onder rood licht  
Bron: Practical Sailor

Leden van de *Royal Society*, een onafhankelijke wetenschappelijke academie van het VK, hebben onderzoek gedaan naar de effecten van rood, groen en blauw licht op de ogen. De resultaten tonen aan dat proefpersonen die aan rood licht werden blootgesteld aanzienlijk minder tijd nodig hadden om in slaap te vallen. Tegelijkertijd bleek dit echter gepaard te gaan met verminderde alertheid en tragere reactietijden. Daarnaast lieten de resultaten zien dat de pupil na blootstelling aan rood licht significant sterker verwijd was dan na blootstelling aan blauw licht. Indien deze verwijding niet farmacologisch wordt opgewekt, is dit voordelig voor het nachtzicht. Pupilverwijding vormt immers een natuurlijke aanpassingsreactie van het oog. (Van Der Meijden et al., 2018)

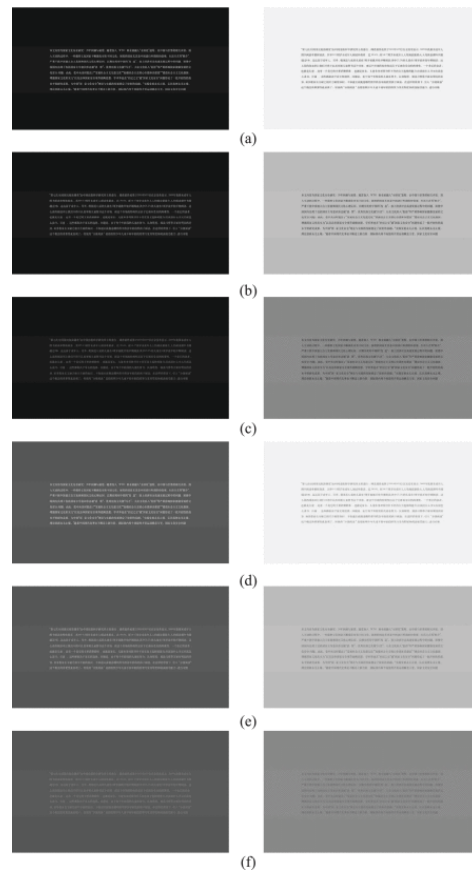
### 3.2.2 Comfortmodus, nachtmodus en contrastverhoudingen

Veel technologiebedrijven implementeren “comfortmodus” in hun apparaten, wat de hoeveelheid blauw licht die door het scherm wordt gegenereerd vermindert en het vervangt door een warmere gele tint (Nagare et al., 2019). In dit deel wordt onderzocht of dergelijke filter wel nuttig is. Daarnaast wordt onderzocht in welke mate een nachtmodus (lichte informatie op een

donkere achtergrond) bijdraagt aan de gebruikservaring en of er specifieke criteria vervuld moeten worden om een meerwaarde te bieden.

Dr. Tushar Goel, een dokter aan de *ASG Eye Hospitals* in India, stelt dat hoewel blauw licht bijdraagt aan verblinding en ongemak, het niet de enige veroorzakende factor is. Andere elementen, zoals de helderheid van het scherm, het contrast en de duur van de blootstelling, spelen eveneens een belangrijke rol. Veel gebruikers rapporteren positieve effecten van de zogenoemde *Eye Comfort-modus* (comfortmodus). Zij ervaren dat het scherm minder verblindend is en aangenamer om naar te kijken, met name in de avond of bij duisternis. Hoewel *Eye Comfort-modi* geen wondermiddel zijn, kunnen ze wel bijdragen als onderdeel van een bredere strategie om oogvermoeidheid te verminderen en de slaapkwaliteit te verbeteren. (Dr Goel, 2024)

Positieve resultaten over een comfortmodus werden ook gerapporteerd in een proef uitgevoerd door de *School of Mechanical Engineering*, het *Interaction Design Institute* en de *Shandong University* in Jinan, China. Oorspronkelijk werd onderzoek verricht naar de invloed van verschillende contrastverhoudingen (de verhouding tussen de helderheid van de helderste kleur en de donkerste kleur) van schermen/teksten op het oog.



Figuur 6 Contrastverhoudingen  
Bron: Xie et al. 2021

De contrastverhoudingen worden van boven naar beneden weergegeven, van het hoogste contrast naar het laagste contrast. Uit de resultaten bleek dat de deelnemers een voorkeur hadden voor de lichte modus (zwarte tekst op een lichte achtergrond) met de hoogste contrastverhouding. Wanneer dit contrast werd gecombineerd met de *eye protection mode* (comfortmodus), leverde dit een significante vermindering van nachtelijke oogvermoeidheid. De laagste contrastverhouding daarentegen leidde tot de hoogste mate van visuele vermoeidheid.

De bevinding die het meest relevant is voor het onderwerp van deze thesis betreft de observatie dat de combinatie van witte tekst op een zwarte achtergrond die het hoogste contrast hanteert zorgde voor de minste visuele vermoeidheid (Xie et al., 2021). Hoewel deze bevinding niet rechtstreeks betrekking heeft op de donkeradaptatie of het nachtzicht, benadrukt zij wel dat schermeigenschappen een aantoonbaar effect uitoefenen op het algemene visuele comfort en

de mate van visuele belasting. Dit is bijzonder relevant voor de officier die dagelijks langdurig aan schermen wordt blootgesteld

De afdeling Geoinformatica van de *Palacký Universiteit in Olomouc, Tsjechië*, onderzocht de effecten van de dag- en nachtmodus van een GPS binnen zowel gesimuleerd daglicht als een gesimuleerde nachtelijke omgeving. In dit experiment voerden 43 deelnemers verschillende gesimuleerde ritten uit in *Euro Truck Simulator*, waarbij hun totale tijd die ze naar de GPS keken werd geregistreerd. De resultaten toonden aan dat de dagmodus overdag zonder problemen functioneerde en geen hinder voor de bestuurder veroorzaakte. Tijdens nachtritten leidde de dagmodus er echter toe dat de deelnemers kortere kijktijden naar het scherm vertoonden. Opmerkelijk zorgde de dagmodus 's nachts ook voor desoriëntatie en navigatiefouten, zoals foute afslagen. Dit komt voornamelijk door de hoge helderheid van het scherm en het sterke contrast met de donkere omgeving.

De nachtmodus daarentegen leverde een stabielere gebruikerservaring op: hoewel deelnemers overdag iets langer naar het navigatiescherm keken, traden er geen desoriëntatie of navigatiefouten op. Tijdens nachtritten werden ook geen desoriëntatie en navigatiefouten waargenomen. Deze bevindingen ondersteunen dat aanpassing van dag- en nachtmodus aan de omgevingslichtcondities bijdraagt aan de veiligheid. Indien de modus niet wordt aangepast is het veiliger om een constante nachtmodus te hanteren. (Popelka et al., 2022)

## 4 Operationele context aan boord

### 4.1 Wachthouden

Regel 5 van de Internationale Reglementen ter Voorkoming van Aanvaringen op Zee (COLREG, Collision Regulations) verplicht elk schip om voortdurend een goede uitkijk te houden. Deze uitkijk moet worden uitgevoerd met alle beschikbare middelen, waaronder zicht, gehoor en technische hulpmiddelen zoals RADAR (Radio Detection and Ranging), ARPA (Automatic Radar Plotting Aids), ECDIS en AIS (Automatic Identification System). Het doel hiervan is een volledige beoordeling van de situatie en een juiste inschatting van het risico op aanvaringen.

Een correcte uitkijk omvat niet alleen het tijdig waarnemen van andere schepen, maar ook het identificeren van potentiële navigatiegevaaren en het volgen van veranderingen in weersomstandigheden. Daarbij is het essentieel dat naast het gebruik van technische hulpmiddelen er nadruk wordt gelegd op directe visuele waarneming door naar buiten te kijken.

Tijdens het Master jaar op de AMA werden de lessen “Reglementering van het maritiem verkeer” ondersteund door de Loss Prevention Guide van North of England P&I, *Collisions: how to avoid them*. In dit document staat meer uitleg over wat Regel 5 betekent:

- Kijken:
  - Altijd uit de vensters kijken
  - Juist gebruik van RADAR en ARPA om aanvaringskoersen in te schatten
- Luisteren:
  - De Radio's moeten op het juiste kanaal ingesteld staan, en het volume moet zo afgesteld worden dat communicatie altijd hoorbaar is. Er bestaat altijd mogelijkheid dat een ander schip de aanvaringsvoorschriften niet volgt en dus contact gewenst is
  - Monitoren van geluidssignalen buiten het schip, luisteren naar scheepshoorns en eventueel hulpgeroep van drenkelingen moet constant gebeuren
  - Afleiding op de brug zoals muziek moet worden vermeden
- Let op alles, kijk niet alleen vooruit, maar kijk ook om je heen en naar het schip zelf

- Alle mogelijke informatie om een risico op aanvaring in te schatten moet worden gebruikt
- ECDIS moet worden gebruikt om de veiligheid van het schip te waarborgen. ECDIS biedt zowel visuele als auditieve waarschuwingen wanneer de ingestelde veiligheidsparameters worden overschreden, hierdoor kunnen potentiële gevaren worden voorkomen
- Om risico op aanvaring te voorkomen moet er constant gedacht worden:
  - Is aanvaring mogelijk door actie, of juist door het ontbreken van een actie, van de omliggende schepen en eigen schip?
  - Is aanvaring waarschijnlijk? Indien dit het geval is, bestaat er al een risico op aanvaring en dient er corrigerende actie te worden ondernomen.

(North of England P&I, 2019).

Het voortdurend monitoren van de omgeving, de positie, de koers, de snelheid en de naleving van de geldende regelgeving is essentieel voor het correct uitvoeren van een wacht. De reden waarom naar buiten moet worden gekeken is omdat een overmatig vertrouwen op elektronische systemen onwenselijk is. Net zoals het systematisch markeren van de positie op de kaart een noodzakelijke back-up vormt en biedt een waarborg tegen mogelijke storingen of fouten in de technologie

De positie van het schip moet meerdere keren per uur op vastgestelde tijdsintervallen worden vastgelegd op de zeekaart of in de tweede (back-up) ECDIS. Op open zee, waar geen fysieke referentiepunten zoals boeien of oriëntatiepunten aanwezig zijn, wordt de positie voornamelijk bepaald met behulp van GPS. Wanneer referentiepunten wel beschikbaar zijn, dienen deze idealiter te worden gebruikt om de positie van het schip te verifiëren. Hierdoor kan de ECDIS worden gecontroleerd op eventuele technische fouten. Het is daarom van belang dat zowel overdag als 's nachts een onbelemmerd zicht wordt gewaarborgd, zodat directe visuele waarnemingen buiten het schip kunnen worden gedaan.

Indien visuele waarnemingen door omstandigheden zoals mist niet mogelijk zijn, wordt gebruik gemaakt van de RADAR. Hoewel het zicht betrouwbaarder is, biedt de RADAR eveneens de mogelijkheid om schepen, boeien en landmerken (voornamelijk kustlijnen) in de omgeving te

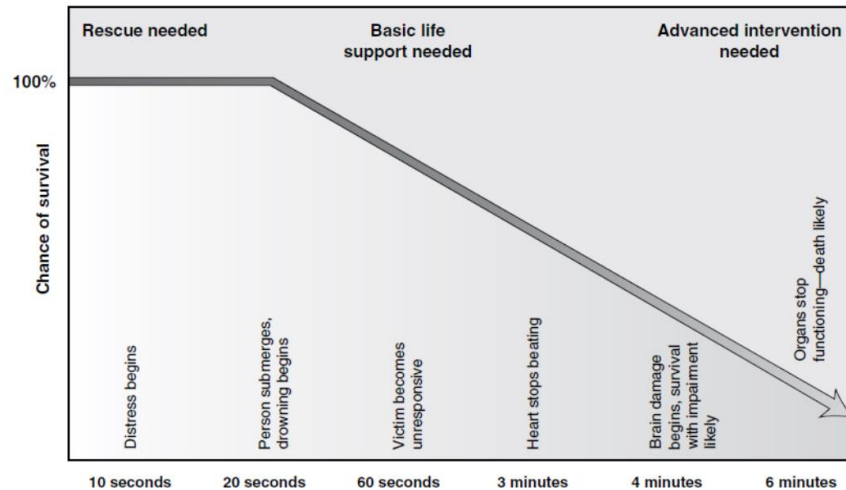
detecteren (Annaert, 2021). Het doel van een goede wachthouder is om het schip veilig naar zijn bestemming te brengen. De wachthouder zal het voorop gemaakt traject trachten te volgen tenzij er onverwachte evenementen gebeuren zoals een storm of verkeer waarvoor de COLREGS hoeft gevolgd te worden en een mogelijk ontwijkingsmanoeuvre volgt. (IMO, 1972)

Een officier moet alert zijn tijdens de voorgeschreven wachturen. Gebruikelijk zijn dit dezelfde uren tijdens de volledige duur van het contract. De wacht gebeurt meestal in periodes van 4 uur, gevolgd door 8 uur rust (afhankelijk van het type schip). In de praktijk komt daar per dag nog ongeveer twee uur extra werk bij. Dit betreft onderhoud, cargo watch en standby. Een dag bestaat dus ongeveer uit 10 uur werk en 14 uur rust. Dit systeem betekent dus dat de OOW (*Officer Of the Watch*, officier van de wacht) waarvan de toegewezen wacht de 1<sup>e</sup> wacht is, van 00:00 tot 04:00 en ook van 12:00 tot 16:00 op de brug staat. Voor de 2<sup>e</sup> wacht geldt 04:00-08:00 en 16:00-20:00. Voor de 3<sup>e</sup> geldt 08:00-12:00 en 20:00-00:00. Dit soort wachtsysteem toont aan dat er telkens 2, meestal 3 (afhankelijk van de duur van het daglicht in de betreffende periode van het jaar en de geografische positie van het schip), OOW's geconfronteerd worden met navigatie tijdens nachtelijke periodes.

## 4.2 Observeren

Aan boord, tijdens de uitkijk, zijn er veel zaken om op te letten. Daarnaast verandert de 360 graden horizon voortdurend.

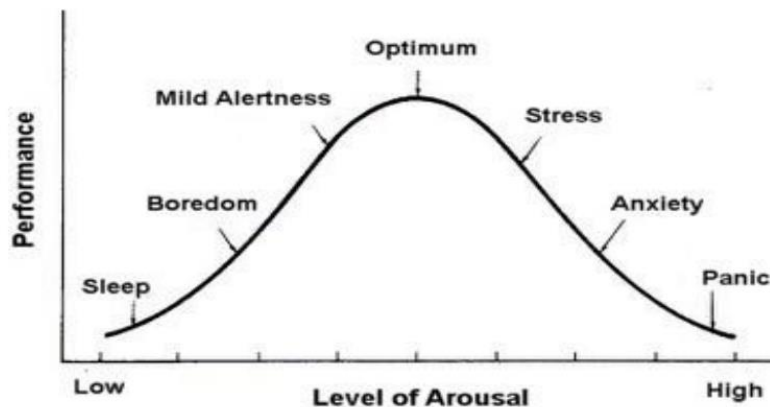
Er kan een vergelijking worden gemaakt tussen het belang van goede uitkijk aan boord van schepen en het belang van goede toezicht door strandwachten. Alertheid van de observeerder is cruciaal om een drenkeling te redden. In onderstaande grafiek, Figuur 7, is te zien dat met verloop van tijd de kans op overleven in het water verkleint.



Figuur 7 Overlevingskans in functie van tijd

Bron: dr. Pieter Vansteenkiste

Strandwachten zijn getraind om specifieke incidenten te herkennen binnen een afgebakend observatiegebied. De Universiteit Gent heeft een onderzoek uitgevoerd naar de reactietijd van strandwachten om drenkelingen op te merken. Getrainde strandwachten bleken daar gemiddeld 74 seconden voor nodig te hebben. Volgens bovenstaande figuur betekent dit tijdsinterval dat de drenkeling op dat moment bewusteloos is en dringend nood heeft aan basisreanimatie (basic life support) (Vansteenkiste, 2022). Louter observeren, zonder bijkomende taken, blijkt op zich al een uitdagende taak te zijn.



Figuur 8 Prestatie Index

Bron: dr. Pieter Vansteenkiste

De grafiek hierboven toont aan dat alertheid niet zomaar opgeëist kan worden. Een persoon zal alertheid vertonen in termen van zijn eigen verwachtingen met de taak. Wanneer er lange tijd niets gebeurt zal ons brein weinig input ontvangen en zal daarom verveeld raken. Dit is het geval wanneer er tijdens een navigatiewacht niets gebeurt of er geen omgevende schepen zijn.

Een studie uit 2014, uitgevoerd door studenten aan de Universiteit van Portsmouth, onderzocht de surveillancemogelijkheden van 171 personen in een gecontroleerde omgeving. De deelnemers bestonden uit 84 personeelsleden van de infanterie en 87 burgers, ze namen deel aan tests waarbij cameratoezicht via Closed Circuit Television (CCTV) werd gesimuleerd. De tests verschilden zowel in algemene duur als in het aantal onverwachte gebeurtenissen dat zich tijdens de observaties voordeden. Het doel van het onderzoek was te bepalen in welke mate proefpersonen dergelijke gebeurtenissen konden waarnemen. Het onderzoek baseerde zich op drie criteria: de duur van de observatietaak, de relevantie van de onverwachte gebeurtenis en de eerdere ervaring van de proefpersonen met vergelijkbare taken. Het laatste criterium is van bijzonder belang in het kader van onoplettende blindheid (inattentional blindness).

De resultaten toonden aan dat noch de duur van de taak, noch de eerdere ervaring van de proefpersonen een significante invloed had op het succes van de detectie. De bepalende factor bleek de prevalentie van de gebeurtenis te zijn, d.w.z. hoe vaak een bepaalde gebeurtenis plaatsvond. Deze bevinding benadrukt dat wij weliswaar met onze ogen kijken, maar daadwerkelijk zien met onze hersenen. Het menselijk bewustzijn is daarmee afhankelijk van de manier waarop de hersenen binnen een specifieke context informatie als relevant of opmerkelijk beschouwen. (Nasholm et al., 2014)

### 4.3 Ooglap

De ooglap is in de loop der jaren voor verschillende toepassingen gebruikt. In de medische wereld worden ooglappen voornamelijk gebruikt om amblyopie, of "lui oog", te behandelen. Dit is de aandoening waarbij een van de ogen dominant is, daarom zullen de hersenen informatie van dat oog bevoorrechten en informatie van het andere oog negeren. Als dit lang aanhoudt, zonder een ooglap te gebruiken op het dominante oog, kan het zelfs leiden tot blindheid ("Amblyopia (Lazy Eye)," 2022).

Naast het medische gebruik kreeg de ooglap populariteit vanwege de vele piraten uit de 17e en 18e eeuw die ermee werden afgebeeld. Helaas is er geen gedocumenteerde geschiedenis over de reden waarom ooglappen werkelijk werden gedragen. Het heersende idee onder het grote publiek is dat de ooglap werd gedragen ter bedekking van een oog dat in de strijd verloren was gegaan (Strom, 2021). De Spaanse admiraal Don Blas de Lezo is een gedocumenteerd geval van een eenogige navigator, echter koos hij ervoor geen ooglap te dragen. Nochtans is dit is een plausibele reden voor piraten om een ooglap te dragen. (Rose & MacLeod, 2010)

De reden waarom de ooglap relevant is voor het kader van deze thesis is omdat er een andere, waarschijnlijker, theorie over het gebruik van ooglappen door piraten bestaat. Ze droegen geen ooglap omdat ze een oog hadden verloren, maar om één oog continu aangepast te houden aan het donker. Vanwege het gebrek aan technologie en dus efficiënte verlichting in de 18e eeuw was het binnenin schepen donker. Ze hielden een oog constant aangepast aan het donker en hoefden alleen het ooglapje van het ene oog naar het andere te verplaatsen wanneer ze het schip binnen gingen. Op deze manier konden ze meteen helder zien (Felton, 2023). Hoewel er volgens piratenhistorica dr. Rebecca Simon geen historische verslagen bestaan die het gebruik van een ooglap specifiek voor dit doel bevestigen, wordt de hypothese als plausibel beschouwd. Zodanig plausibel dat het door het televisieprogramma *MythBusters* experimenteel werd onderzocht. De resultaten van het experiment ondersteunden de veronderstelling dat het gebruik van een ooglap ter behoud van donkeradaptatie functioneel kan zijn.

#### 4.4 Aantrekking door felle kleuren

De regelgeving en populariteit van ECDIS (verder uitgelegd onder het deel “5.7 ECDIS”) zorgen ervoor dat navigators meer dan ooit tevoren naar schermen zullen moeten kijken. Veel verschillende kleuren en bewegende of flikkerende symbolen zullen dus onze aandacht opeisen. De vraag die opkomt, is of we nog steeds naar buiten zullen kijken of voornamelijk naar het esthetisch aantrekkelijke scherm zullen staren. Tijdens de lessen navigatie op de Antwerp Maritime Academy werd benadrukt dat naar buiten kijken nog steeds van groot belang is maar dat er echter een tendens bestaat bij officieren om enkel naar de ECDIS en RADAR te kijken. (Siscom, 2015)

Een plausibele verklaring voor dit fenomeen wordt gegeven door een studie uitgevoerd door professoren van de *University of Cambridge* waarin de aantrekkingskracht van specifieke gender gerelateerd speelgoed op zuigelingen werd gemeten. De studie definieerde de kleur blauw gelijk aan een eigen helderheidswaarde van 115 terwijl roze een helderheidswaarde van 191 heeft. Jongens bleken de voorkeur te geven aan blauw speelgoed. Meisjes daarentegen neigden naar roze/paarse kleuren. Echter wanneer de zuigelingen jonger waren dan 12 maand werden zowel jongens als meisjes aangetrokken door rood/roze kleuren. Het blauw speelgoed werd vervolgens aangepast zodat beide kleuren dezelfde helderheidswaarde hadden. De bevindingen suggereren dat kleur daarna geen invloed meer had op de voorkeur van de zuigelingen. Dit impliceert dat de primaire factor van visuele aantrekkingskracht bij objecten de helderheid van de kleur betreft, en niet de kleur op zich. De studie toont tevens aan dat de voorkeur voor objecten met felle, heldere kleuren zich niet beperkt tot de kindertijd, maar doorgaans doorwerkt tot in de volwassenheid. (Jadva et al., 2010).

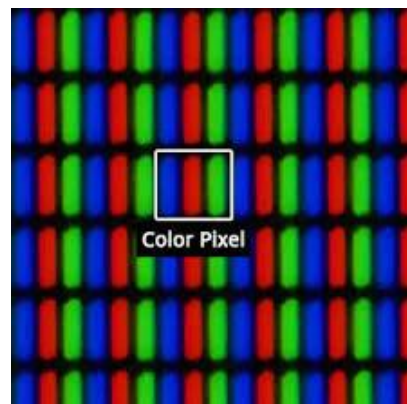
Deze studie toont aan dat, wanneer iemand wordt blootgesteld aan hoge kleurverzadiging en helderheid, zoals een scherm aan boord van een schip, personen instinctief de neiging vertonen om hun blik op de felle kleuren gericht te houden.

## 5 Schermen

### 5.1 Werking pixels

We kunnen twee soorten licht waarnemen die onze ogen binnenvallen: ofwel licht dat is gereflecteerd door objecten (zoals muren, bureaus, blikjes, ...) dat zelf geen licht produceren, ofwel rechtstreeks afkomstig van een lichtbron (Konstantinovsky & Bowie, 2023). Voor objecten die hun eigen licht niet uitstralen zijn de primaire kleuren rood, geel en blauw. Dit wordt subtractieve menging genoemd, en het wordt gebruikt bij het mengen van verven of inkt.

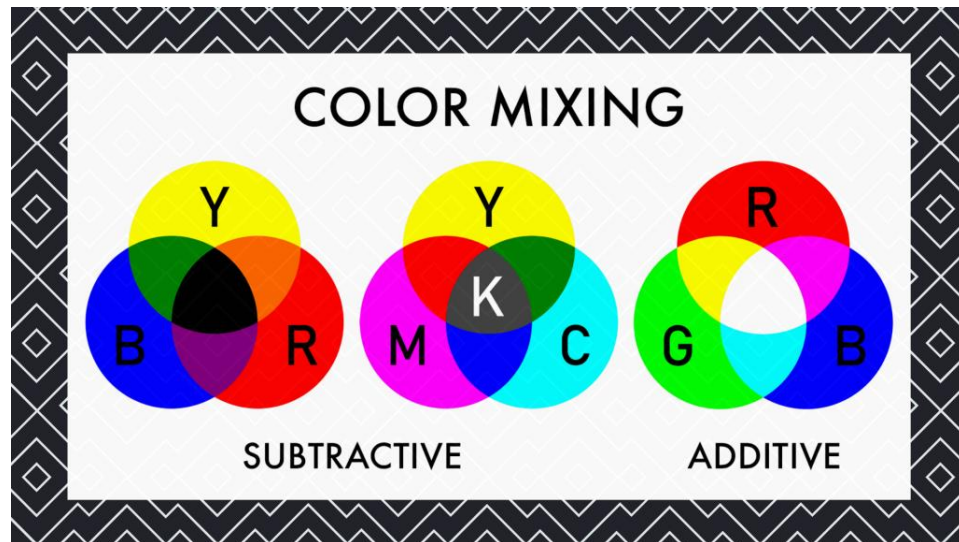
De projectie van beelden op een scherm gebeurt door middel van pixels; dit staat voor "Picture Element". De naam *pixels* betekent dus dat ze slechts een fragment zijn van een groter beeld, dat op elk moment op computer-/televisieschermen kan worden gezien. (Merriam-Webster Dictionary, 2024)



Figuur 9 LCD pixel met RGB subpixels  
Bron: Orient Display

Zoals te zien is in Figuur 9, bestaat 1 pixel uit 3 RGB-subpixels. RGB staat respectievelijk voor Rood, Groen en Blauw. Schermen kunnen alle kleuren weergeven door de hoeveelheid lichtemissie te manipuleren die deze subpixels uitstralen. Dit principe staat bekend als additieve kleurmenging. Er bestaat een wezenlijk verschil tussen subtractieve kleurmenging en additieve kleurmenging: bij traditionele kleurmenging, zoals bij verf of pigmenten (subtractieve menging), ontstaan kleuren door het wegnemen van bepaalde delen van het lichtspectrum. Wanneer gelijke

hoeveelheden van rood, geel en blauw worden gecombineerd ontstaat zwart. Bij additieve kleurmenging daarentegen worden kleuren gecombineerd door het optellen van lichtgolven. Wanneer gelijke intensiteiten van rood, groen en blauw worden gecombineerd ontstaat wit licht. Als er daarentegen geen licht wordt uitgestraald, wordt zwart weergegeven. (Simonot & Hébert, 2014)



Figuur 10 Kleurmenging: subtractief en additief  
Bron: Color-meanings

Deze kleuren kunnen worden verfijnd met behulp van een Hex Code of een Decimale Code. Hex-codes worden geschreven in de vorm van #RRGGBB, waar R staat voor Rood, G voor Groen en B voor Blauw. De waarden variëren van 0 tot 9 en vervolgens van A tot F. Decimale codes zijn in (R, G, B)-vorm, waarbij de letters ook verwijzen naar de drie primaire kleuren. In Decimale code variëren de gegenereerde kleuren van waarde 0 tot 255. Dit resulteert in een bereik van 256 niveaus van intensiteit. Met deze logica kunnen schermen dus 256 x 256 x 256 kleuren produceren. Dit komt overeen met 16 777 216 kleuren die op elk moment door ons scherm kunnen worden gegenereerd. (Texas Wesleyan, 2023)

In onderstaande tabel worden de waarden van enkele van deze kleuren weergegeven. Eerst worden de primaire kleuren getoond, gevolgd door mengvormen van twee kleuren. De laatste

twee rijen representeren respectievelijk de aanwezigheid van alle kleuren, en de afwezigheid ervan. Opmerkelijk is dat wit licht voor één derde deel uit blauw licht bestaat.

Tabel 2 Voorbeelden van kleuren op het RGB spectrum

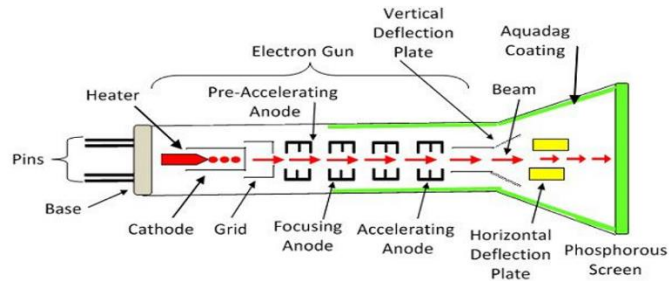
| <b><u>Kleur</u></b>                                                               | <b><u>Naam</u></b> | <b><u>Hex Code</u></b><br><b><u>#RRGGBB</u></b> | <b><u>Decimale Code</u></b><br><b><u>(R,G,B)</u></b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|  | Rood               | #FF0000                                         | (255,0,0)                                            |
|  | Groen              | #00FF00                                         | (0,255,0)                                            |
|  | Blauw              | #0000FF                                         | (0,0,255)                                            |
|  | Cyaan              | #00FFFF                                         | (0,255,255)                                          |
|  | Magenta            | #FF00FF                                         | (255,0,255)                                          |
|  | Geel               | #FFFF00                                         | (255,255,0)                                          |
|  | Wit                | #FFFFFF                                         | (255,255,255)                                        |
|  | Zwart              | #000000                                         | (0,0,0)                                              |

Bron: Texas Wesleyan

Het gebruik van het RGB-kleurenpalet is bijzonder effectief. Dit is niet enkel omdat het in staat is om alle mogelijke kleuren te genereren, maar ook omdat elke primaire kleur resoneert met een specifieke kegel, namelijk de L-, M- en S kegels.

## 5.2 CRT

### 5.2.1 Werking



Figuur 11 Cathode Ray Tube  
bron: circuit globe

Beeldbuizen (Cathode Ray Tube, CRT) waren ooit de dominante technologie voor het maken van schermen. CRT's zijn gemakkelijk te herkennen aan de oude, logge televisies die ongeveer een halve eeuw lang in huishoudens te vinden waren.

De begrippen 'anode' en 'kathode' worden in de elektronica gebruikt en komen overeen met respectievelijk de positieve en negatieve uiteinden van een batterij. Een CRT-display bestaat uit 3 hoofdonderdelen: de kathode, de anode en een scherm bedekt met fosfor. De samenstelling van anode en kathode wordt ook wel elektronenkanon genoemd, dat een bundel elektronen afvuurt op de fosforcoating van het scherm. Wanneer de fosfors worden geactiveerd (geraakt door elektronen), produceren ze licht. Het licht kan een afbeelding creëren, als de elektronen verschillende plaatsen op het scherm kunnen raken. Dit wordt bereikt door gebruik te maken van stuurspoelen om de bundel te manipuleren. De spoelen leiden de elektronen af door er magnetisch op in te werken, waardoor een afbeelding ontstaat. De elektronen lopen dan horizontaal over het scherm en "schilderen" vele malen per seconde een afbeelding, snel genoeg zodat onze ogen de afzonderlijke beeldopbouw niet kunnen waarnemen. Zwart-wit televisies en kleurentelevisies werken in principe op dezelfde manier; het verschil is dat kleuren-CRT's 3 elektronenbundels en 3 fosforcoatings voor rood, blauw en groen vereisen. Om kleuren te creëren maakt het gebruik van additieve kleurmenging. Het zal dus ook zwart weergeven wanneer er geen bundels worden afgevuurd. (Brain, 2024)

### 5.2.2 Voordelen

Een voordeel van CRT-displays is hun zeer snelle responstijd. Dit houdt in dat veranderingen op het scherm vrijwel onmiddellijk zichtbaar zijn. Deze eigenschap is bijzonder voordelig bij het

weergegeven van bewegende beelden, aangezien deze daardoor zeer vloeiend worden weergegeven. (Davis et al., 1995)

### 5.2.3 Nadelen

CRT-displays zijn in populariteit afgenomen vanwege de aanzienlijke ruimte die nodig is om ze te laten werken. De beeldbuis technologie vereist een aanzienlijke schermdiepte, waardoor deze displays veel fysieke ruimte innemen. Een toename in schermgrootte (hoogte en breedte) bij CRT-displays gaat gepaard met een evenredige toename in de grootte van de beeldbuis (diepte). De verhouding tussen hoogte, breedte en diepte maakt CRT-schermen daardoor een suboptimale keuze wanneer een groter scherm gewenst is omdat ze te veel plaats innemen en zwaar zijn. Daarnaast staan CRT-schermen bekend om hun inefficiënt energieverbruik, veroorzaakt door de vele complexe elektronische componenten die aanzienlijke hoeveelheden energie vereisen en ook veel warmte genereren, wat betekent dat er energie verloren gaat in warmte in plaats van enkel een beeld te genereren. (Harris, n.d.)

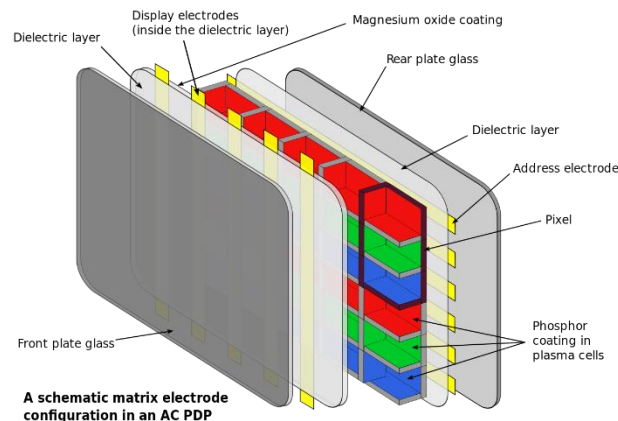
CRT-displays zijn beperkt in hun vermogen om zeer heldere beelden weer te geven, wat de zichtbaarheid bemoeilijkt wanneer ze buitenshuis of op een scheepsbrug met veel lichtinval worden gebruikt. Bovendien zijn CRT-schermen gevoelig voor magnetische velden, wat problematisch is aan boord van stalen schepen, waar ook het magnetisch kompas aanwezig is. Deze schermen kunnen ook onderling interfereren wanneer ze naast elkaar worden geplaatst, aangezien elk scherm een eigen elektromagnetisch veld genereert. Deze magnetische interferentie kan leiden tot beeldvervalsing, een fenomeen dat bekendstaat als geometrische distorsie. (DisplayMate, 2011).

De voortdurende vooruitgang in de beeldschermtechnologie heeft geleid tot de wereldwijde acceptatie van energiezuinigere en compactere alternatieven zoals LCD- (Liquid Crystal Display) en OLED (Organic Light Emitting Diode)-displays (verder meer uitleg) (TechTarget, 2019).

## 5.3 Plasma

### 5.3.1 Werking

Vanwege de verhouding van de diepte van een CRT-display door de nood aan een beeldbuis en de schermgrootte werden CRT-televisies ongewenst in een huishouden. Plasma-schermpanelen (PDP) waren vanaf 2001 enorm populair.



Figuur 12 Plasma display  
Bron: Jari Laamanen

Plasmaschermen bevatten verschillende cellen die een mengsel bevatten van de edelgassen neon en xenon, die samen "plasma" vormen (Shinoda & Awamoto, 2006). Elke cel kan een elektrische spanning ontvangen, wat vrije elektronen creëert die vervolgens een chemische reactie in de cellen veroorzaken. Positief geladen deeltjes worden aangetrokken tot het negatieve gebied van het plasma en negatieve deeltjes worden aangetrokken tot het positieve gebied. Door de tegenovergestelde bewegingen van deze deeltjes ontstaan botsingen, dit creëert fotonen die licht uitstralen. Het gecreëerde licht is ultraviolet, wat voor het oog onzichtbaar is, maar wanneer het in contact komt met de gekleurde fosforcoating in de subpixelcellen (de rode, groene en blauwe behuizingen die te zien zijn in Figuur 12), zal de fosfor reageren met de fotonen en zichtbaar licht creëren. (Harris, n.d.)

### 5.3.2 Voordelen

Ze hebben t.o.v. CRT-displays een veel betere beeldkwaliteit, bredere kijkhoeken (de hoek waaronder het scherm wordt gezien, loodrecht en gecentreerd t.o.v. het midden van het scherm is dus ideaal) en vooral een dunner ontwerp omdat deze technologie geen beeldbuis nodig heeft

en het geen elektronen afvuurt. (Woodford, 2022c). Plasmaschermen worden geprezen om hun kleurhelderheid en diepe contrasten. Zwart is diep zwart omdat de pixels zelf niet worden verlicht, dus de afwezigheid van licht betekent echt zwart. Dit wordt een "emissief display" genoemd. In vergelijking met andere schermtechnologieën zoals LCD (wordt later besproken in 5.4 LCD) is gebleken dat plasma domineert op het gebied van zwartweergave, contrast (door het verschil tussen licht en donker), wazigheid bij bewegende beelden (*motion blur*, door de hogere resolutie), uniformiteit (dezelfde helderheid over het hele scherm) en kijkhoeken. (Morrison, 2013)

### 5.3.3 Nadelen

Het nadeel van Plasmaschermen, wat ook de oorzaak is van hun verdwijning, is de prijs. Ondanks hun uitstekende beeldkwaliteit, verloren ze de strijd tegen de concurrerende technologie LCD vanwege de hoge kost van de mix van edelgassen en hoog energieverbruik. In vergelijking met LCD presteerde plasma slechter op het gebied van helderheid, resolutie en vooral energieverbruik (Morrison, 2013). In juli 2014 kondigde Samsung aan dat ze de productie van Plasmaschermen zouden beëindigen vanwege de voortdurend afnemende vraag (Reuters, 2014).

Plasma was ook enkel geschikt voor grote televisies waar de consument zich enkele meters vandaan bevindt omdat de plasma technologie een minimale grootte vereist van pixels. Van dichtbij zullen de individuele pixels dus afscheidbaar zijn van elkaar en is het beeld niet scherp. Het was economisch niet geschikt voor kleinere schermen die dicht bij de ogen staan en dus een hogere pixeldensiteit vereisen (Hiltzik, 2014). Pixeldensiteit betekent hoeveel pixels op een bepaald oppervlakte kunnen worden gedrukt. Hoe dicht bij de ogen, hoe hoger de pixeldensiteit moet zijn zodat het beeld scherp blijft.

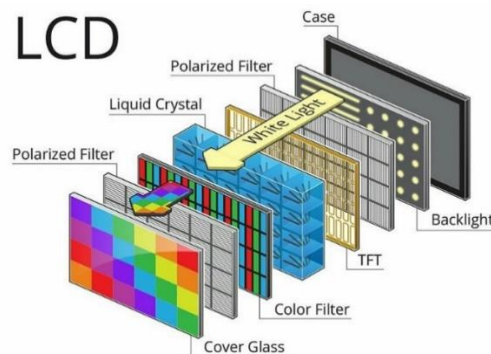
## 5.4 LCD

### 5.4.1 Standaard LCD

#### 5.4.1.1 Werking

LCD's, of Liquid Crystal Displays, behoren tot de meest gebruikte schermen die vandaag de dag in elektronica te vinden zijn. Dit geldt voor televisies, radio's, horloges, (in mindere mate) smartphones, computers, enzovoort. De term "Liquid Cristal/ vloeibare kristallen", die paradoxaal lijkt, verwijst naar het feit dat het scherm bestaat uit kristalstructuren die hun toestand kunnen veranderen door de stroom die erdoorheen gaat. Een vast materiaal verandert zijn moleculen niet; het behoudt zijn moleculaire uitlijning en positionering. Vloeistoffen gedragen zich anders. Zoals geweten is, kan water bewegen en vertoont het dus moleculaire mobiliteit. Vloeibare kristallen hebben een tussenliggende positie. Het zijn vaste stoffen die zich gedragen als een vloeistof wanneer ze worden blootgesteld aan elektrische stimulatie. (Tyson, 2000)

LCD-schermen, gebruiken een achtergrondverlichting die bekend staat als koude-kathode fluorescentielampen (Cold Cathode Fluorescent Lamps, CCFL), die zich over de gehele lengte uitstrekken (Nelson Miller, 2020). De achtergrondverlichting schijnt altijd en illumineert dus constant het volledig schermoppervlak. De vloeibare kristallen worden voor de achtergrondverlichting geplaatst en werken volgens het concept van het blokkeren van uitgaand licht naar de kleurenfilter. Dit wordt een "transmissief display" genoemd. De hoeveelheid lichtdoorlaat wordt gedaan door de hoeveelheid stroom die op de kristallen wordt toegepast. Ze zullen een bepaalde hoeveelheid bewegen zodat er een beperkte hoeveelheid licht door schijnt en de kleurenfilter wordt bereikt. Door de lichtdoorlaat te manipuleren, kunnen we de intensiteit kiezen van elke RGB-kleurwaarde van elk pixel (Tyson, 2000).



Figuur 13 De constructie van een LCD  
Bron: Daken Chemical

#### 5.4.1.2 Voordelen

LCD's hebben de display-industrie gerevolutioneerd omdat ze grote voordelen bieden, zoals productiekost en energie-efficiëntie in vergelijking met CRT/plasma, en ze kunnen ook in een veel dunner formaat worden gemaakt. (TechTarget, 2019).

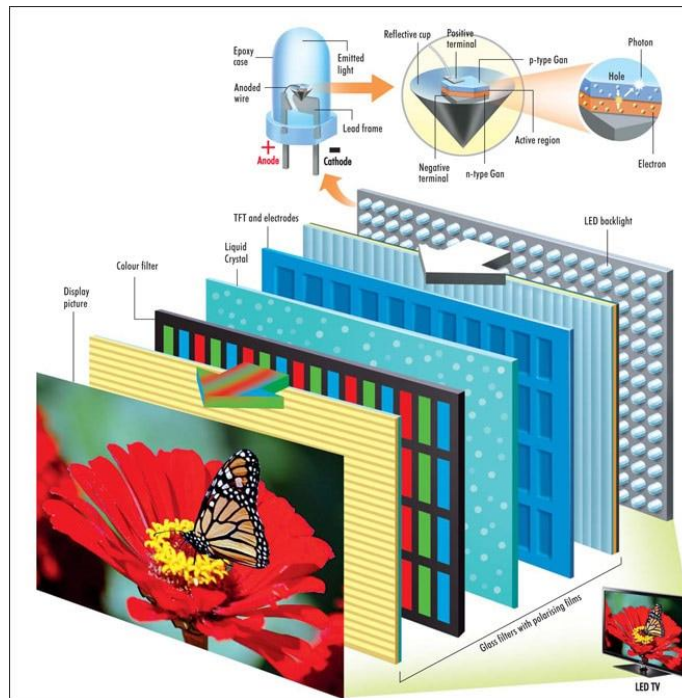
#### 5.4.1.3 Nadelen

Een nadeel van LCD-schermen is dat de kleur zwart nooit echt zwart is. Aangezien de kleuren (subpixels) zelf geen eigen licht produceren maar slechts een filter zijn dat wordt geholpen door de vloeibare kristallen, kunnen ze nooit worden uitgeschakeld. De enige manier om zwart te proberen recreëren is door geen licht door te laten. De kristallen blijven in dat geval gesloten om licht te blokkeren, maar dit gebeurt inefficiënt, aangezien er nog steeds een zogenoemd *blooming*-effect optreedt. te zien in Figuur 16, waar het achterlicht door de kristallen heen kan gezien worden. Een ander nadeel is dat LCD schermen geen goede kijkhoeken hebben, wanneer men niet loodrecht naar het scherm kijkt (kijkhoek) zijn de verschillende lagen van de display niet meer perfect gealigneerd. Dit zorgt voor verkleuring van het beeld en een nog grotere doorlating van het achterlicht. (Morrison, 2021)

### 5.4.2 LED LCD

#### 5.4.2.1 Werking

LED LCD-schermen zijn hetzelfde als LCD-schermen, maar de volledige achtergrondverlichting van het scherm is vervangen door Light Emitting Diodes (LED's).



Figuur 14 LED LCD  
Bron: Business Today

LED's zijn kleine (gloeilampen) die gemakkelijk in een elektrisch circuit kunnen worden geplaatst. Ze bevatten anoden (positief geladen elektroden) en kathoden (negatief geladen elektroden). Diodes zijn ontworpen om eenrichtingsverkeer van stroom toe te staan, wat betekent dat elektriciteit niet vrij kan bewegen in het circuit. LED's zijn speciaal ontworpen diodes die licht afgeven wanneer er elektriciteit wordt opgewekt. Ze maken gebruik van halfgeleiders, materialen die normaal gesproken isolatoren zijn (ze laten geen elektriciteitsstroom toe) die chemisch zijn gewijzigd door atomen van een ander materiaal in te brengen in een proces dat doping wordt genoemd, om enigszins een geleider te worden (Woodford, 2022a).

Door een materiaal zoals silicium te doperen, wordt de chemische samenstelling uit balans gebracht. Het heeft nu ofwel te veel elektronen (n-type, negatief geladen) of te weinig elektronen (p-type, positief geladen). Een diode bestaat uit zowel een n-type als een p-type aan elk uiteinde. Door het negatieve uiteinde van een batterij aan het n-type uiteinde te verbinden, worden elektronen afgestoten en worden positieve atomen van het p-type aangetrokken. Dit zal een stroom van energie genereren, maar als de batterij en de diode andersom worden aangesloten, zal de stroom van elektriciteit niet passeren. (Harris et al., 2002).

De stroom van elektronen naar het p-type uiteinde resulteert in een recombinitie van elektronen met gaten waar energie bij vrij komt. De vrijgekomen energie wordt vervolgens omgezet in een foton, de meest basale eenheid van licht (Wood, 2009). LED's zijn dus nuttig in een scherm omdat delen van het display die volledig zwart moeten zijn, hun lokale LED-achtergrondverlichting kunnen uitschakelen.



Figuur 15 Full array LED backlight  
bron: Sony

#### 5.4.2.2 Voordelen

Deze technologie is een stap vooruit om echte zwarttinten te bereiken waar een beeld zwart moet zijn.

#### 5.4.2.3 Nadelen

De beperkende factor is nog steeds dat de LED's worden gebruikt om een bepaalde oppervlakte van het scherm te verlichten. In situaties waarin zwart naast licht staat, zoals in onderstaande figuur, zal de sectorale LED nog steeds een *halo*-effect vertonen en licht uitstralen bij het verondersteld zwart (Shafer, 2023). Hierdoor zal het wit (blauw bevattend) achtergrond licht nog steeds onze ogen bereiken.

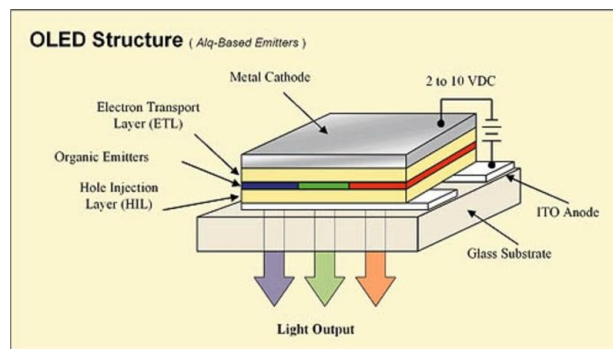


Figuur 16 Blooming effect op LED LCD scherm  
Bron: Adamjackson

## 5.5 OLED

### 5.5.1 Werking

Organic Light Emitting Diodes, of OLED, werken op een vergelijkbare manier als plasmatelevisies, maar in plaats van gas maken ze gebruik van organische verbindingen. Deze organische verbindingen verwijzen naar de moleculen rond koolstofatomen; ze komen van overvloedige substanties zoals alcohol of suiker. OLED-schermen zijn de eenvoudigste vorm van weergavetechnologie, ze zijn emissief (geen andere kleurfilters of lichtblokkerende filters nodig) (Woodford, 2022b).



Figuur 17 OLED display  
bron: tech briefs

OLED bestaat hoofdzakelijk uit meerdere organische lagen die zijn ingeklemd tussen anode en kathode. Wanneer spanning wordt toegepast op de OLED-structuur, zullen de elektronen van de kathode (te veel elektronen) en de gaten van de anode (te weinig elektronen) beginnen te bewegen naar het midden (naar elkaar). De elektronentransportlaag (ETL) heeft als doel om de beweging van elektronen van de kathode naar de emissieve laag te ondersteunen. De Gatinjectielaag (HIL) heeft hetzelfde doel, maar dan voor de gaten van de anode. Wanneer de elektronen en gaten reageren in de organische emissiel laag, worden excitonen gecreëerd, dit zijn geëxciteerde elektron-gatenparen. Ze hebben energie opgenomen van de elektriciteit maar streven ernaar terug te keren naar hun basistoestand. Deze overvloedige energie wordt vervolgens omgezet in fotonen, zo creëert elk individueel subpixel zijn eigen licht (Geffroy et al., 2006).

De kleur van een OLED subpixel wordt bepaald door het halfgeleidermateriaal dat bestaat uit organische verbindingen (Kushwaha, 2013). Door rood, blauw en groene subpixels naast elkaar te plaatsen, kan vrijwel elke kleur worden gecreëerd.

### 5.5.2 Voordelen

OLED-schermen worden geprezen om hun dunheid (minder lagen nodig), contrast (licht kan naast zwart getoond worden), kijkhoeken (bij LCD moeten de lagen van het scherm gealigneerd blijven, wat niet het geval is bij OLED omdat het die lagen niet heeft), ... Ze winnen praktisch op elk gebruikersaspect in vergelijking met LCD (Morrison, 2021). Apple zelf maakte onderscheid tussen OLED en LCD in hun recente iPhones. De "budget" iPhone Xr had een LCD-scherm, terwijl de "premium", duurdere iPhone Xs een OLED-scherm had. (Kelly, 2018)

Wanneer het ECDIS-systeem met een OLED-scherm in nachtmodus wordt gebruikt (witte informatie op zwarte achtergrond), kan er theoretisch een duidelijk verschil optreden in de weergave van zwarttinten, in tegenstelling tot de paarse of blauwe lichtbloeding die in Figuur 18 zichtbaar is bij het gebruik van LCD-schermen. De pixels die zwart weergeven zullen dan effectief uitgeschakeld zijn, waardoor slechts een deel van het scherm verlicht is.



Figuur 18 Navigatiebrug 's nachts met LCD-schermen  
bron: siscom naval

### 5.5.3 Nadelen

OLED-schermen kunnen minder helder worden dan LCD schermen omdat OLED-pixels over het algemeen een lagere maximale helderheid kunnen bereiken in vergelijking met de achtergrondverlichting van LCD's. Een ander nadeel van OLED-schermen is hun hogere prijs, door de hogere productiekost. Ze leiden ook aan een fenomeen genaamd burn-in. Dit is wanneer een deel van het scherm permanent een beeld zal vertonen, ook al wordt er iets anders getoond, door te lang een bepaald beeld op dezelfde plaats te hebben vertoond (Norem, 2023). Burn-in doet zich vooral voor bij OLED schermen wanneer er voor een lange periode gekeken wordt naar sport of het nieuws (zoals bijvoorbeeld de score van een voetbalmatch die in de linkerbovenhoek van het scherm blijft). (Morrison, 2021)

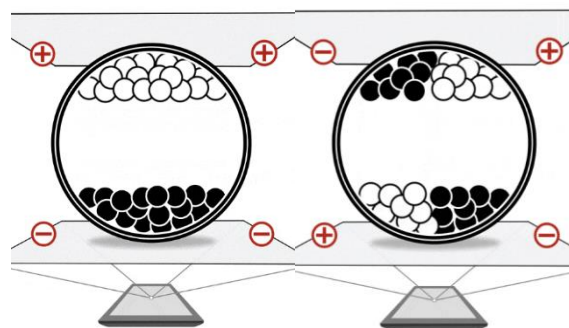


Figuur 19 Een iPhone 15 Pro Max met burn-in  
Bron: Apple Forums

## 5.6 Electrophoretic Displays

### 5.6.1 Werking

Electrophoretic Displays of elektronische papieren displays behoren tot het type scherm dat voornamelijk bekend zijn door e-readers. Het lijkt erg op papier en maakt zelfs gebruik van dezelfde inkt als de drukindustrie. Het bedrijf E Ink, de marktleider in Electrophoretic Displays heeft de E Ink Carta ontworpen, zoals in meer detail te zien is in Figuur 20, die bestaat uit miljoenen microcapsules met een transparante bovinelektrode en een onderste elektrode die een heldere vloeistof omsluiten. Het bevat positief geladen zwarte deeltjes en negatief geladen witte deeltjes. De witte deeltjes worden aangetrokken door een positief elektrisch veld en zwarte deeltjes worden aangetrokken door een negatief elektrisch veld. Door de polarisatie van de elektroden te veranderen, kan zwart en wit op het scherm worden weergegeven. Wanneer miljoenen van deze microcapsules samenwerken, kan het een afbeelding creëren (E Ink, n.d.-a). E Ink is ook verkrijgbaar in kleur, het maakt gebruik van mengsels van gekleurde deeltjes en is in staat om elke kleur weer te geven via complexe software. (Visionect, 2023)

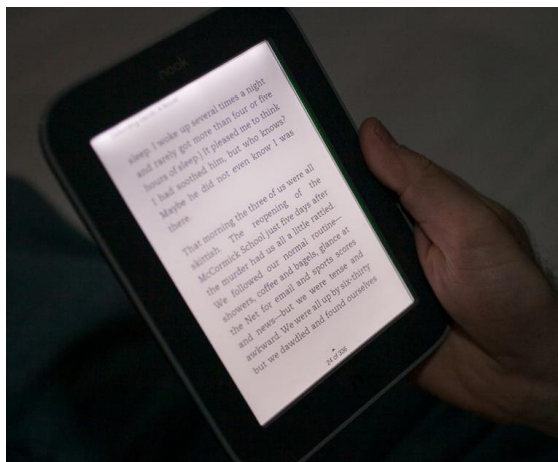


Figuur 20 E Ink Carta  
Bron: E Ink

### 5.6.2 Voordelen

Electrophoretic Displays zijn zeer energiezuinig, ze vereisen alleen energie wanneer de afbeelding wordt gewijzigd (Visionect, 2023). De implementatie van elektronisch papier wordt steeds gebruikelijker in de tabletindustrie. Bedrijven zoals reMarkable zijn populair geworden doordat hun tablets goed functioneren, zeer energiezuinig zijn, zeer dun zijn (omdat deze technologie weinig lagen vereist) en qua gevoel en uiterlijk op papier lijken, dankzij het ontbreken van achtergrondverlichting. (Hilsenteger, 2023). Sommige e-readers hebben echter oplossingen

ontwikkeld om het scherm wel te kunnen gebruiken in het donker. E Ink heeft bijvoorbeeld een scherm geïntroduceerd dat is uitgerust met zijverlichting waarvan de intensiteit kan worden aangepast, waardoor het mogelijk wordt om het scherm ook in donkere omstandigheden duidelijk te zien (E-Ink, n.d.-b).



Figuur 21 E Ink in het donker  
Bron: Sarah Tew/CNET

Een studie uitgevoerd door de *T.H. Chan School of Public Health* van Harvard heeft de impact onderzocht van verschillende schermtechnologieën op de gezondheid van retinale cellen. Specifiek werd gekeken naar de productie van reactieve zuurstofsoorten (ROS), die ontstaan wanneer retinale cellen worden blootgesteld aan blauw licht en kunnen leiden tot schade aan het netvlies. In de proef werd gebruik gemaakt van de E Ink ComfortGaze-technologie, die speciaal is ontworpen om de hoeveelheid witte zijverlichting (blauw licht bevattend) die van het schermoppervlak wordt gereflecteerd te verminderen. De resultaten toonden aan dat apparaten uitgerust met E Ink's ComfortGaze-verlichting tot drie keer minder stress op retinale cellen veroorzaken dan LCD-schermen met koele kleurtemperaturen, en tot twee keer minder stress dan LCD-schermen met warme kleurtemperaturen. (Wang et al., 2023)

Als elektronische papieren tablets eruitzien en aanvoelen als papier, dynamische schermen zijn en geen achtergrondverlichting uitstralen, dan is een toekomst waarin kaarten op een E Ink zijn gemaakt haalbaar. Software kan de noodzaak vervangen van pleinschalen en passers voor kaarthandelingen, en het voordeel van de digitale papieren kaart betekent ook dat de

implementatie van GPS altijd de positie van het schip kan geven. De kaarten hoeven ook niet met de hand te worden bijgewerkt, maar kunnen automatisch worden bijgewerkt met software. Door een gekleurde e-papieren display te gebruiken, betekent dit dat magenta kan worden geprojecteerd en nachtelijke navigatie onder rood licht kan behouden worden.

Een bedrijf genaamd MAPTATTOO heeft reeds een E Ink-displaykaart ontwikkeld, specifiek ontworpen voor gebruik op kleine plezierboten. De recensies over dit product waren overwegend positief. Het betreft een compacte, waterdichte tablet die voorzien is van GPS-functionaliteit, uitstekend leesbaar blijft in direct zonlicht en bovendien meerdere dagen kan functioneren op één enkele laadbeurt. Dit staat in contrast met conventionele schermtechnologieën, zoals LCD en OLED, die minder goed leesbaar zijn in fel zonlicht, belastend kunnen zijn voor de ogen in donkere omstandigheden en aanzienlijk meer energie verbruiken. Daarnaast toont het E Ink-display voortdurend essentiële vaartgegevens, zoals de snelheid en koers van het vaartuig, informatie die voor de gebruiker steeds direct beschikbaar en relevant is. (MAPTATTOO, 2019)



Figuur 22 MAPTATTOO  
Bron: MAPTATTOO

### 5.6.3 Nadelen

Nadelig is dat niet elke zijverlichting zijn kleur kan aanpassen van een witte naar een gele tint, wat betekent dat wanneer het wit licht schijnt, er dus ook deels blauw licht onze ogen bereikt. (Fisher, 2021)

Een belangrijk nadeel van e-readers is hun relatief lage verversingssnelheid (refresh rate), doorgaans rond de 1 Hz (Dhaliwal, 2023). Dit betekent dat het scherm slechts eenmaal per seconde wordt bijgewerkt, wat voldoende is voor het weergeven van statische tekst, maar minder geschikt voor dynamische toepassingen zoals video of interactieve interfaces zoals bij het scrollen. Ter vergelijking: LCD-schermen hebben standaard een verversingssnelheid van 60 Hz (Tech, 2024). De reden voor een lagere verversingssnelheid is dat de pigmentdeeltjes die zich in de capsules bevinden enige tijd nodig hebben om zich op de juiste plaats te zetten. Het scherm moet ook volledig verversed worden wanneer het beeld verandert, wat nog extra tijd vraagt. Deze lage verversingssnelheid resulteert in een aanzienlijke vertraging, wat vooral storend kan zijn tijdens snelle handelingen, zoals bladeren door documenten of navigeren door menu's. Dit kan de gebruikservaring negatief beïnvloeden, omdat het apparaat minder responsief aanvoelt. Hoewel de lage verversingssnelheid inherent is aan E Ink-technologie, vormt dit een beperking voor toepassingen die snelle beeldverversing vereisen (Team EMB, 2024).

Desondanks zijn er recente innovaties die deze beperking aanpakken. Zo heeft het bedrijf Dasung de Paperlike 103 geïntroduceerd, een draagbare E Ink-monitor met een verversingssnelheid van 60 Hz. Dit is een aanzienlijke verbetering ten opzichte van eerdere modellen en maakt vloeiend scrollen, webnavigatie en zelfs het afspelen van video's mogelijk, terwijl het stroomverbruik laag blijft en de ogen minder worden belast. (Liszewski, 2025).

## 5.7 ECDIS

Op de scheepsbrug bevinden zich talrijke schermen, waarvan onder andere de ECDIS van essentieel belang is voor het veilig navigeren. In dit hoofdstuk wordt specifiek ingegaan op de eigenschappen van hedendaagse ECDIS-schermen. Hoewel andere schermen op de brug eveneens een rol spelen in de lichtomgeving en de situational awareness (het herkennen waar je bent en wat nodig is om de taak veilig uit te voeren) van de officier, wordt dit onderzoek beperkt tot de ECDIS. Deze afbakening is ingegeven door de centrale rol van het ECDIS in de navigatiepraktijk en de directe relevantie van dit systeem voor de onderzoeksvraag met betrekking tot de link tussen de schermtechnologie en de nachtmodus.

ECDIS-systemen hebben zo goed als alle papieren kaarten vervangen. Het leidend bedrijf in het maken van nautische kaarten, het United Kingdom Hydrographic Office (UKHO), kondigde in juli 2022 aan dat het van plan is de productie van papieren kaarten tegen eind 2026 stop te zetten, aangezien dit economisch niet langer voordelig is. 85% van de vraag naar kaarten is verschoven naar digitaal. Het UKHO heeft aangegeven dat zij nog enkele jaren papieren kaarten zullen blijven produceren voor gebruikers die hier behoefte aan hebben, zoals pleziervaartboten. (UKHO, 2023).



Figuur 23 ECDIS met AIS  
Bron: Carlos Albuquerque

Onder de ECDIS-carriageverplichting volgens SOLAS V/19.2.19 wordt aangegeven welke schepen verplicht een ECDIS aan boord moeten hebben (Kongsberg, 2017). In de praktijk betekent dit dat nagenoeg alle moderne koopvaardijsschepen geacht worden over een ECDIS-systeem te beschikken.

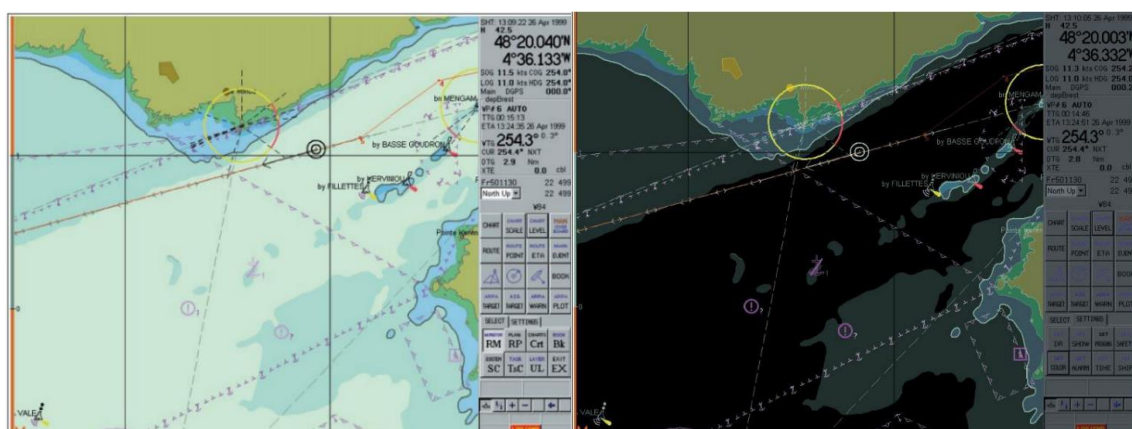
### 5.7.1 ECDIS vereisten

Maritieme schermen worden aan boord zowel buiten als binnen gebruikt waarvoor weerstand nodig is tegen: direct zonlicht (moet leesbaar blijven), extreme temperaturen, water (zowel zoet als zout), stof en andere fijne partikels, beweging en trillingen, impact van andere objecten of mensen. (Corning, 2020)

In de “IMO resolution MSC.530(106) performance standards for electronic chart display and information system (ECDIS)”, staat bij 10.4 Display Requirements “The method of presentation should ensure that the displayed information is clearly visible to more than one observer in the conditions of light normally experienced on the bridge of the ship by day and by night.” (IMO, 2022).

De meest recente (2014) editie van de publicatie van de International Hydrographic Organization (IHO) van “Specification for chart content and display aspects of ECDIS” deel 2.1.1 “design considerations” geeft richtlijnen voor het design van operationele ship-handling schermen. “... and for night when so little luminance is tolerated that area colours are reduced to shades of dark grey (maximum luminance of an area colour is 1.3 cd/sq.m compared with 80 cd/sq.m for bright sun) and only fine lines can be bright” (IHO, 2014). Een luminantiewaarde van 1,3 cd/m<sup>2</sup> betekent dat het boven de limiet van 0,003 cd/m<sup>2</sup> voor scotopisch zicht ligt. Scotopisch zicht zal dus niet bereikt worden tijdens nachtelijke navigatie met een ECDIS wegens de hoge lichtintensiteit. (Bury & Khalique, 2023)

In 2018 publiceerde IHO S-66-FACTS ABOUT ELECTRONIC CHARTS AND CARRIAGE REQUIREMENTS waarin staat “...ECDIS provides a negative image of the chart at night, using a dark background in place of the white background of the paper chart, in order not to impair night vision.” (IHO, 2018).



Figuur 24 ECDIS standaard display dag (links) and standaard display nacht (rechts)

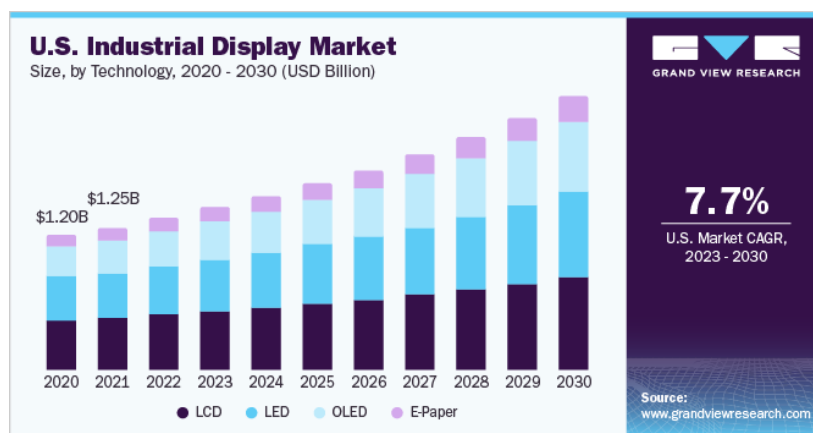
Bron: IHO

Zoals te zien is in bovenstaande figuur, worden enkel de witte delen zwart, terwijl de andere kleuren onveranderd blijven, zo niet iets donkerder. De symbolen, landmassa's, sectorlichten, enzovoort, die op het scherm te zien zijn, zijn nog steeds in kleur en kunnen dus een vermindering in rodopsine veroorzaken.

### 5.7.2 ECDIS vandaag

De mondiale markt voor maritieme industriële displays wordt verwacht aanzienlijke groei te vertonen in de komende jaren. Traditionele beeldschermapparaten, gebaseerd op kathodestraalbuistechnologie (CRT), waren omvangrijk en namen veel ruimte in beslag, waardoor ze niet voldeden aan de vereisten van industriële toepassingen binnen de moderne maritieme sector. (Data Bridge, 2022)

Marine-displays zijn te vinden in veel verschillende technologieën, zoals LCD, LED LCD, OLED of Electrophoretic Displays. In 2023 domineerde LCD de industriële displaymarkt met een aandeel van 60%, maar OLED wordt verwacht de grootste groei te zien vanwege zijn superieur beeldkwaliteit en lager energieverbruik (WiseGuyReports, 2025). De samengestelde jaarlijkse groeisnelheid (Compound Annual Growth Rate, CAGR) van LCD voorspeld voor de periode tussen 2023 en 2030 is 5,6%. Dit betekent dat elk jaar 5,6% meer LCD-schermen worden gebouwd in vergelijking met het voorgaande jaar. Deze groei is lager dan die van e-paper-displays, die op 7,9% worden geschat (Grand View Research, 2023). Er is geen data over plasma schermen op schepen.



Figuur 25 U.S. Industrial Display Markt  
Bron: Grand View Research

ECDIS heeft het werk van OOW's wereldwijd eenvoudiger gemaakt: de updates en correcties gebeuren automatisch, zonder dat de OOW de papieren kaarten hoeft aan te passen. Inzicht in de positie en snelheid van het schip zijn steeds te vinden, alarminstellingen zijn aanpasbaar en de kaart blijft nauwkeurig met de nieuwste data.

Samenvattend kan ECDIS worden beschouwd als een essentieel instrument ter verbetering van zowel navigatie overdag als 's nachts door het bevorderen van situational awareness. De effectiviteit van het systeem is echter afhankelijk van correct gebruik, adequate scholing en een evenwichtige integratie van elektronische systemen met traditionele navigatievaardigheden. (ASYALI, 2012)

Er zijn nieuwe problemen ontstaan die voor de implementatie van een ECDIS ongehoord waren. De ECDIS leidt tot overmatig vertrouwen doordat het toestaat, onder veel andere toepassingen, dat de gebruiker zijn eigen veilige diepte invoert, waardoor er een mogelijkheid is om een verkeerde veilige diepte in te voeren. Dit leidt tot een verkeerde weergave van gegevens. Alarmdoofheid vormt eveneens een hedendaags probleem. Het toenemende aantal alarmen en de frequentere activatie ervan kunnen de OOW zodanig storen dat de neiging om deze alarmen uit te schakelen zonder voorafgaande controle toeneemt. Daarnaast bestaat een grote variëteit aan ECDIS-systemen, die elk een afzonderlijke leercurve vereisen en vatbaar zijn voor software-afwijkingen (zogenoeten *bugs*). (Siscom, 2015)

## 6 Methodologie

### 6.1 Doel van het experiment

Deze proef heeft tot doel te onderzoeken of de opbouw van verschillende schermtypen nadelige effecten kan veroorzaken op het zicht in nachtelijke omstandigheden. De focus ligt hierbij op een vergelijking tussen LCD-, OLED- en E-Ink-schermen.

LCD- en OLED-schermen worden getest omdat deze in de hedendaagse praktijk aan boord van koopvaardij schepen het meest worden gebruikt. Bij beide wordt een nachtmodus toegepast. Op deze manier kan op objectieve wijze worden onderzocht in welke mate de gebruikte schermtechnologie, bij het hanteren van een nachtmodus, invloed heeft op het nachtzicht.

Het E Ink-scherm wordt getest in combinatie met rood omgevingslicht, om te bepalen of dit type scherm als potentiële retrofit meer voordelen kan bieden voor het nachtzicht.

Hoewel historisch relevant komen CRT-en Plasma schermen niet aan bod in deze proef wegens hun bescheiden gebruik aan boord van moderne koopvaardij schepen.

Na grondig onderzoek op verschillende wetenschappelijke database is geen equivalente proef gevonden die in deze thesis uitgevoerd wordt. De proef is samengesteld uit een combinatie van concepten die in de literatuurstudie zijn aangehaald en die gezamenlijk de basis vormen voor een experimenteel onderzoek.

### 6.2 Hypothese

Er wordt verwacht dat een LCD-scherm, een sterkere negatieve invloed heeft op het herstel van het nachtzicht dan een OLED-scherm, aangezien bij LCD-technologie zelfs bij de weergave van zwarte beelden een constant achtergrondlicht actief blijft. Hierdoor wordt de emissie van blauw licht slechts in beperkte mate gereduceerd, terwijl de pixels bij OLED-schermen volledig kunnen worden uitgeschakeld. E Ink-schermen worden verondersteld de geringste invloed te hebben op het behouden van nachtzicht, aangezien zij zelf geen blauw licht uitstralen en uitsluitend zichtbaar worden door omgevingslicht.

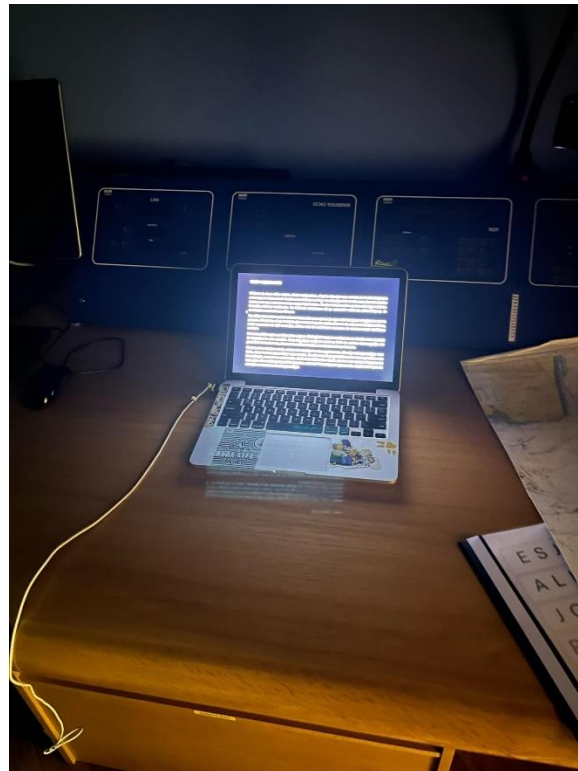
Samenvattend luidt de hypothese: Na blootstelling aan LCD-technologie heeft de gebruiker de langste hersteltijd nodig. Bij OLED is deze hersteltijd korter. E Ink levert de meest gunstige resultaten op, het herstel het minst tijd vergt.

## 6.3 Benodigde materialen

### 6.3.1 Verschillende schermtechnologieën

#### 6.3.1.1 LCD

Voor deze proef wordt gebruikgemaakt van een 13,3-inch (diagonaal) MacBook Pro uit 2015. Het toestel beschikt over een zogenaamd *Retina-display*, een door de fabrikant gehanteerde merknaam voor een beeldscherm dat hetzelfde is als LCD-technologie. (Hoxton Macs, 2024)



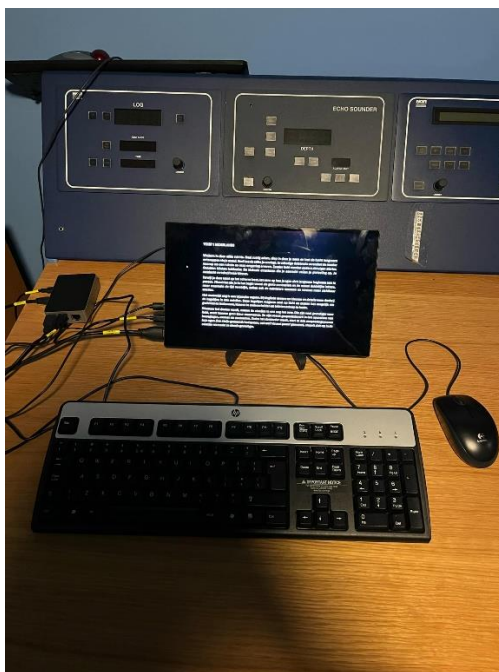
Figuur 26 2015 MacBook Pro  
Bron: Eigen Bron

### 6.3.1.2 OLED

Het gebruikte OLED-scherm in dit onderzoek betreft een 13,3-inch AMOLED-display, verkrijgbaar via WaveShare (<https://www.waveshare.com/product/13.3inch-qhd-amoled.htm>). AMOLED staat voor “Active Matrix OLED”. Deze schermen bezitten een “TFT”-laag (Thin Film Transistor) die zorgt voor een snellere verversingssnelheid. Afgezien van de Active Matrix is dit een OLED-scherm zoals besproken in de literatuurstudie. De term AMOLED in plaats van OLED is in dit geval van ondergeschikt belang omdat de structuur van het scherm gelijk is.

Dit scherm heeft dezelfde afmetingen als het eerder vermelde LCD-scherm van de MacBook Pro. Dit is een belangrijk detail om een variabele onmiddellijk uit de test uit te sluiten, namelijk het oppervlak van het licht dat wordt uitgezonden bij het weergeven van informatie. Bij weergave van een volledig wit beeld wordt verwacht dat beide schermen een vergelijkbare hoeveelheid licht uitstralen.

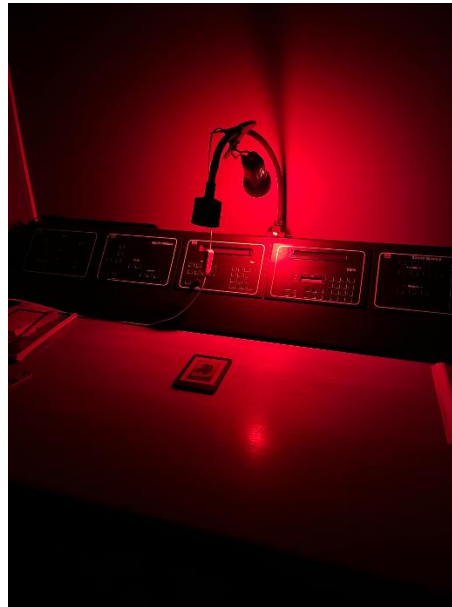
De onderstaande figuur toont het OLED-scherm aangesloten op een Raspberry Pi (verder meer uitleg), een toetsenbord en een computermuis.



Figuur 27 OLED-scherm met Raspberry Pi  
Bron: Eigen Bron

#### 6.3.1.3 E Ink

Het gebruikte E Ink-toestel in deze proef betreft een Kobo Clara, een e-reader uitgerust met een E Ink Carta-scherm. Hoewel dit scherm kleiner is dan zowel het LCD- als het OLED-scherm, is dit verschil niet van belang binnen de context van dit onderzoek. De grootte van het E Ink-scherm beïnvloedt het verlichte gebied op het tafelblad niet, aangezien de weerkaatsing constant blijft ongeacht de schermdimensies die onder het licht worden geplaatst.



Figuur 28 E-reader onder rood licht  
Bron: Eigen Bron

#### 6.3.2 Raspberry Pi

Het gebruikte OLED-scherm heeft geen geïntegreerd besturingssysteem, maar heeft een externe computer nodig om gebruikt te worden. Een Raspberry Pi wordt in deze proef gebruikt om het scherm te kunnen besturen en er zo beelden op te kunnen projecteren. Dit is een compacte minicomputer met een eigen besturingssysteem, die voornamelijk wordt gebruikt om programmeervaardigheden aan te leren. Een toetsenbord en muis worden via USB aangesloten, waardoor de Raspberry Pi een volledig functionerende computer kan simuleren. Via een USB-aansluiting kunnen documenten naar de Raspberry Pi worden overgedragen en vervolgens op het OLED-scherm worden weergegeven.

### 6.3.3 Testomgeving

De testen vinden plaats in volledig verduisterde ruimtes om externe lichtinvloeden te elimineren en volledige overgang naar het nachtzicht te garanderen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de Polaris simulator ruimtes op de Antwerp Maritime Academy. Het lokaal bestaat uit een “hoofdruimte” met daarin de afhankelijke simulatoren, hier “proefruimtes” genoemd. In het lokaal bevinden zich 4 simulatoren: Altair, Bellatrix, Capella, en een 360-graden brug Polaris die bij deze proef niet gebruikt wordt. De proefruimtes bevinden zich in een rij naast elkaar, maar hebben niet exact dezelfde afmetingen. Lokaal Bellatrix is groter dan Altair en Capella, waardoor er kleine verschillen bestaan in de ruimtelijke configuraties van de testlocaties. Van links naar rechts zijn de lokalen respectievelijk Altair, Bellatrix, Capella. Het LCD-scherm is in Altair opgesteld. In Bellatrix is het OLED-scherm opgesteld. In Capella bevindt zich het E Ink scherm met een rood-licht bureaulamp.

### 6.3.4 Luxmeter

Een potentiële variabele die tijdens de proef van invloed kan zijn, is de helderheid van het scherm. Het is essentieel om de verschillende schermen zorgvuldig op elkaar af te stemmen, zodat de hoeveelheid licht die door de LCD- en OLED-schermen wordt uitgestraald gelijk is. Voor het E-Ink-scherm wordt daarentegen de hoeveelheid licht gemeten die door de rode bureaulamp op het scherm wordt gereflecteerd. Als de helderheid van de schermen verschilt, betekent dit dat ook de intensiteit van het licht die het oog van de gebruiker binnenkomt varieert. Daardoor wordt het onmogelijk om de resultaten uitsluitend toe te schrijven aan het gebruikte type schermtechnologie. Door deze potentiële variabele te elimineren kan een eventueel verschil in de bekomen proefresultaten niet aan helderheidsverschillen worden toegeschreven.

Om de schermen op elkaar af te stemmen is het nodig de helderheid van de schermen te kunnen meten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een lichtmeter of luxmeter. Deze toestellen meten, met behulp van een geïntegreerde lichtsensor, de intensiteit van de lichtinval op een bepaald oppervlak, uitgedrukt in lux (lx).



Figuur 29 Lichtmeter  
Bron: Bol.com

(Sigma Safety, 2020). Eenheden die relevant zijn bij het meten en beoordelen van lichtsterkte en verlichtingssterkte worden weergegeven in onderstaande tabel:

Tabel 3 Eenheden van licht

| <u>Eenheid</u> | <u>Symbool</u> | <u>Betekenis</u>                                           | <u>Formule of relatie</u>                    |
|----------------|----------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>Lumen</b>   | lm             | Hoeveelheid licht uitgezonden door een lichtbron           | $lm = cd \times \text{steradiaal}$           |
| <b>Candela</b> | cd             | Het aantal lumen in het uitgestraalde licht                | $1 \text{ cd} = 1 \text{ lm per steradiaal}$ |
| <b>lux</b>     | lx             | Het aantal lumen op een specifiek gebied van een oppervlak | $lx = lm / m^2$                              |

Bron: Ryer

Een steradiaal is een maat voor een ruimtelijke hoek waarover het licht verspreid wordt (Ryer, 1997)

Om te vermijden dat een professionele lichtmeter, moet worden aangekocht, wordt bij deze proef gekozen om gebruik te maken van apps die in staat zijn om de lichtintensiteit te meten vanuit een smartphone. Deze mobiele apps maken gebruik van de lichtsensoren die standaard in de smartphones aanwezig zijn.

In deze proef worden 2 apps gebruikt, de Photone app en de Light Meter LM-3000, gecreëerd door Lightray Innovation GmbH. In onderstaande figuur is een vergelijking te zien tussen een

werkelijke luxmeter (PeakTech S086) en verschillende luxmeter apps. De Photone app vertoont het minste afwijking in gemeten waardes ten opzichte van de PeakTech S086. Opvallend is ook dat de Photone app beter presteerde dan de luxmeter die in Figuur 29 te zien is, de UT383. (Lightray Innovation GmbH, 2022)

|               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |        |       |       |       |       |       |       |     |       |     |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|
|               | S086<br>PeakTech®<br>\$20                                                         | Photone<br>Lightray Innovation<br>Free with IAP                                   | Luminas Meter<br>Virtua Technologies<br>Free                                      | LightMeter<br>Nipakul Buttua<br>Free with Ads                                     | UT383<br>Uni-T<br>\$20                                                            | M56610<br>Maatech<br>\$25                                                         | Lux Camera<br>Tu Anh Do<br>Free with Ads                                          | Light Lux Meter<br>Axxol<br>\$4                                                   | Light Meter<br>Vlad Polyanskiy<br>\$2                                               | Light Meter<br>Marina Polyanskaya<br>Free with IAP                                  | Light Meter<br>Marina Polyanskaya<br>\$2                                            | Lux Meter<br>Pavel Bukhonorov<br>\$2                                                |        |       |       |       |       |       |       |     |       |     |
| Average Error |                                                                                   | 3%                                                                                | 18%                                                                               | 18%                                                                               | 19%                                                                               | 21%                                                                               | 22%                                                                               | 36%                                                                               | 72%                                                                                 | 73%                                                                                 | 73%                                                                                 | 75%                                                                                 |        |       |       |       |       |       |       |     |       |     |
| Lux Reference | Lux                                                                               | Error                                                                             | Lux                                                                               | Error                                                                             | Lux                                                                               | Error                                                                             | Lux                                                                               | Error                                                                             | Lux                                                                                 | Error                                                                               | Lux                                                                                 | Error                                                                               | Lux    | Error | Lux   | Error | Lux   | Error |       |     |       |     |
| 201           | 190                                                                               | 5%                                                                                | 129                                                                               | 36%                                                                               | 218                                                                               | 8%                                                                                | 249                                                                               | 24%                                                                               | 152                                                                                 | 24%                                                                                 | 226                                                                                 | 12%                                                                                 | 127    | 37%   | 203   | 1%    | 202   | 0%    | 203   | 1%  | 226   | 12% |
| 404           | 400                                                                               | 1%                                                                                | 277                                                                               | 31%                                                                               | 445                                                                               | 10%                                                                               | 498                                                                               | 23%                                                                               | 314                                                                                 | 22%                                                                                 | 453                                                                                 | 12%                                                                                 | 230    | 43%   | 294   | 27%   | 295   | 27%   | 294   | 27% | 295   | 27% |
| 841           | 850                                                                               | 1%                                                                                | 560                                                                               | 33%                                                                               | 707                                                                               | 16%                                                                               | 1008                                                                              | 20%                                                                               | 651                                                                                 | 23%                                                                                 | 716                                                                                 | 15%                                                                                 | 517    | 39%   | 313   | 63%   | 314   | 63%   | 315   | 63% | 309   | 63% |
| 2020          | 2100                                                                              | 4%                                                                                | 1436                                                                              | 30%                                                                               | 1675                                                                              | 17%                                                                               | 2420                                                                              | 20%                                                                               | 1540                                                                                | 24%                                                                                 | 1529                                                                                | 24%                                                                                 | 1125   | 44%   | 352   | 83%   | 341   | 83%   | 352   | 83% | 363   | 82% |
| 3860          | 3900                                                                              | 1%                                                                                | 4054                                                                              | 5%                                                                                | 2837                                                                              | 27%                                                                               | 4476                                                                              | 16%                                                                               | 2960                                                                                | 23%                                                                                 | 2962                                                                                | 23%                                                                                 | 1680   | 56%   | 383   | 90%   | 386   | 90%   | 386   | 90% | 437   | 89% |
| 7308          | 7700                                                                              | 5%                                                                                | 7669                                                                              | 5%                                                                                | 7677                                                                              | 5%                                                                                | 8625                                                                              | 18%                                                                               | 5680                                                                                | 22%                                                                                 | 7879                                                                                | 8%                                                                                  | 4445   | 39%   | 591   | 92%   | 600   | 92%   | 594   | 92% | 649   | 91% |
| 12185         | 12300                                                                             | 1%                                                                                | 12999                                                                             | 7%                                                                                | 13930                                                                             | 14%                                                                               | 13860                                                                             | 14%                                                                               | 9520                                                                                | 22%                                                                                 | 14000                                                                               | 15%                                                                                 | 8416   | 31%   | 870   | 93%   | 870   | 93%   | 870   | 93% | 795   | 93% |
| 24772         | 24900                                                                             | 3%                                                                                | 24948                                                                             | 3%                                                                                | 28218                                                                             | 17%                                                                               | 28170                                                                             | 17%                                                                               | 19800                                                                               | 18%                                                                                 | 28000                                                                               | 16%                                                                                 | 17008  | 30%   | 1626  | 93%   | 1626  | 93%   | 1626  | 93% | 1543  | 94% |
| 48000         | 49000                                                                             | 2%                                                                                | 50619                                                                             | 5%                                                                                | 57781                                                                             | 20%                                                                               | 55890                                                                             | 16%                                                                               | 39400                                                                               | 18%                                                                                 | 57000                                                                               | 19%                                                                                 | 33135  | 31%   | 3906  | 92%   | 3910  | 92%   | 3910  | 92% | 4180  | 91% |
| 92125         | 95000                                                                             | 3%                                                                                | 114307                                                                            | 24%                                                                               | 114544                                                                            | 24%                                                                               | 109000                                                                            | 18%                                                                               | 75800                                                                               | 18%                                                                                 | 120000                                                                              | 30%                                                                                 | 65781  | 29%   | 10917 | 88%   | 10919 | 88%   | 10917 | 88% | 10611 | 88% |
| 123225        | 133000                                                                            | 8%                                                                                | 144635                                                                            | 17%                                                                               | 171327                                                                            | 39%                                                                               | 150100                                                                            | 22%                                                                               | 101700                                                                              | 17%                                                                                 | 200000                                                                              | 62%                                                                                 | 102670 | 17%   | 30874 | 75%   | 22239 | 82%   | 22208 | 82% | 10841 | 91% |

Figuur 30 Vergelijkingen Luxmeters  
Bron: Lightray Innovation GmbH

Aangezien de LM-3000 app is ontworpen door hetzelfde bedrijf als de Photone app hanteert het dus identieke software voor luxmetingen. Deze app wordt in deze thesis samen met de Photone app gebruikt als dubbele controle voor de gemeten luxwaardes.

Voor het gebruik van deze apps is een zogenaamde *diffuser* nodig om het invallend licht gelijkmatig te verspreiden over de sensor. In deze thesis wordt een zelfgemaakte diffuser gebruikt gerealiseerd door een stuk papier. De onderstaande figuur toont zo'n zelfgemaakte diffuser. Opvallend is dat de hiermee verkregen meetwaarden in sterke mate overeenkomen met die van een professionele luxmeter.



Figuur 31 Lichtmeter app en Apparaat  
Bron: Lightray Innovation GmbH

Hoewel er steeds een mogelijkheid bestaat dat de metingen die met dergelijke applicaties worden uitgevoerd geen correcte absolute wetenschappelijke waarden opleveren, is dit in het kader van deze thesis van ondergeschikt belang. De applicaties worden immers uitsluitend ingezet om consistente en onderling vergelijkbare relatieve meetwaarden te registreren binnen een gecontroleerde setting.

### 6.3.5 Contrastgevoeligheid testkaart

Zoals aangehaald in deel 2.1 zijn staven in de ogen gevoelig aan contrast maar niet aan kleur. Met tijd worden de staven steeds actiever door vrijgave van rodopsine en kan het oog lagere contrasten waarnemen. Er wordt in deze thesis gemeten welke contrasten een deelnemer kan waarnemen alsook de benodigde tijd om dat resultaat te bereiken.

Om dit te meten is een oogtestkaart opgemaakt, geïnspireerd door de Pelli-Robson contrast sensitivity chart. Microsoft Word is gebruikt geweest om de contrasten aan te passen. De oogtestkaart bevat verschillende lagen van contrastniveaus, met rij 1 het hoogste contrast en rij

6 het laagste contrast. Elke rij is verder onderverdeeld in twee contrastniveaus. Het hoger contrast wordt op de 3 linkse letters toegepast, de 3 rechtse letters hanteren het lager contrast. De exacte contrastwaardes zijn in onderstaande tabel weergegeven. Onder de tabel staat een afbeelding van één van de gebruikte testkaarten.

Tabel 4 Contrast Niveaus

| <b>Rij</b> | <b>Eerste 3 letters</b>     | <b>Laatste 3 letters</b>    |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <b>1</b>   | 100% zwart (0% doorzichtig) | 90% zwart (10% doorzichtig) |
| <b>2</b>   | 80% zwart (20% doorzichtig) | 70% zwart (30% doorzichtig) |
| <b>3</b>   | 60% zwart (40% doorzichtig) | 50% zwart (50% doorzichtig) |
| <b>4</b>   | 40% zwart (60% doorzichtig) | 30% zwart (70% doorzichtig) |
| <b>5</b>   | 20% zwart (80% doorzichtig) | 10% zwart (90% doorzichtig) |
| <b>6</b>   | 5% zwart (95% doorzichtig)  | 2% zwart (98% doorzichtig)  |

Bron: Eigen Bron



Figuur 32 Oogtestkaart

Bron: Eigen bron

De rijen bestaan uit letters in willekeurige volgorde, zodanig geordend dat zij geen betekenisvolle woorden vormen. Op deze wijze wordt voorkomen dat de deelnemers letters

kunnen afleiden uit herkenbare patronen. Het correct uitspreken van letters zonder dat deze daadwerkelijk gelezen worden, zou immers leiden tot een foutieve registratie van de benodigde tijd, wat de betrouwbaarheid van de meetresultaten negatief zou beïnvloeden.

In het kader van deze proef worden de testkaarten gebruikt om na te gaan hoeveel tijd nodig is vooraleer een persoon bepaalde lage contrasten kan waarnemen na blootstelling aan verschillende schermtypes. De contrasten op de testkaarten fungeren als referentiewaardes waarnaast de tijd kan worden geregistreerd die nodig is om onder verduisterde omstandigheden een bepaald contrastniveau te zien.

#### 6.3.6 Tijdregistratie

Een timer functie op een horloge wordt gebruikt om de duur van elke testfase nauwkeurig bij te houden, wat bijdraagt aan de consistentie van de testprocedures. De timer blijft tijdens de volledige duur van de testen onafgebroken actief.

Het is van belang dat de timer gedurende de gehele proef niet wordt stopgezet. De verstreken tijd moet continu worden geregistreerd om er zeker van te zijn dat de exacte duur van blootstelling voor alle participanten bekend is. Op deze wijze kunnen de testresultaten betrouwbaar met elkaar worden vergeleken, aangezien iedere deelnemer dezelfde periode in het donker heeft doorgebracht.

De timer wordt tegelijkertijd gebruikt om te weten wanneer contrastmetingen moeten worden gedaan.

#### 6.3.7 Registratie van waarnemingen

Alle meetwaarden worden vastgelegd in een Excel-spreadsheet om de verzamelde gegevens systematisch te documenteren. Er wordt in deze proef voor Excel gekozen vanwege de overzichtelijke structuur en de gebruiksvriendelijke mogelijkheden voor berekeningen en verdere verwerking van de bekomen data.

### 6.3.8 Rood licht

Een rode LED-bureaulamp wordt in Capella gebruikt om de e-reader te kunnen lezen. Ook wordt een rode zaklamp gebruikt om tijdens de proeven, om de twee minuten, de testkaarten voor korte tijd op te lichten.

### 6.3.9 Tape

Zwarte, niet-transparante duct tape en isolatietape worden toegepast om ongewenst licht binnenin de proefruimtes te minimaliseren, zoals bij het ophangen van black-out gordijnen en het afplakken van lichtbronnen afkomstig van elektrisch materiaal. Ze worden ook gebruikt om herkenningspunten binnenin de ruimte te identificeren

Tijdens de proef worden de oogtestkaarten met isolatietape aan de muur bevestigd. Er wordt isolatietape gebruikt aangezien deze geen schade aan de muur kunnen brengen door hun laag kleefvermogen

### 6.3.10 Teksten

Omwillen van de standaardisatie, reproduceerbaarheid van de proefopstelling en relevantie tot het bredere publiek is er in dit onderzoek bewust gekozen voor het gebruik van witte tekst op een zwarte achtergrond in plaats van maritieme kaarten in nachtmodus. Maritieme ECDIS-kaarten bevatten in nachtmodus diverse kleuren, symbolen en grafische elementen met uiteenlopende helderheidswaarden en contrastverhoudingen, die sterk kunnen variëren naargelang kaartinstellingen, schaal en situatie. Dit bemoeilijkt een objectieve vergelijking tussen verschillende schermtechnologieën, omdat verschillen in leesbaarheid zowel aan de schermtechniek als aan de complexiteit van de kaartinhoud kunnen worden toegeschreven. Door gebruik te maken van teksten wordt er geen nieuwe variabele geïntroduceerd die de resultaten zou kunnen beïnvloeden.

De teksten die de deelnemers tijdens de testen dienen te lezen zijn opgenomen in Annex 1, 2, 3 en 4. Twee van deze teksten zijn in het Frans en twee in het Nederlands, zodat zowel

Franstaligen als Nederlandstaligen aan het experiment kunnen deelnemen. De inhoud van deze teksten is gegenereerd met behulp van ChatGPT, aangezien de inhoud zelf niet van wezenlijk belang is. De teksten dienen uitsluitend als leesmateriaal voor de deelnemers en hebben verder geen invloed op de proef.

Bij de e-reader worden deze teksten niet gebruikt. Aangezien een e-reader met een E Ink-scherm zelf geen licht uitstraalt, is het niet noodzakelijk om een donkere achtergrond met lichte letters te hanteren. De deelnemers zullen in dit geval boeken lezen die vooraf in de e-reader zijn opgenomen.

#### 6.3.11 Formulier / vragenlijst

In Annex 8 en 9 zijn de vragenlijsten opgenomen die de deelnemers dienen in te vullen voorafgaand aan de start van de proef. Het doel van deze formulieren is te bevestigen dat de deelnemers voldoen aan de vastgelegde inclusie- en exclusiecriteria (zie toelichting in het volgende deel).

De vragenlijsten bevatten een reeks persoonlijke vragen die verband houdt met de thema's die in de literatuurstudie, onder deel 3.1 Negatieve effecten op het (nacht)zicht, worden besproken. Enkel deelnemers die aan de gestelde criteria voldoen, worden tot de proef toegelaten. Op deze manier wordt de betrouwbaarheid en de interne validiteit van het onderzoek gewaarborgd.

### 6.4 Deelnemers

#### 6.4.1 Inclusiecriteria

De deelnemers zijn allemaal jonger dan 40 jaar oud. Deze leeftijd dient als grenswaarde om leeftijdsgebonden verschillen in donkeradaptatie die zich kunnen voordoen bij leeftijd gerelateerde visuele beperkingen zoals leeftijdsgebonden maculadegeneratie (LMD). Hoe ouder een persoon, hoe meer kans tot het ontwikkelen van zichtproblemen. Met andere woorden: alleen personen met een normaal of gecorrigeerd normaal zicht worden toegelaten tot de proef.

#### 6.4.2 Exclusiecriteria

Onderstaande lijst bevat de gehanteerde exclusiecriteria. Geen van de deelnemers vertoont kenmerken die aanleiding geven tot uitsluiting op basis van deze criteria.

- Personen die een blauwlichtfilterbril dragen tijdens de test. Indien deelnemers over dergelijke brillen beschikken, dienen zij deze tijdens de blootstelling aan het scherm af te nemen. Door de brillen af te nemen worden deze deelnemers niet beoordeeld door minder blootgesteld te worden aan blauw licht.
- Personen met nachtblindheid (nyctalopie)
- Personen met gekende oogafwijkingen die invloed hebben op adaptatie (bv. retinitis pigmentosa, ernstige cataract)
- Personen die ernstige slaapproblemen of slaaptekort melden
- Personen met een aandoening waarbij pupilreflexen afwijkend zijn (bv. na bepaalde oogoperaties)
- Personen die medicijnen nemen die de pupilrespons beïnvloeden (bv. bepaalde antidepressiva, anti-aritmicum)
- Personen die voor de proef alcohol of drugs hebben gebruikt.

#### 6.4.3 Verwerving van de deelnemers

De werving van deelnemers voor dit onderzoek vond plaats via drie kanalen: algemene e-mail, persoonlijke berichten en fysiek contact. In de algemene e-mail werden de inclusie- en exclusiecriteria expliciet vermeld. Belangrijke exclusiecriteria waren onder andere nachtblindheid, specifieke oogafwijkingen, het dragen van blauwlichtfilterbrillen en het consumeren van alcohol voorafgaand aan de proef.

Bij persoonlijke berichten en fysiek contact werd aan potentiële deelnemers gevraagd of zij aan de inclusie- en exclusiecriteria voldeden, indien deze informatie vooraf nog niet bekend was. Daarnaast hebben enkele kandidaten zich spontaan aangemeld. Van deze groep bleken drie personen niet geschikt voor deelname aan de proeven.

In totaal namen 21 personen deel aan het onderzoek bestaande uit 8 vrouwen en 13 mannen, allemaal tussen de 19 en de 26 jaar. Van deze groep reageerde één deelnemer op de algemene

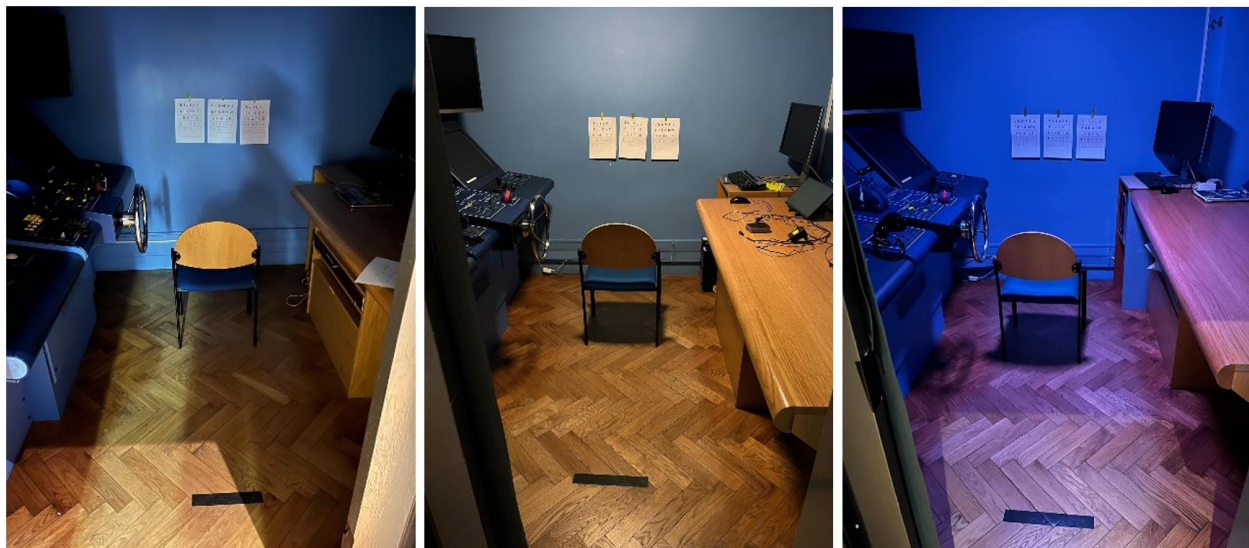
uitnodiging per e-mail, terwijl de overige 20 deelnemers die voldeden aan de inclusie- en exclusiecriteria werden geworven via directe communicatie, zowel persoonlijk als via individuele berichten. Ook is er sprake van een uitval van 2 deelnemers die niet zijn komen opdagen.

## 6.5 Voorbereiding van de proefruimte

Om ongewenst lichtinval te minimaliseren, worden black-out gordijnen en aanvullende maatregelen zoals tape toegepast. In gevallen waarin daglicht wel binnendringt, zoals in kamers naast ramen die uitkijken op de buitenwereld, worden aanvullende maatregelen genomen om volledige duisternis te garanderen. Op deze manier kan de hoeveelheid licht die nadien bewust wordt toegevoegd binnenin de proefruimte exact worden gecontroleerd.

De posities van deelnemer en examiner worden gestandaardiseerd door het vloerpatroon te gebruiken zodat afstanden en belichting consistent zijn. Hier wordt duct tape voor gebruikt.

Op de muren tegenover de posities van de deelnemers worden de drie contrastkaarten gekleefd met isolatietape. Om te voorkomen dat de deelnemers kunnen berusten op hun geheugen om de juiste letters uit te spreken is de volgorde van de kaarten verschillend in elke proefruimte.



Figuur 33 Altair, Bellatrix, Capella  
Bron: Eigen bron

## 6.6 Kalibratie van de schermen

De teksten die de deelnemers dienen te lezen zijn omgezet in A4-landscape formaat, passend bij de schermverhouding. Er is controle uitgevoerd om te bevestigen dat het formaat van de teksten niet verder geoptimaliseerd kan worden.

De LCD- en OLED- schermen worden ingesteld op gelijke helderheid door ze een volledig wit beeld te laten uitstralen. Eerst wordt de helderheid visueel afgestemd, gevolgd door een objectieve meting met een luxmeter app op een smartphone. De smartphone met zelfgemaakte diffuser wordt tegen het scherm gehouden waarna het aantal lux wordt gemeten. Aangezien schermen aan boord van schepen worden gedimd in nachtelijke omstandigheden, wordt het in deze proef ook gehanteerd. Het OLED-scherm heeft een minimale helderheidswaarde van 190 lux. In de omgeving van 190 lux heeft het LCD-scherm beschikbare helderheden van 180 lux en van 200 lux. Om een overeenkomstige helderheid te garanderen worden beide schermen ingesteld op 200 lux.

Bij het E Ink scherm wordt de helderheid van het licht, uitgestraald door de rode bureaulamp, gemeten ter hoogte van de tafel. De luxmeter wordt verticaal onder de lamp geplaatst. Hoe lager meer de lichtbron wordt verlaagd, hoe meer lux de meter registreert. De lamp wordt verticaal verplaatst totdat de luxmeter een waarde van 200 lux registreert. Dit standaardiseert de lichtintensiteit die de deelnemer in elke ruimte waarneemt.

## 6.7 Pilot-testen

Pilot-testen zijn uitgevoerd voordat de werkelijke proeven plaatsnemen. Deze bevestigen de bevindingen in de literatuurstudie in verband met contrastperceptie. Na verloop van tijd worden lage contrasten werkelijk zichtbaarder. Ook hebben de pilot-testen kunnen bieden dat de proef mogelijk is binnen de gehanteerde context.

## 6.8 Uitvoering experiment

### 6.8.1 Instructies en voorzorgsmaatregelen

Voor aanvang van de proef wordt de deelnemer door de examinerator geïnformeerd over het verloop en de inhoud van het onderzoek. Elke stap is in detail uitgelegd en eventuele vragen worden beantwoord.

Na de instructies wordt door de deelnemers een vragenlijst ingevuld. Hierbij krijgen ze een nummer toegekend om anonimiteit te waarborgen. Eventuele vragen worden beantwoord.

Nadat het formulier is ingevuld wordt aan de deelnemer gevraagd om alle lichtgevende voorwerpen, zoals mobiele telefoons, (smart)watches en andere elektronische apparaten, buiten de proefruimte achter te laten.

Indien een deelnemer een corrigerende bril met blauwlichtfilter draagt, wordt toegelicht dat deze tijdens de proef mag worden gebruikt, met uitzondering van de momenten waarop blootstelling aan de schermen plaatsvindt.

### 6.8.2 Baseline meting

De baseline meting dient als referentiepunt voor vergelijkende metingen in vervolgprouven. De baselinemeting vormt de eerste proef in de reeks en bestaat uit een initiële blootstelling aan volledige duisternis. Voorafgaand aan deze meting waren deelnemers blootgesteld aan fel natuurlijk licht, gevolgd door kunstmatig licht binnenin de hoofdruimte gedurende de instructies en voorzorgsmaatregelen. De baseline meting gebeurt gedurende een periode van twintig minuten in een volledig verduisterde kamer, zonder gebruik van elektronische schermen.

Nadat de deelnemer plaatsneemt op de voorziene stoel in de proefruimte, wordt het licht van de hoofdruimte uitgeschakeld, de deur van de proefruimte gesloten en schijnt de examinerator met de rode zaklamp vanaf zijn gemarkeerde positie op de muur met de testkaarten. Op dat moment wordt gemeten tot welk contrastniveau de proefpersoon kan lezen, waarna de zaklamp wordt gedoofd en de timer wordt gestart. Om de testomstandigheden te standaardiseren, houdt de examinerator de rode zaklamp recht boven het hoofd, zodat de lichtinval op de testkaarten voor elke deelnemer gelijk blijft. De examinerator blijft samen met de deelnemer in de proefruimte zodat de deur niet geopend hoeft te worden.

Vervolgens wordt om de twee minuten de zaklamp aangestoken en gevraagd welk laagste contrastniveau de deelnemer correct kan onderscheiden op de testkaart. Hierna wordt de lamp onmiddellijk weer gedoofd. De reden voor het interval van twee minuten is dat dit een balans biedt tussen enerzijds een zo volledig mogelijke adaptatie aan de duisternis en anderzijds het verkrijgen van voldoende datapunten voor een optimale analyse. De tijdstippen waarop de proefpersoon een lager contrastniveau correct waarneemt, worden geregistreerd op een blad papier en na de meting overgezet op het Excel document. Bij het noteren van deze waardes wordt aan de deelnemer gevraagd zijn ogen te sluiten.

Na afloop van de twintig minuten wordt een eindmeting uitgevoerd. Deze meting geldt als baseline.

### 6.8.3 Blootstelling aan schermen

Na de initiële twintig minuten van baseline meting wordt aan de deelnemer gevraagd zijn ogen te sluiten. Vervolgens wordt uitgelegd dat er zich naast de proefpersoon een scherm bevindt waarop een tekst zal verschijnen. Zodra de proefpersoon hiervan op de hoogte is gebracht, wordt het scherm geactiveerd, de stoel van de deelnemer in de juiste positie geplaatst (90 graden naar rechts gekanteld, wijzend naar de tafel) en gevraagd zijn ogen te openen, waarna een timer wordt gestart.

Gedurende vijf minuten wordt de proefpersoon blootgesteld aan één van twee condities: ofwel een scherm met witte tekst op een zwarte achtergrond, ofwel een tekst weergegeven op het E Ink scherm. Na afloop van de blootstellingsperiode wordt het scherm of licht gedoofd, de stoel wordt terug op zijn oorspronkelijke plaats gezet en heerst er opnieuw volledige duisternis in de proefruimte.

### 6.8.4 Nachtzichtmeting na blootstelling

Vanaf het moment dat de proefpersoon zich weer in het donker bevindt, wordt meteen een meting genomen, waarna de timer wordt gestart en vervolgmetingen weer om de twee minuten worden genomen. Zodra de proefpersoon het eerder vastgestelde baseline contrastniveau

bereikt, wordt de bijbehorende tijd genoteerd. Daarna wordt de deelnemer naar de volgende proefruimte begeleid voor de verdere voortzetting van het experiment.

#### 6.8.5 Herhaling voor elk schermtype

De deelnemer wordt getransporteerd met behulp van een rode zaklamp om zich in de hoofdruimte te kunnen verplaatsen. Aangezien de deelnemers hun baseline opnieuw hebben bereikt, is het niet noodzakelijk hen telkens opnieuw gedurende twintig minuten in volledige duisternis te laten verblijven. Deelnemers doorlopen dezelfde procedure als in het vorig deel beschreven, met een ander schermtype. Na de blootstelling aan het scherm, en nadat de baseline weer is bereikt, worden de deelnemers op identieke wijze getransporteerd naar de derde en laatste proefruimte.

#### 6.8.6 Opmerkingen over de proeven

Voor de uitvoering van de proeven is steeds één uur gereserveerd om het volledige testprotocol binnen afgebakende tijdsloten af te ronden.

Tijdens de eerste testdag verliep het proces nog enigszins onwennig, waardoor slechts 2 schermen getest konden worden in het voorziene uur. Bij enkele deelnemers deden zich daarnaast onverwachte gebeurtenissen voor, waardoor het testen van alle drie de schermen niet mogelijk was en slechts tijd mogelijk twee schermen. Naarmate het onderzoek vorderde, werd vastgesteld dat de beschikbare tijd per deelnemer ruim voldoende was om de metingen op de drie verschillende schermen uit te voeren binnen het voorziene uur.

Daarnaast bleek uit de eerste testrondes dat het logistiek minder praktisch is om twee deelnemers gelijktijdig te testen. Het voortdurend heen en weer bewegen tussen de twee testruimtes tijdens de meetmomenten veroorzaakt onrust in de proefopstelling. Wanneer de examinerator zich tussen de proefruimtes verplaatst om metingen bij de andere deelnemer uit te voeren, wordt de aanwezige deelnemer telkens verzocht de ogen te sluiten op het moment dat de deur wordt geopend. Hoewel het haalbaar blijft om met twee kandidaten tegelijk te werken en accurate waardes te behouden, is het duidelijk geworden dat het testen van drie gelijktijdige deelnemers organisatorisch niet werkbaar zou zijn binnen de bestaande infrastructuur en

methodiek. De efficiëntste manier om de proeven uit te voeren is door telkens slechts 1 deelnemer te examineren.

Tijdens de proeven met de OLED- en LCD-schermen rapporteerden drie deelnemers spontaan dat zij, nadat het scherm was uitgeschakeld, de eerder weergegeven tekst nog konden zien als horizontale strepen. Dit fenomeen lijkt samen te hangen met tijdelijke nabeelden, waarbij het beeld nog vaag waarneembaar blijft nadat het is verdwenen, als gevolg van de relatief hoge helderheid van de schermen in de verduisterde omgeving.

Bij de proef met de e-reader gaf één deelnemer aan dat de testkaarten naar zijn indruk meer definitie vertoonden dan bij de andere schermtypes. Mogelijk kon dit worden verklaard door het ontbreken van direct uitgestraald licht bij de E Ink-technologie, waardoor de contrastovergangen subjectief scherper werden ervaren.

Wanneer deelnemers een bepaald contrast niet konden lezen werd gevraagd of ze hetzelfde contrast op de kaart ernaast konden lezen. Opvallend is het terugkerende fenomeen waarbij de ene kaart niet leesbaar was en de andere wel. Het is onduidelijk of het verschil te wijten was aan de kaart zelf of aan de visuele waarneming van de deelnemer aangezien dit zich telkens voordeed met andere kaarten.

De volgorde van schermen waaraan de deelnemer blootgesteld wordt is regelmatig aangepast geweest om te voorkomen dat de gemeten resultaten hieraan kunnen worden toegeschreven.

## 7 Resultaten

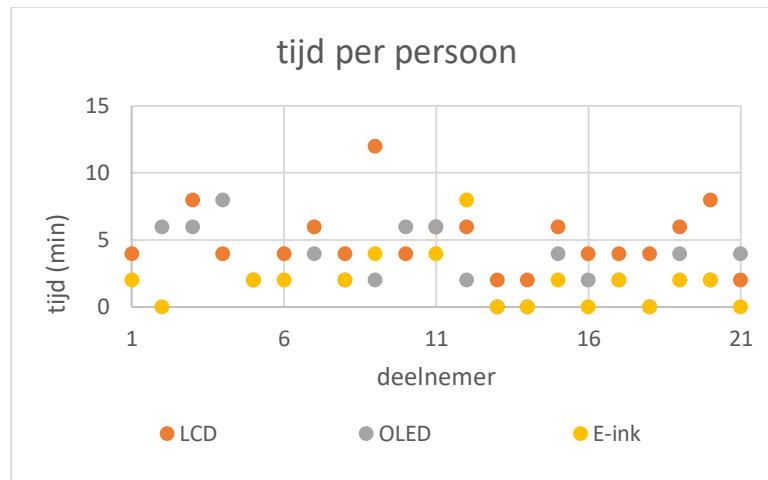
In onderstaande tabel worden de resultaten van alle deelnemers weergegeven. De waarden onder de kolommen “baseline”, “LCD”, “OLED” en “E Ink” zijn uitgedrukt in minuten en geven de tijd weer die de kandidaten nodig hadden om hun baseline te bereiken. Ontbrekende waarden zijn te wijten aan tijdsgebrek waardoor het voor sommige deelnemers niet mogelijk was om een derde type scherm te testen. Wanneer de rijen in het grijs zijn ingekleurd betekent dit dat de hersteltijd na LCD langer duurde dan zowel OLED als E Ink. In de rechterkolom “contrastniveau” staat vermeld tot welk contrast de kandidaat heeft kunnen lezen, uitgedrukt in de zwart-waarden gehanteerd in Tabel 4.

Onder de tabel is een scatterplot te zien die grafisch de bekomen data van de deelnemers weergeeft.

Tabel 5 Testresultaten

| Persoon           | Baseline (min) | LCD (min) | OLED (min) | E Ink (min) | Contrastniveau |     |
|-------------------|----------------|-----------|------------|-------------|----------------|-----|
| 1                 | 8              |           | 4          | /           | 2              | 30% |
| 2                 | 14             | /         |            | 6           | 0              | 30% |
| 3                 | 12             |           | 8          | 6           | /              | 30% |
| 4                 | 14             |           | 4          | 8           | /              | 30% |
| 5                 | 14             |           | 2          | /           | 2              | 30% |
| 6                 | 16             |           | 4          | /           | 2              | 20% |
| 7                 | 14             |           | 6          | 4           | /              | 10% |
| 8                 | 14             |           | 4          | 2           | 2              | 20% |
| 9                 | 12             |           | 12         | 2           | 4              | 20% |
| 10                | 16             |           | 4          | 6           | /              | 20% |
| 11                | 20             |           | 6          | 6           | 4              | 20% |
| 12                | 14             |           | 6          | 2           | 8              | 20% |
| 13                | 10             |           | 2          | 0           | 0              | 20% |
| 14                | 10             |           | 2          | 0           | 0              | 20% |
| 15                | 20             |           | 6          | 4           | 2              | 30% |
| 16                | 10             |           | 4          | 2           | 0              | 20% |
| 17                | 14             |           | 4          | 2           | 2              | 20% |
| 18                | 10             |           | 4          | 0           | 0              | 20% |
| 19                | 14             |           | 6          | 4           | 2              | 20% |
| 20                | 14             |           | 8          | 2           | 2              | 20% |
| 21                | 4              |           | 2          | 4           | 0              | 20% |
| Gemiddelde        | 13.05          | 4.90      | 3.33       | 1.88        |                |     |
| Mediaan (Me)      | 14             | 4         | 3          | 2           |                |     |
| Modus (Mo)        | 14             | 4         | 2          | 2           |                |     |
| Modus frequentie  | 9              | 8         | 6          | 8           |                |     |
| Standaarddeviatie | 3.67           | 2.47      | 2.38       | 2.056       |                |     |

Bron: Eigen Bron



Figuur 34 Tijd per persoon  
Bron: Eigen Bron

## 7.1 Friedman test

De Friedman test is een non-parametrische toets (veronderstelt niet dat de data normaal verdeeld is) dat bij iedere deelnemer scores toedient aan het rangnummer van elke verschillende conditie.

Doordat het nachtzicht van de deelnemers individueel varieert als gevolg van biologische verschillen, biedt deze test een meer geschikte analysemethode om verschillen tussen schermtypes te detecteren. De focus van de analyse ligt specifiek op de rangorde tussen de verschillende schermtechnologieën, en niet op de absolute tijdsduur die benodigd was voor het herstellen van het nachtzicht.

Om een Friedman test uit te voeren is het noodzakelijk dat de gegevens gebruikt worden van de deelnemers die alle drie de verschillende schermen hebben beoordeeld. Bij iedere deelnemer worden de waargenomen waarden van klein naar groot gerangschikt. De laagste waarde ontvangt daarbij 1 punt, de middelste 2 punten en de hoogste 3 punten. Als twee waarden dezelfde rang hebben, wordt het gemiddelde van de betrokken rangnummers toegekend aan beide observaties. Op deze wijze kan de toets bepalen of er systematische verschillen in waarnemingstijd bestaan tussen de verschillende schermcondities (DATAtab, 2022)

Ho (nulhypothese) = er is geen verband tussen de schermtechnologie en nachtzicht.

H1 (alternatieve hypothese) = er is een verband tussen de schermtechnologie en nachtzicht.

Tabel 6 Data Friedman

| <b>Persoon</b> | <b>LCD (min)</b> | <b>OLED (min)</b> | <b>E Ink (min)</b> | <b>Score<br/>LCD</b> | <b>Score<br/>OLED</b> | <b>Score<br/>E Ink</b> |
|----------------|------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| 8              | 4                | 2                 | 2                  | 3                    | 1.5                   | 1.5                    |
| 9              | 12               | 2                 | 4                  | 3                    | 1                     | 2                      |
| 11             | 6                | 6                 | 4                  | 2.5                  | 2.5                   | 1                      |
| 12             | 6                | 2                 | 8                  | 2                    | 1                     | 3                      |
| 13             | 2                | 0                 | 0                  | 3                    | 1.5                   | 1.5                    |
| 14             | 2                | 0                 | 0                  | 3                    | 1.5                   | 1.5                    |
| 15             | 6                | 4                 | 2                  | 3                    | 2                     | 1                      |
| 16             | 4                | 2                 | 0                  | 3                    | 2                     | 1                      |
| 17             | 4                | 2                 | 2                  | 3                    | 1.5                   | 1.5                    |
| 18             | 4                | 0                 | 0                  | 3                    | 1.5                   | 1.5                    |
| 19             | 6                | 4                 | 2                  | 3                    | 2                     | 1                      |
| 20             | 8                | 2                 | 2                  | 3                    | 1.5                   | 1.5                    |
| 21             | 2                | 4                 | 0                  | 2                    | 3                     | 1                      |
| Totaal         |                  |                   |                    | 36.5                 | 22.5                  | 19                     |

Bron: Eigen Bron

De formule om de Friedman test te berekenen is:

$$\chi^2 F = \frac{12}{nk(k+1)} \sum R_j^2 - 3n(k+1)$$

Waarbij:  $n = 13$  (aantal deelnemers)

$k = 3$  (aantal condities: LCD, OLED, E Ink)

$R_j$  = som van rangen per conditie

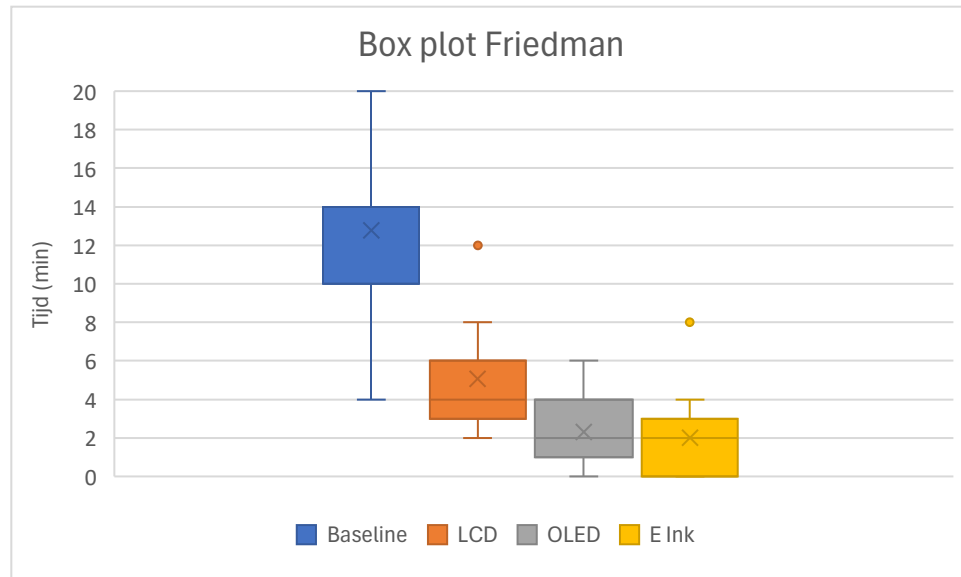
$$\chi^2 F = \frac{12}{13 \times 3 \times (3+1)} \times (36.5^2 + 22.5^2 + 19^2) - 3 \times 13 \times 4$$

$\chi^2 F = 13.1923$  (Confidence level 95% (alpha = 0.05) met 2 vrijheidsgraden komt overeen met een  $\chi^2$  tabel waarde van 5.991) De berekende  $\chi^2$  is groter dan de tabelwaarde en dus statistisch significant bij deze proef.

De p-waarde (berekend met een Friedman test Calculator online) = 0.00137 (<0.05) De berekende p-waarde is kleiner dan alpha = 0.05 en is dus statistisch significant bij deze proef

(SocialScienceStatistics, n.d.)

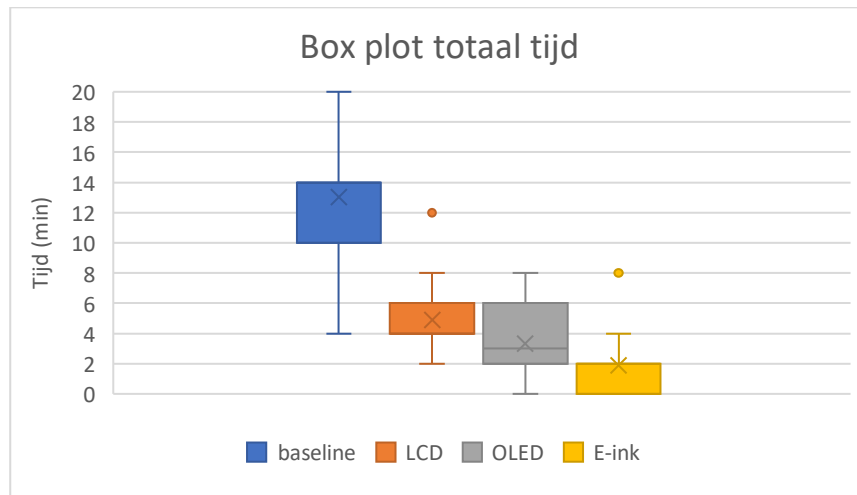
Onderstaande figuur geeft een box plot van de tijden in minuten die deelnemers nodig hadden om een vooraf bepaald contrastniveau waar te nemen, gegenereerd met Excel.



Figuur 35 Box plot, Friedman test  
Bron: Eigen Bron

“In de boxplot geeft de ‘X’ de gemiddelde waarde weer, terwijl de horizontale lijn binnen de box de mediaan aanduidt. De box zelf omvat het interkwartielbereik (IQR), waarin 50% van de meetwaarden ligt. De ‘whiskers’ boven en onder de box geven de spreiding van de data buiten dit bereik weer, waarbij elk whisker ongeveer 25% van de resterende waarden vertegenwoordigt. De afzonderlijke punten (‘bollen’) die duidelijk buiten dit bereik vallen, worden aangeduid als outliers, oftewel uitschieters in de dataset.

Wanneer de gegevens van de deelnemers met slechts twee waarnemingen worden toegevoegd aan de boxplot, ontstaat het volgende resultaat:



Figuur 36 Box plot, gemiddelde totaal tijd  
Bron: Eigen Bron

## 8 Discussie

### 8.1 Interpretatie van de resultaten

De boxplot in figuur 37 toont duidelijke verschillen in donkeradaptatietijd tussen de baseline en de drie schermcondities.

Bij de baseline bedraagt de gemiddelde hersteltijd 13.05 minuten, met een mediaan van 14 minuten. Deze bevinding komt overeen met de literatuur (sectie “2.2 Donkeradaptatie en lichtadaptatie”), waarin wordt benadrukt dat fel licht de snelheid van de nachtadaptatie sterk beïnvloedt. De spreiding is groot (IQR 10–14 min, whiskers 4–20 min), wat duidt op aanzienlijke individuele variatie in donkeradaptatie.

Na blootstelling aan het LCD-scherm bedraagt de gemiddelde hersteltijd 4.90 minuten. De spreiding is kleiner (IQR 4–6 min), wat wijst op minder variatie tussen deelnemers. Eén outlier (12 min) geeft aan dat een deelnemer aanmerkelijk trager herstelde.

De gemiddelde hersteltijd na blootstelling aan het OLED-scherm bedraagt 3.33 minuten. De spreiding is matig (IQR 2–6 min), maar kleiner dan bij LCD, wat wijst op een gunstiger en consistentere herstelproces. Dit kan gelinkt worden aan de literatuurstudie deel “3.2.2 Comfortmodus, nachtmodus en contrast” waarin wordt vermeld dat een nachtmodus met hoog contrast leidt tot het minste visuele vermoeidheid. De OLED-technologie is in staat deze hoge contrasten te bieden.

Het E Ink-scherm resulteert in de kortste hersteltijd (gemiddeld 1.88 minuten) en de grootste consistentie tussen deelnemers (IQR 0–2 min). Slechts één outlier (8 min) wijkt af van dit patroon.

De hersteltijd na blootstelling aan de schermen was minder dan na blootstelling aan daglicht net voor de baseline meting. Dit fenomeen verschilt met de literatuur, waarin wordt gesteld dat het slechts vijf minuten duurt om het nachtzicht volledig te verliezen bij blootstelling aan storend blauw licht.

In lijn met de hypothese blijken LCD-schermen, zoals die momenteel in grootste mate worden toegepast in ECDIS-apparatuur, het meest negatieve effect te hebben: geen enkele deelnemer kon direct na blootstelling de testkaarten correct identificeren. Bij OLED en E Ink daarentegen

konden meerdere deelnemers al bij de eerste meting het baselinecontrastniveau onderscheiden (respectievelijk drie en zes deelnemers).

Een Friedman-toets bevestigt dat de waargenomen verschillen statistisch significant zijn ( $\chi^2 = 13.1923$ ;  $p = 0.00137$ ). De nulhypothese, die stelt dat er geen verband bestaat tussen schermtechnologie en donkeradaptatie, wordt daarmee verworpen. De verschillen in hersteltijd zijn dus niet aan toeval toe te schrijven, maar aan de aard van de gebruikte schermtechnologie.

## 8.2 Verklaring van opvallende bevindingen

De mindere prestaties van het LCD-scherm in deze proef kunnen hoogstwaarschijnlijk worden verklaard door de aanwezigheid van achtergrondverlichting en de beperkte capaciteit van vloeibare kristallen om dit licht volledig te blokkeren. Bij de initiële helderheidsinstelling van het LCD-scherm en OLED-scherm werd vastgesteld dat beide schermen bij het weergeven van een wit beeld of witte tekst vergelijkbare luxwaardes produceerden. Bovendien beschikken de schermen over identieke afmetingen, waardoor de uitgestraalde lichtintensiteit per oppervlakte-eenheid in theorie gelijk zou moeten zijn. In de gecontroleerde testomgeving was de enige variabele de structurele opbouw van het scherm. Een onvoldoende blokkering van het uitgestraald witte achtergrondverlichting, dat een significante blauwlichtcomponent bevat, leidt tot een vertraagd herstel van het nachtzicht.

Wat het E Ink-display betreft, presteerde het in deze context de beste prestaties. Zes van de zeventien deelnemers bereikten onmiddellijk hun baseline. Dit resultaat kan worden verklaard door de bevinding uit de literatuur dat rood licht een verwaarloosbare impact heeft op de donkeradaptatie van het menselijk oog, hetgeen de uitstekende prestaties in deze proef ondersteunt.

## 8.3 Beperkingen van dit onderzoek

De eerste beperking die hier wordt besproken betreft de volgende zin op het formulier: "Gelieve onderstaande vragen zorgvuldig te lezen en aan te kruisen wat op u van toepassing is. Indien u één of meerdere vragen met 'Ja' beantwoordt, komt u mogelijk niet in aanmerking voor deelname aan de proef." Hoewel alle deelnemers voorafgaand aan het experiment al hadden

bevestigd te voldoen aan de inclusie- en exclusiecriteria, bestaat de mogelijkheid dat de bovenstaande formulering hen alsnog beïnvloedt om het formulier foutief in te vullen. Het expliciet vermelden dat een 'ja'-antwoord kan leiden tot uitsluiting van deelname, kan onbedoeld druk veroorzaken bij deelnemers, aangezien zij reeds de moeite hebben gedaan om zich naar de simulatorruimte van de AMA te begeven. In gevallen waarin deelnemers twijfelden over bepaalde vragen op het inschrijfformulier, werd aanvullende toelichting gegeven door de examiner. De meest voorkomende vraag had betrekking op slaaptekort. Hoewel het klopt dat studenten — die het merendeel van de deelnemerspopulatie vormden — vaak aangeven last te hebben van slaaptekort, werd geoordeeld dat dit aspect in de context van dit experiment beperkt van invloed zou zijn. Geen van de deelnemers gaf aan te lijden aan medisch gediagnosticeerde insomnia.

Een andere beperking gelinkt aan het formulier is de vraag naar kleurenblindheid. Deze is niet relevant voor de onderzoeksvraag en had daarom niet in het formulier opgenomen hoeven worden. Kleurenblindheid heeft invloed op de kegels en niet op de staven, het heeft dus geen verband met nachtzicht. Omdat dit pas na de start van de dataverzameling werd vastgesteld en het formulier op dat moment reeds door deelnemers was ingevuld, was het niet langer mogelijk de vraag te verwijderen zonder een inconsistentie tussen de deelnemers te veroorzaken.

Een derde beperking betreft de positionering van de rode zaklamp. Voor iedere meting dient de zaklamp door de examiner te worden vastgehouden, waardoor de consistentie van de belichting volledig vertrouwt op de betrouwbaarheid van de examiner tijdens het uitvoeren van de metingen.

Als vierde beperking wordt de vraag behandeld of het aantal deelnemers aan de proef voldoende was om de resultaten als significant te kunnen beschouwen. Hoewel er in deze steekproef van 21 deelnemers duidelijke verschillen te merken waren, is dit geen weerspiegeling van de volledige maatschappij. Hoewel onwaarschijnlijk, blijft het mogelijk dat de bekomen resultaten enkel voorkomen in deze steekproef.

Als laatste beperking is dat de invloed van het ophangen van alle drie de contrastkaarten in elke proefruimte niet bekend is. Het plaatsen van meerdere kaarten bleek echter een praktisch voordeel te hebben, aangezien sommige deelnemers moeite ondervonden met het lezen van een specifieke kaart, terwijl een andere kaart met een vergelijkbaar contrastniveau wel leesbaar was.

Het probleem is echter dat, hoewel dit niet opgemerkt is geweest door de examiner het zou kunnen dat bepaalde deelnemers letters herkennen of bewust onthouden.

#### 8.4 Suggesties voor vervolgonderzoek

De suggesties voor vervolgonderzoek zijn om de beperkingen van dit onderzoek (hierboven beschreven) op te lossen.

Als eerste zou een nieuw formulier gemaakt moeten worden, waarin de zin “Gelieve onderstaande vragen zorgvuldig te lezen en aan te kruisen wat op u van toepassing is. Indien u één of meerdere vragen met 'Ja' beantwoordt, komt u mogelijk niet in aanmerking voor deelname aan de proef.” weggelaten wordt. Hoewel de zin correct weergeeft waarvoor het formulier dient, is er mogelijkheid dat hij de deelnemers aanspoort om foutief te antwoorden. Daarnaast kan ook de vraag over kleurblindheid verwijderd worden aangezien dit verwarring kan creëren en het in ieder geval irrelevant is voor de proef.

Voor toekomstig onderzoek wordt aanbevolen de rode lamp in een vaste opstelling te positioneren, zodat de metingen niet afhankelijk zijn van de handmatige positionering door de examiner. Hoewel kleine variaties in positie een verwaarloosbare invloed hebben op de belichting van de testkaarten, kan een gestandaardiseerde lampopstelling uitsluiten dat eventuele verschillen in de data (hoe gering ook) worden toegeschreven aan positionele variaties van de lichtbron.

Daarnaast zou het interessant zijn vervolgonderzoek te richten op het effect van een comfortmodus op het herstel van nachtzicht. De huidige proef richt zich uitsluitend op de nachtmodus, terwijl uit de literatuur blijkt dat een comfortmodus, door de beperking van blauw licht, eveneens een significante invloed kan hebben op het nachtzicht.

Ook zou de proef beneficiëren van een grotere steekproef. Dit zal arbeidsintensief zijn aangezien de examiner ongeveer een uur moet inlassen per deelnemer. Een grotere steekproef biedt echter de kans om extra bevestiging te geven aan de resultaten gevonden in deze thesis.

Ook zouden de bevindingen in deze proef vergeleken kunnen worden aan een gelijkaardige proef aan boord van schepen. Een dergelijke vergelijking biedt het voordeel mogelijke verschillen te identificeren tussen de gecontroleerde testomgeving en de omstandigheden op zee.

## 9 Conclusie

Deze thesis onderzoekt de invloed van schermtechnologieën op het nachtzicht tijdens nachtwachten aan boord van schepen, met bijzondere aandacht voor de efficiëntie van de nachtmodus van schermen.

Uit de literatuurstudie blijkt dat het menselijk zicht in het donker sterk afhankelijk is van de werking van staven in het netvlies en rodopsine, die gevoelig zijn voor lichtblootstelling. Ze zijn bijzonder gevoelig aan blauw licht, vanwege de hoge energie-inhoud. Blauw licht uitgestraald door digitale schermen leidt tot oogvermoeidheid, verstoort de nachtelijke adaptatie, en verhoogt het risico op visuele fouten tijdens kritieke navigatietaken. Rood licht daarentegen blijkt geen of zeer weinig effect te hebben op het nachtzicht, wat in de tijd van papieren zeekaarten al geweten was.

Er werd gewezen op de rol van kleurgebruik, helderheid en de psychologische aantrekkingskracht van felle kleuren. ECDIS-systemen maken gebruik van een combinatie van bewegende symbolen en kleurrijke heldere beelden, eigen aan vectorkaarten, waardoor de aandacht van de wachtloper mogelijk wordt afgeleid van de externe omgeving. Dit verhoogt het risico op het missen van cruciale visuele signalen buiten de brug, een risico dat nog versterkt wordt door cognitieve fenomenen zoals onoplettende blindheid.

Daarnaast werd door middel van de bespreking van verschillende schermtechnologieën (CRT, Plasma, LCD, LED, OLED en E Ink) aangetoond dat niet elke technologie even geschikt is voor nachtelijke omstandigheden op een schip. Zo zijn LCD-schermen niet in staat om individuele pixels volledig uit te schakelen, wat leidt tot minder contrast en een hogere verstoring van de nachtadaptatie. E Ink-displays werden gepresenteerd als bijzonder waardevol omwille van hun uitstekende leesbaarheid in fel zonlicht en het ontbreken van eigen lichtuitstraling, waardoor ze geschikt kunnen zijn voor navigatietoepassingen bij daglicht én 's nachts (indien een externe lamp wordt gebruikt).

Het experiment dat met verschillende schermtypen werd uitgevoerd toont aan dat de duur van de aanpassingstijd aan duisternis na blootstelling aan een LCD-scherm aanzienlijk langer was

dan voor OLED-en E Ink schermen. E Ink presteerde het beste in deze situatie. Dit bevestigde de hypothese en de noodzaak om kritisch na te denken over de schermkeuze aan boord van schepen, vooral vanwege de ECDIS-verplichting onder SOLAS. Er bestaat een grote kans om ECDIS-schermen die een E Ink-technologie gebruiken te implementeren aan boord van schepen in de moderne koopvaardij.

Deze studie draagt bij aan het toenemende inzicht dat de interactie tussen mens en technologie in de maritieme omgeving op een verfijnde, kritische en wetenschappelijk onderbouwde wijze benaderd moet te worden. Daarbij is het essentieel dat aspecten zoals nachtzicht, oogvermoeidheid en afleidende beelden niet als bijkomstige factoren worden gezien, maar als centrale pijlers worden beschouwd binnen zowel operationele besluitvorming als technologische ontwikkeling.

## 10 Bibliografie

- Al-Namaeh, M. (2024). Systemic Medications and Their Ocular Side Effects. *Cureus*.  
<https://doi.org/10.7759/cureus.74976>
- Amblyopia (Lazy Eye). (2022). *National Eye Institute*. [https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/eye-conditions-and-diseases/amblyopia-lazy-eye#:~:text=Amblyopia%20\(also%20called%20lazy%20eye,the%20sight%20from%201%20eye.](https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/eye-conditions-and-diseases/amblyopia-lazy-eye#:~:text=Amblyopia%20(also%20called%20lazy%20eye,the%20sight%20from%201%20eye.)
- Annaert, A. (2021). *RADAR*. Antwerp Maritime Academy.
- ASYALI, E. (2012). *The Role of ECDIS on Improving Situation Awareness*.  
[https://www.researchgate.net/profile/Ender-Asyali/publication/320305464\\_The\\_Role\\_of\\_ECDIS\\_on\\_Improving\\_Situation\\_Awareness/links/655f82023fa26f66f421e5e2/The-Role-of-ECDIS-on-Improving-Situation-Awareness.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ender-Asyali/publication/320305464_The_Role_of_ECDIS_on_Improving_Situation_Awareness/links/655f82023fa26f66f421e5e2/The-Role-of-ECDIS-on-Improving-Situation-Awareness.pdf)
- Boothe, B. (2016). *Blue light, how it hurts your eyes*.  
<https://bootheglobalperspectives.com/article/1473340654WBG351487200/blue-light-how-it-hurts-your-eyes>
- Boulet, C. (2016). The '20/20/20 Rule' – When Good Intentions and Axiomatic Habit Displace Best Practices. *Canadian Journal of Optometry*, 78(4), 6. <https://doi.org/10.15353/cjo.78.448>
- Boyd, K. (2024). Glaucoma Eye Drops. *American Academy of Ophthalmology*.  
<https://www.aao.org/eye-health/diseases/glaucoma-eyedrop-medicine>

Brain, M. (2024). How Television Works. *How Stuff Works*.

<https://electronics.howstuffworks.com/tv.htm#pt4>

BREyePhysicians. (2023). What Is Night Vision Like with Cataracts? *Baton Rouge Eye Physicians*.

<https://breyephysicians.com/blog/what-is-night-vision-like-with-cataracts>

Brune, W. (2023). 6.4 How is energy related to the wavelength of radiation? In *Fundamentals of atmospheric science: Vol. 6.4* (p. 285).

[https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Meteorology\\_and\\_Climate\\_Science/Book%3A\\_Fundamentals\\_of\\_Atmospheric\\_Science\\_\(Brune\)](https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Meteorology_and_Climate_Science/Book%3A_Fundamentals_of_Atmospheric_Science_(Brune))

Bury, A., & Khalique, A. (2023). Light pollution at night. *Seaways*.

Carter, T., & Barbur, J. (2015). *Colour vision assessment for maritime navigational lookout*.

[https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a804827e5274a2e87db8e98/FINAL\\_report\\_Colour\\_vision\\_testing.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a804827e5274a2e87db8e98/FINAL_report_Colour_vision_testing.pdf)

Castro, J. J., Pozo, A. M., Rubiño, M., Anera, R. G., & Jiménez Del Barco, L. (2014). Retinal-Image Quality and Night-Vision Performance after Alcohol Consumption. *Journal of Ophthalmology*, 2014, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2014/704823>

Chisholm, C. (2001). *THE EFFECT OF LASER REFRACTIVE SURGERY ON VISUAL PERFORMANCE AND ITS IMPLICATIONS FOR COMMERCIAL AVIATION*.

<https://www.caa.co.uk/publication/download/12307>

Chu, C., Rosenfield, M., Portello, J. K., Benzoni, J. A., & Collier, J. D. (2011). A comparison of symptoms after viewing text on a computer screen and hardcopy. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 31(1), 29–32. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2010.00802.x>

- ClevelandClinic. (2022). Retinitis Pigmentosa. *Cleveland Clinic*.  
<https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/17429-retinitis-pigmentosa>
- Constable, P. A., Al-Dasooqi, D., Bruce, R., & Prem-Senthil, M. (2022). A Review of Ocular Complications Associated with Medications Used for Anxiety, Depression, and Stress. *Clinical Optometry, Volume 14*, 13–25. <https://doi.org/10.2147/OPTO.S355091>
- Corning, A. (2020). Quality Considerations for Marine Displays. *Radiant Vision Systems*.
- Data Bridge. (2022). *Global Marine Industrial Display Market—Industry Trends and Forecast to 2029* [Dataset]. <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-marine-industrial-display-market>
- DATAtab (Director). (2022). *Friedman Test (Simply Explained)* [Video recording].  
[https://www.youtube.com/watch?v=2moNzzkkZwU&ab\\_channel=DATAtab](https://www.youtube.com/watch?v=2moNzzkkZwU&ab_channel=DATAtab)
- Davis, P. D., Parbrook, G. D., & Kenny, G. N. C. (1995). Biological Electrical Potentials: Their Display and Recording. In *Basic Physics and Measurement in Anaesthesia* (pp. 189–207). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-1713-0.50020-2>
- Dhaliwal, N. (2023). What're the Limitations of E-ink Displays? *Good E Reader*.  
<https://goodereader.com/blog/e-paper/whatre-the-limitations-of-e-ink-displays?>
- Diamond, L. (2025). *Side Effects Color-blindness and medications*. <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2025/march/pilot/medically-speaking-side-effects>
- DisplayMate. (2011). *CRT Advantages and Disadvantages*.  
<https://www.displaymate.com/crts.html#:~:text=They%20have%20a%20perfectly%20smooth,can%20only%20do%20so%20approximately.&text=CRTs%20have%20fast%20response%20times,rapidly%20moving%20or%20changing%20images.>

Dr. Evans, D. (2018). *Antidepressants, Anti-anxiety Meds & Your Eyes*.

<https://www.bettervisionguide.com/antidepressants-anti-anxiety-meds-your-eyes>

Dr Goel, T. (2024). Does Eye Comfort in a Smartphone Help our Eyes? *ASG Eye Hospital*.

[https://asgeyehospital.com/blog/what-is-eye-comfort-mode-and-how-does-it-](https://asgeyehospital.com/blog/what-is-eye-comfort-mode-and-how-does-it-work#:~:text=Eye%20Comfort%20is%20known%20as,with%20a%20wavelength%20so%20short.)

[work#:~:text=Eye%20Comfort%20is%20known%20as,with%20a%20wavelength%20so%20short.](https://asgeyehospital.com/blog/what-is-eye-comfort-mode-and-how-does-it-work#:~:text=Eye%20Comfort%20is%20known%20as,with%20a%20wavelength%20so%20short.)

Dragoi, V. (2020). Chapter 7: Ocular Motor System. In *Neuroscience Online* (Vol. 7).

<https://nba.uth.tmc.edu/neuroscience/m/s3/chapter07.html>

E-Ink. (n.d.-a). *Electronic Ink how it works*.

[https://www.eink.com/tech/detail/How\\_it\\_works#:~:text=Each%20microcapsule%20con](https://www.eink.com/tech/detail/How_it_works#:~:text=Each%20microcapsule%20contains%20negatively%20charged,become%20visible%20to%20the%20viewer.)  
[tains%20negatively%20charged,become%20visible%20to%20the%20viewer.](https://www.eink.com/tech/detail/How_it_works#:~:text=Each%20microcapsule%20contains%20negatively%20charged,become%20visible%20to%20the%20viewer.)

E-Ink. (n.d.-b). *Front Light*. [https://www.eink.com/tech/detail/Front\\_Light](https://www.eink.com/tech/detail/Front_Light)

Felton, J. (2023). You Probably Believe The Myth About Why Pirates Wore Eye Patches. *IFLScience*.

[https://www.iflscience.com/you-probably-believe-the-myth-about-why-pirates-wore-](https://www.iflscience.com/you-probably-believe-the-myth-about-why-pirates-wore-eye-patches-70246)  
[eye-patches-70246](https://www.iflscience.com/you-probably-believe-the-myth-about-why-pirates-wore-eye-patches-70246)

Fisher, M. (Director). (2021). *Onyx Book Nova3 Color Review: Android On E Ink!* [Video recording].

<https://www.youtube.com/watch?v=NRFuQ4uZIO8>

Geffroy, B., Le Roy, P., & Prat, C. (2006). Organic light-emitting diode (OLED) technology: Materials, devices and display technologies. *Polymer International*, 55(6), 572–582.

<https://doi.org/10.1002/pi.1974>

- González, M. M. C. (2018). Dim Light at Night and Constant Darkness: Two Frequently Used Lighting Conditions That Jeopardize the Health and Well-being of Laboratory Rodents. *Frontiers in Neurology*, 9, 609. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00609>
- Grand View Research. (2023). *Industrial Display Market Size, Share & Growth Report*. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/industrial-display-market>
- Harris, T. (n.d.). *How Plasma Displays Work*. <https://electronics.howstuffworks.com/plasma-display.htm>
- Harris, T., Pollette, C., & Fenlon, W. (2002). *How Light Emitting Diodes (LEDs) Work*. <https://electronics.howstuffworks.com/led.htm>
- Hayes, J. R., Sheedy, J. E., Stelmack, J. A., & Heaney, C. A. (2007). Computer Use, Symptoms, and Quality of Life. *Optometry and Vision Science*, 84(8), E738–E755. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e31812f7546>
- Hecht, S., Haig, C., & Chase, A. M. (1937). THE INFLUENCE OF LIGHT ADAPTATION ON SUBSEQUENT DARK ADAPTATION OF THE EYE. *Journal of General Physiology*, 20(6), 831–850. <https://doi.org/10.1085/jgp.20.6.831>
- Het Oog Ziekenhuis Rotterdam. (n.d.). *Leeftijdsgebonden Maculadegeneratie*. <https://www.oogziekenhuis.nl/oogziekten-en-behandelingen/leeftijdsgebonden-maculadegeneratie>
- Hicklin, T. (2016). *New color vision pathway unveiled* [National Institutes of health]. [https://www.nih.gov/news-events/nih-research-matters/new-color-vision-pathway-unveiled#:~:text=Humans%20have%203%20distinct%20color,%2Fultraviolet%20\(UV\)%20light.](https://www.nih.gov/news-events/nih-research-matters/new-color-vision-pathway-unveiled#:~:text=Humans%20have%203%20distinct%20color,%2Fultraviolet%20(UV)%20light.)

- Hilsenteger, L. (Director). (2023). *Unboxing the reMarkable 2: The Future of Paper* [Video recording]. [https://www.youtube.com/watch?v=pQ9-1dOuTyU&ab\\_channel=UnboxTherapy](https://www.youtube.com/watch?v=pQ9-1dOuTyU&ab_channel=UnboxTherapy)
- Hiltzik, M. (2014). *Farewell to the big-screen plasma TV*. <https://www.latimes.com/business/hiltzik/la-fi-mh-bigscreen-plasma-tv-20140707-column.html>
- Hoxton Macs. (2024). *APPLE DISPLAY TECHNOLOGY EXPLAINED*. [https://www.hoxtonmacs.co.uk/blogs/news/apple-display-technology-explained?srsId=AfmBOorHtT8MKa-V\\_EI\\_ylzoo2iUJnGK7uu4r--nbUr1SOjLGp9JTKaQ](https://www.hoxtonmacs.co.uk/blogs/news/apple-display-technology-explained?srsId=AfmBOorHtT8MKa-V_EI_ylzoo2iUJnGK7uu4r--nbUr1SOjLGp9JTKaQ)
- IHO. (2014). *Specifications for chart content and display aspects of ECDIS* (S-52; p. 70). IHO. <https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-52/S-52%20Edition%206.1.1%20-%20June%202015.pdf>
- IHO. (2018). *Facts about electronic charts and carriage requirements*. [https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-66/S-66%20Edition%201.1.0\\_Final\\_Clean.pdf](https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-66/S-66%20Edition%201.1.0_Final_Clean.pdf)
- IMO. (1972). *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972 (COLREGs)*. <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/COLREG.aspx#:~:text=Rule%205%20requires%20that%20%22every,of%20the%20risk%20of%20collision.>
- IMO. (2022). *RESOLUTION MSC.530(106) (adopted on 7 November 2022) PERFORMANCE STANDARDS FOR ELECTRONIC CHART DISPLAY AND INFORMATION SYSTEMS (ECDIS)*.

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.530\(106\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.530(106).pdf)

Jadva, V., Hines, M., & Golombok, S. (2010). Infants' Preferences for Toys, Colors, and Shapes: Sex Differences and Similarities. *Archives of Sexual Behavior*, 39(6), 1261–1273.  
<https://doi.org/10.1007/s10508-010-9618-z>

Karbach, N., Kobrenko, N., Myers, M., & Gurwood, A. (2018). *How Drug Abuse Affects the Eye*.  
<https://www.reviewofoptometry.com/article/how-drug-abuse-affects-the-eye>

Kelly, G. (2018). Apple iPhone XS Vs iPhone XR: What's The Difference? *Forbes*.  
<https://www.forbes.com/sites/gordonkelly/2018/09/19/apple-iphone-xs-vs-iphone-xr-whats-the-difference-upgrade/>

Kimberly, B., & James R., P. (2009). AMBER LENSES TO BLOCK BLUE LIGHT AND IMPROVE SLEEP: A RANDOMIZED TRIAL. *Chronobiology International*, 26(8), 1602–1612.  
<https://doi.org/10.3109/07420520903523719>

Kongsberg. (2017). *ECDIS Compliance Kongsberg Maritime Navigation product*.  
<https://www.kongsberg.com/globalassets/maritime/km-products/product-documents/km-ecdis-compatibility-overview.pdf>

Konstantinovsky, M., & Bowie, D. (2023). Primary Colors Are Red, Yellow and Blue, Right? Not Exactly. *Howstuffworks*. <https://science.howstuffworks.com/primary-colors.htm>

Kushwaha, S. (2013). *Why LED TVs are slimmer, brighter than LCDs*.  
<https://www.businesstoday.in/magazine/know-tech/story/led-tv-lcd-plasma-tv-38976-2013-02-11>

- Lightray Innovation GmbH. (2022). Lux Meter Apps: Why Most of Them Are Useless. *Photone Grow Light Meter*. <https://growlightmeter.com/lux-meter-apps-why-id-only-use-photone/>
- Liszewski, A. (2025). Dasung's new portable E Ink monitor has a 60Hz refresh rate. *The Verge*. <https://www.theverge.com/2025/1/23/24350334/dasung-paperlike-103-display-monitor-screen-e-ink-60hz?>
- Mäntyjärvi, M., Tuppurainen, K., & Ikäheimo, K. (1998). Ocular Side Effects of Amiodarone. *Survey of Ophthalmology*, 42(4), 360–366. [https://doi.org/10.1016/S0039-6257\(97\)00118-5](https://doi.org/10.1016/S0039-6257(97)00118-5)
- MAPTATTOO. (2019). *MAPTATTOO*. <https://www.maptattoo.com/>
- Merriam-Webster Dictionary*. (2024).
- Michelin, R. (2020). How a Red Chart Light Can Lead You Astray. *Practical Sailor*. <https://www.practical-sailor.com/brief/how-a-red-chart-light-can-lead-you-astray>
- Morrison, G. (2013). *LED LCD vs. Plasma vs. LCD*. <https://www.cnet.com/tech/home-entertainment/led-lcd-vs-plasma-vs-lcd/>
- Morrison, G. (2021). *LCD vs. OLED: TV display technologies compared*. <https://www.cnet.com/tech/home-entertainment/led-lcd-vs-oled/>
- Mowatt, L., Gordon, C., Santosh, A. B. R., & Jones, T. (2018). Computer vision syndrome and ergonomic practices among undergraduate university students. *International Journal of Clinical Practice*, 72(1), e13035. <https://doi.org/10.1111/ijcp.13035>
- Münch, M., Kobińska, S., Steiner, R., Oelhafen, P., Wirz-Justice, A., & Cajochen, C. (2006). Wavelength-dependent effects of evening light exposure on sleep architecture and sleep EEG power density in men. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and*

- Comparative Physiology*, 290(5), R1421–R1428.  
<https://doi.org/10.1152/ajpregu.00478.2005>
- Nagare, R., Plitnick, B., & Figueiro, M. (2019). Does the iPad Night Shift mode reduce melatonin suppression? *Lighting Research & Technology*, 51(3), 373–383.  
<https://doi.org/10.1177/1477153517748189>
- Narang, K. (2023). Why Rooms Inside US Navy Ships Are Tuned Red: The Science, History, and Impact on Sailors. *Medium*. <https://medium.com/%40narang.kapil/why-rooms-inside-us-navy-ships-are-tuned-red-the-science-history-and-impact-on-sailors-dcd9e9a39a1e>
- Nasholm, E., Rohlfing, S., & Sauer, J. D. (2014). *Pirate Stealth of Inattentional Blindness? The Effects of Target Relevance and Sustained Attention on Security Monitoring for Experienced and Naive Operators*. University of Portsmouth.
- Nelson Miller. (2020). *What Is a CCFL LCD?* <https://nelson-miller.com/what-is-a-ccfl-lcd/>
- Nordmann, J.-P., Auzanneau, N., Ricard, S., & Berdeaux, G. (2003). Vision related quality of life and topical glaucoma treatment side effects. *Health and Quality of Life Outcomes*, 1(1), 75. <https://doi.org/10.1186/1477-7525-1-75>
- Norem, J. (2023). *Apple iPhone 15 Pro Max Displaying OLED Burn-In Issues* [Extremetech]. <https://www.extremetech.com/mobile/apple-iphone-15-pro-max-displaying-oled-burn-in-issues>
- North of England P&I. (2019). *COLREGs Rule 5 Look-out*. <https://www.nepia.com/publications/colregs-rule-5-look-out-poster/#:~:text=Rule%205%20is%20short%20but,always%20be%20someone%20looking%20out.>

Oogfonds. (n.d.-a). *Nachtblindheid*. <https://oogfonds.nl/oogziekte/nachtblindheid/>

Oogfonds. (n.d.-b). *Oorzaken glaucoom*.

Popelka, S., Vondrakova, A., & Skulnikova (Filicka), R. (2022). The Effect of Day and Night Mode on the Perception of Map Navigation Device. *2022 Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, 1–6. <https://doi.org/10.1145/3517031.3531164>

Precision Vision. (n.d.). *Pelli-Robson Contrast Sensitivity Chart*. <https://precision-vision.com/products/contrast-sensitivity-tests/peak-contrast-sensitivity/pelli-robson/pelli-robson-contrast-sensitivity-chart/>

Purves, D., Augustine, GJ., & Fitzpatrick, D. (2001). *Neuroscience 2nd edition*. National Library of Medicine. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK11059/>

Reuters. (2014). *Samsung SDI says to end plasma panel display production*. <https://www.reuters.com/article/2014/07/01/us-samsung-sdi-plasma-idUSKBN0F62W620140701/>

Rogers-Ramachandran, D., & Ramachandran, V. S. (2008). Right Side Up. *Scientific American*. <https://www.scientificamerican.com/article/right-side-up-2008-05/>

Rose, J., & MacLeod, M. (2010). *The Book of Pirates: A Guide to Plundering, Pillaging and Other Pursuits*. [https://books.google.be/books?id=ALG4cH7IRGEC&pg=PA14&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.be/books?id=ALG4cH7IRGEC&pg=PA14&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

Ryer, A. (1997). Measurement Geometries—Chapter 7—Light Measurement Tutorial. *International Light*. <https://internationallight.com/measurement-geometries-chapter-7-light-measurement->

tutorial#:~:text=A%20sphere%20contains%204%CF%80%20steradians,the%20radius%20of%20the%20sphere.

Satheesh, M. (Director). (2018). *Rhodopsin* [Video recording].

<https://www.youtube.com/watch?v=EgapLhkUP->

[c&ab\\_channel=UniversityofRochesterBiochemistry%28Biol252%29](https://www.youtube.com/watch?v=EgapLhkUP-c&ab_channel=UniversityofRochesterBiochemistry%28Biol252%29)

Schilling, T., Soltanlou, M., Nuerk, H.-C., & Bahmani, H. (2023). Blue-light stimulation of the blind-spot constricts the pupil and enhances contrast sensitivity. *PLOS ONE*, 18(5), e0286503.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286503>

Shafer, R. (2023). *What Is FALD Blooming Or Halo Effect?* <https://www.displayninja.com/what-is-fald-blooming-halo-effect/>

Shinoda, T., & Awamoto, K. (2006). Plasma display technologies for large area screen and cost reduction. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 34(2), 279–286.

<https://doi.org/10.1109/TPS.2006.872453>

Sigma Safety. (2020). *Lumens and lux and candela, oh my!* [https://sigmasafety.ca/news/lumens-lux-and-](https://sigmasafety.ca/news/lumens-lux-and-candela/#:~:text=There%20are%20really%203%20main,a%20surface%20to%20illuminate%20it.)

[candela/#:~:text=There%20are%20really%203%20main,a%20surface%20to%20illuminate%20it.](https://sigmasafety.ca/news/lumens-lux-and-candela/#:~:text=There%20are%20really%203%20main,a%20surface%20to%20illuminate%20it.)

Simonot, L., & Hébert, M. (2014). Between additive and subtractive color mixings: Intermediate mixing models. *Journal of the Optical Society of America A*, 31(1), 58.

<https://doi.org/10.1364/JOSAA.31.000058>

Siscom. (2015). Pros and cons of ECDIS or paperless navigation of ships. *Siscom*.  
<https://www.siscomnaval.com.ar/wp/pros-and-cons-of-ecdis-or-paperless-navigation-of-ships/>

SocialScienceStatistics. (n.d.). *The Friedman Test for Repeated-Measures* [Computer software].  
<https://www.socscistatistics.com/tests/friedman/default.aspx>

Strom, C. (2021). *Is This the Real Reason Why Pirates Wore Eyepatches?* [Online post].  
<https://www.ancient-origins.net/myths-legends-americas/pirates-eyepatch-0010989>

Team EMB. (2024). *What are E-ink Displays?: Benefits, Limitations, and Future Trends*.  
<https://blog.emb.global/what-are-e-ink-displays/#:~:text=The%20slower%20refresh%20rates%20of,rates%2C%20broadening%20their%20potential%20applications.>

Tech. (2024). Monitor Refresh Rate: 60Hz vs. 75Hz and Beyond for Work and Gaming. *ViewSonic*.  
<https://www.viewsonic.com/library/tech/60-hz-vs-75-hz-refresh-rates-whats-the-difference/?>

TechTarget. (2019). *LCD (Liquid Crystal Display)*.  
[https://www.techtarget.com/whatis/definition/LCD-liquid-crystal-display#:~:text=LCD%20\(Liquid%20Crystal%20Display\)%20is,computer%20monitors%20and%20instrument%20panels.](https://www.techtarget.com/whatis/definition/LCD-liquid-crystal-display#:~:text=LCD%20(Liquid%20Crystal%20Display)%20is,computer%20monitors%20and%20instrument%20panels.)

Texas Wesleyan. (2023). Images: Color codes [Library]. *West Library*.  
<https://westlibrary.txwes.edu/c.php?g=978475&p=7075536>

TheEyeShopAZ. (2022). Issues with Night Driving? *The Eye Shop*.  
<https://theeyeshopaz.com/2022/03/24/issues-with-night-driving/>

- Tollsen, M. (2024). How Lack of Sleep Affects Vision. *Early Bird*.  
<https://amerisleep.com/blog/how-lack-of-sleep-affects-vision/>
- Tsubota, K., & Nakamori, K. (1993). Dry Eyes and Video Display Terminals. *New England Journal of Medicine*, 328(8), 584–584. <https://doi.org/10.1056/NEJM199302253280817>
- Tyson, J. (2000). *How LCDs Work*. Howstuffworks.  
<https://electronics.howstuffworks.com/lcd.htm#:~:text=LCD%20screens%20are%20made%20of,of%20light%20to%20pass%20through.>
- UKHO. (2023). *UKHO updates on ECS digital solution, and the ADMIRALTY paper chart service*.  
<https://www.admiralty.co.uk/news/ukho-updates-ecs-digital-solution-and-admiralty-paper-chart-service>
- Van Der Meijden, W. P., Te Lindert, B. H. W., Ramautar, J. R., Wei, Y., Coppens, J. E., Kamermans, M., Cajochen, C., Bourgin, P., & Van Someren, E. J. W. (2018). Sustained effects of prior red light on pupil diameter and vigilance during subsequent darkness. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1883), 20180989.  
<https://doi.org/10.1098/rspb.2018.0989>
- Vansteenkiste, P. (2022). *Visuele aandacht en scanning bij redders*. Universiteit Gent.
- Visionect. (2023). *Did you know? Epaper holds an image even without power*.  
<https://www.visionect.com/blog/did-you-know-epaper-holds-an-image-even-without-power/>
- VisonDirect. (n.d.). *De effecten van Roaccutane op je ogen*.  
<https://www.visiondirect.nl/nieuws/effect-roaccutane-op-ogen>

- Wang, X., Hertel, D., Garone, L. C., & Rogers, R. A. (2023). Comparison of oxidative stress response of in vitro retinal cells exposed to blue light from emissive versus reflective displays. *Journal of the Society for Information Display*, 31(3), 112–124.  
<https://doi.org/10.1002/jsid.1191>
- WiseGuyReports. (2025). *Global Marine Display Market Research Report*.  
<https://www.wiseguyreports.com/reports/marine-display-market>
- Wood, M. (2009). *How do LEDs work?*  
[https://www.etconnect.com/uploadedFiles/Main\\_Site/Documents/Public/White\\_Papers/Protocol\\_Series\\_08-09\\_How\\_do\\_LEDs\\_Work.pdf](https://www.etconnect.com/uploadedFiles/Main_Site/Documents/Public/White_Papers/Protocol_Series_08-09_How_do_LEDs_Work.pdf)
- Woodford, C. (2022a). Diodes and LEDs. *Explainthatstuff*.  
<https://www.explainthatstuff.com/diodes.html#:~:text=Battery%20connected%20across%20the%20p%2Dn,the%20electrons%20and%20holes%20recombine.>
- Woodford, C. (2022b). OLED (Organic LEDs) and LEPS (light-emitting polymers). *Explainthatstuff*.  
<https://www.explainthatstuff.com/how-oleds-and-leps-work.html>
- Woodford, C. (2022c). *Plasma TV*. <https://www.explainthatstuff.com/plasmatv.html>
- Xie, X., Song, F., Liu, Y., Wang, S., & Yu, D. (2021). Study on the Effects of Display Color Mode and Luminance Contrast on Visual Fatigue. *IEEE Access*, 9, 35915–35923.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3061770>

Artificiële intelligentie werd geraadpleegd voor het academisch schrijven en vertalen. Nederlands is niet de eerste taal van de schrijver dus werden de zinnen academisch geherformuleerd via AI.

## 11 Annex

### 11.1 Annex 1

Welkom in deze stille ruimte. Haal rustig adem, diep in door je neus en laat de lucht langzaam ontsnappen via je mond. Voel hoe de stilte je omringt. In volledige duisternis verandert de manier waarop we een ruimte en onze omgeving ervaren. Zonder licht worden andere zintuigen alerter. Geluiden klinken helderder. De kleinste structuren die je aanraakt vallen je plotseling op. Je aandacht verschuift naar binnen.

Terwijl je deze tekst op het scherm leest, let eens op hoe je ogen zich langzaam beginnen aan te passen. Misschien zie je in het begin vooral de grote contrasten en de meest duidelijke letters, maar naarmate de tijd verstrijkt, zullen ook de subtielere nuances en vormen meer zichtbaar worden.

Het menselijk oog is een bijzonder orgaan. Bij daglicht nemen we kleuren en details waar dankzij de kegels in ons netvlies. Deze kegels reageren snel op licht en maken het mogelijk om gezichten te herkennen, kleuren te onderscheiden en teksten scherp te lezen.

Wanneer het donker wordt, nemen de staven in ons oog het over. Die zijn veel gevoeliger voor licht, maar kunnen geen kleur waarnemen. Ze zijn vooral gespecialiseerd in het opmerken van bewegingen, vormen en contrasten. Zodra het donkerder wordt, start er een aanpassingsproces in je ogen. Een stofje genaamd rodopsine, ook wel ‘visueel paars’ genoemd, stapelt zich op in de staven en maakt ze steeds gevoeliger.

Dit proces verloopt niet meteen. Het kan tot dertig minuten duren voordat je ogen hun volledige gevoeligheid in het donker hebben bereikt. In die tussentijd word je geleidelijk beter in het waarnemen van zwakke lichtbronnen en kleine contrasten.

Stel je eens de wereld buiten deze ruimte voor — de zachte gloed van een straatlantaarn, de sterren die aan een heldere hemel fonkelen, of hoe een maanverlichte nacht vormen van bomen en gebouwen onthult in grijzige tinten. Op die momenten zijn je staven actief en helpen ze je de omgeving waar te nemen.

Terwijl je verder leest, merk je misschien dat de letters op het scherm steeds scherper worden. Misschien vallen je aan de randen van het scherm of in je ooghoeken details op die je in het begin nog niet zag. Dit is je visuele systeem dat zich geleidelijk aanpast.

Haal nog eens rustig adem. Voel hoe je aandacht verschuift en je zintuigen zich aanpassen aan de stilte en de duisternis. Met elke minuut verandert je waarneming van deze ruimte en het scherm. Wat eerst onzichtbaar was, krijgt langzaam vorm. Dit is een proces dat mensen al duizenden jaren gebruiken: hun ogen laten wennen aan het donker, even wachten, en daarna de omgeving opnieuw ontdekken.

Lang voordat er kunstmatig licht bestond, leefden mensen in een wereld waarin duisternis heel normaal was. Het schijnsel van de maan, het flikkeren van een kampvuur en het licht van de sterren waren de enige bronnen van verlichting. Ook toen al pasten mensen hun ogen aan en leerden ze bewegingen en vormen herkennen in de schemering. Die eigenschap is nog steeds in ons aanwezig. Zelfs nu, in een wereld vol schermen en lampen, kunnen onze ogen zich aanpassen aan duisternis.

Terwijl je deze tekst blijft volgen, kun je je voorstellen hoe mensen vroeger in het donker over een pad liepen. Hoe een silhouet van een boom zichtbaar werd onder het zwakke maanlicht. Hoe sterren een vaag licht over het landschap wierpen. En hoe hun ogen, net als de jouwe nu, langzaam maar zeker gevoeliger werden voor elke beweging en vorm in de nacht.

Breng je aandacht nu terug naar dit moment. Naar het scherm voor je. Naar de stilte van deze ruimte. Zie je de letters nu scherper dan in het begin? Is het contrast tussen de tekst en de achtergrond duidelijker geworden? Merk je dat je ogen het scherm en de omgeving anders waarnemen dan enkele minuten geleden?

Terwijl je deze woorden leest, is je visuele systeem nog steeds bezig. Geduldig, in stilte, de gevoeligheid voor licht aan het verhogen. Over een paar minuten zal je beleving van deze ruimte en het scherm weer een beetje veranderd zijn. Waar eerst niets zichtbaar leek, worden nu vormen en details langzaam zichtbaar.

Neem nog een laatste, rustige ademhaling. Merk op hoe je ogen zich in de tussentijd al hebben aangepast. De duisternis is niet langer iets onbekends, maar een vertrouwde rust. Wanneer je zover bent, mag je dat aangeven en gaan we verder



## 11.2 Annex 2

Welkom in de stilte van deze ruimte. Op dit moment ben je omringd door rust. Er is niets dat je hoeft te doen, behalve deze tekst rustig volgen op het scherm voor je. Laat de wereld buiten even verdwijnen. Geen klok die je in de gaten moet houden. Geen meldingen. Geen stemmen. Alleen jij en deze woorden.

Als mens leven we voortdurend in omgevingen vol geluid, beelden en informatie. Overal gebeurt iets. Lichten, bewegingen, kleuren en gesprekken vechten om je aandacht. Maar op het moment dat die prikkels wegvallen, begint er iets bijzonders. Je zintuigen schakelen over op een andere manier van waarnemen. Je hersenen worden gevoeliger voor subtiele veranderingen, voor patronen die je anders niet zou opmerken.

In deze ruimte zonder geluid en zonder afleiding gebeurt precies dat. Misschien merk je hoe je lichaam vanzelf ontspant. Hoe je ademhaling rustiger wordt. Of hoe je gedachten eerst nog onrustig heen en weer springen, maar na een paar minuten minder dringend aanvoelen. Dit is het effect van een omgeving zonder voortdurende prikkels.

Wat veel mensen vergeten, is dat aandacht net als een spier werkt. Hoe meer je gefocust bent op één enkele taak — zoals het rustig lezen van een tekst zonder afleiding — hoe scherper je opmerkingsvermogen wordt. Kleine details vallen je plotseling op. Je ziet ineens hoe bepaalde letters net iets dikker of dunner lijken. Hoe de regelafstand verschilt tussen zinnen. Misschien merk je zelfs een kleine oneffenheid in de achtergrond van het scherm.

In de moderne wereld is het zeldzaam dat we nog langere tijd geconcentreerd naar één punt kijken. Zelfs bij het lezen van een boek of artikel springen onze ogen van scherm naar telefoon, van geluid naar licht. Maar hier is er niets anders dan deze woorden. En terwijl je leest, wordt je brein steeds beter in het onderscheiden van patronen in de omgeving.

Probeer eens op te merken hoe je aandacht zich gedraagt. Ben je geneigd om sneller te lezen naarmate je verder komt? Dwaal je met je gedachten af? Of merk je juist dat je rustiger wordt naarmate de minuten voorbijgaan? Zonder afleiding wordt elke gedachte, elke waarneming helderder en intenser.

Er zijn onderzoeken die aantonen dat onze waarneming van tijd verandert als er geen prikkels zijn. Vijf minuten in een drukke ruimte voelt korter dan vijf minuten in stilte. Hier, zonder geluiden

of beweging, lijkt de tijd zich uit te rekken. Misschien voelt het alsof je hier al veel langer zit dan werkelijk het geval is. En dat is volkomen normaal.

Kijk eens naar de letters op het scherm. Je hoeft niets te zoeken, maar laat je blik dwalen. Zie je hoe sommige delen van de tekst makkelijker leesbaar lijken? Of hoe je blik automatisch naar het midden van het scherm trekt? Dat is je brein dat probeert een rustpunt te vinden in de afwezigheid van andere signalen.

Misschien hoor je nu ook je eigen ademhaling, of een zachte ruis in de ruimte. In stilte worden de kleinste geluiden hoorbaar. De tintelingen in je vingers, het kloppen van je hart, het geritsel van je kleding. Dingen die je in het dagelijks leven nauwelijks opmerkt, worden hier vanzelf merkbaar.

Wat je nu aan het ervaren bent, noemen sommigen een vorm van zintuiglijke reset. Door het wegvallen van afleiding en constante informatie stroomt je aandacht niet langer naar buiten, maar keert het zich naar binnen. Je waarneming vertraagt, maar wordt tegelijkertijd scherper.

Er zijn mensen die dit opzoeken in meditatie of stiltewandelingen, maar zelfs zonder ervaring daarin zul je merken dat je zintuigen in deze situatie automatisch scherper worden. Misschien begin je details in de tekst waar te nemen die je eerder over het hoofd zag. Of lijken de zinnen na verloop van tijd net iets helderder.

Probeer eens je blik van het scherm te halen en dan langzaam terug te brengen naar de tekst. Merk je verschil in hoe je het scherm waarneemt? Is er iets veranderd in de manier waarop je de tekst leest? Je hoeft geen antwoorden te zoeken, het is voldoende om je bewust te zijn van wat je voelt en ziet.

We naderen het einde van deze tekst. Neem nog een rustige ademhaling en merk op hoe de stilte en het gebrek aan prikkels invloed hebben gehad op je aandacht, je waarneming en je rust. Als je straks klaar bent met lezen, kun je aangeven dat je de tekst uit hebt. Dan bekijken we hoe je ervaring was en of je veranderingen in je waarneming hebt opgemerkt

### 11.3 Annex 3

Bienvenue dans cet espace silencieux. Prenez une profonde inspiration par le nez et relâchez-la doucement par la bouche. Ressentez le calme qui vous entoure. Dans l'obscurité totale, notre manière de percevoir ce qui nous entoure change. Sans lumière ambiante, nos autres sens deviennent plus attentifs. Les sons paraissent plus nets. Le moindre contact sous vos doigts devient perceptible. Votre attention se tourne progressivement vers l'intérieur.

Pendant que vous lisez ces lignes sur l'écran, remarquez comment vos yeux commencent à s'adapter lentement. Peut-être qu'au début vous ne distinguez que les caractères les plus marqués, mais avec chaque minute qui passe, les nuances plus subtiles deviendront plus apparentes.

L'œil humain est un organe fascinant. À la lumière du jour, nous percevons une multitude de couleurs et de détails grâce aux cônes de notre rétine. Ces cellules réagissent rapidement aux changements de lumière et permettent de reconnaître des visages, de lire des textes et de différencier les teintes.

Mais lorsque la lumière diminue, ce sont les bâtonnets qui prennent le relais. Ils sont bien plus sensibles à la lumière, mais ne distinguent pas les couleurs. Leur rôle est de percevoir les mouvements, les formes et les contrastes. Quand l'obscurité s'installe, un processus d'adaptation débute dans vos yeux. Une substance appelée rhodopsine, aussi connue sous le nom de « pourpre rétinien », s'accumule dans les bâtonnets et augmente leur sensibilité à la lumière.

Ce phénomène n'est pas instantané. Il faut parfois jusqu'à trente minutes pour que vos yeux atteignent leur pleine capacité d'adaptation à l'obscurité. Petit à petit, vous deviendrez capable de percevoir les plus faibles lueurs et les moindres variations de contraste.

Imaginez un instant le monde au-dehors — la lueur douce d'un réverbère, la lumière des étoiles dans le ciel nocturne, ou encore la façon dont une nuit de pleine lune dessine des formes en nuances de gris. C'est dans ces moments-là que vos bâtonnets sont pleinement actifs, pour vous permettre de voir dans l'obscurité.

Au fil de cette lecture, vous pourriez remarquer que les lettres sur l'écran deviennent plus nettes. Peut-être que, dans les coins de l'écran ou dans votre champ de vision périphérique, vous

commencez à percevoir des détails que vous ne remarquiez pas au départ. C'est votre système visuel qui s'adapte, progressivement.

Respirez encore calmement. Sentez comment l'obscurité modifie votre attention. Minute après minute, votre perception de cette pièce et de l'écran évolue. Ce qui semblait invisible commence à se dessiner. Ce processus est millénaire : laisser ses yeux s'adapter, patienter et redécouvrir son environnement dans la pénombre.

Bien avant l'apparition de l'éclairage artificiel, les humains vivaient dans des environnements où la nuit faisait partie de la routine. Les étoiles, le feu et la lumière de la lune étaient les seules sources de clarté. Même à cette époque, les yeux humains savaient s'habituer à l'obscurité pour détecter des mouvements subtils ou des formes discrètes. Cette capacité existe encore aujourd'hui. Même dans un monde où les écrans et les lumières artificielles sont omniprésents, vos yeux conservent cette aptitude.

Pendant que vous poursuivez votre lecture, imaginez un paysage nocturne d'autrefois. Un sentier qui apparaît lentement à chaque pas. Le reflet de la lune sur une étendue d'eau. Les étoiles diffusant une lueur légère sur la nature endormie. Vos yeux, qui s'ajustent peu à peu, vous permettent de distinguer les formes et de vous repérer dans cet univers de pénombre.

Ramenez maintenant votre attention sur l'écran. Observez le texte devant vous. Ressentez le calme dans cette pièce. Est-ce que les lettres vous paraissent plus nettes qu'au début ? Le contraste est-il plus clair ? Arrivez-vous à percevoir davantage de contenu à l'écran qu'au départ ? Remarquez-vous que votre regard s'ajuste petit à petit à cet environnement sombre ?

En lisant ces mots, votre système visuel travaille silencieusement. Il augmente progressivement sa sensibilité à la lumière. Dans quelques minutes encore, votre perception de cette obscurité se sera transformée. Ce qui paraissait obscur et uniforme se remplira de formes, de textures et de mouvements subtils.

Prenez enfin une dernière inspiration profonde. Remarquez l'évolution que vos yeux ont déjà accomplie. L'obscurité n'est plus un obstacle, mais un état naturel et apaisant. Lorsque vous serez prêt, signalez-le, et nous poursuivrons

## 11.4 Annex 4

Bienvenue dans le calme de cet espace. En ce moment, vous êtes entouré de silence. Il n’y a rien que vous deviez faire, si ce n’est lire tranquillement ce texte sur l’écran devant vous. Laissez le monde extérieur disparaître un instant. Pas d’horloge à surveiller, pas de notifications, pas de voix. Rien que vous et ces mots.

Nous vivons en permanence dans des environnements saturés de sons, d’images et d’informations. Partout, quelque chose attire notre attention. Des lumières, des mouvements, des couleurs et des conversations sollicitent nos sens en continu. Mais dès que ces stimuli disparaissent, un phénomène particulier se produit. Vos perceptions se réajustent. Votre esprit devient plus attentif aux petits détails, aux subtilités qu’il ignore d’ordinaire.

Dans cette pièce, à l’écart de tout bruit et de toute distraction, c’est exactement ce qui est en train de se passer. Peut-être ressentez-vous que votre respiration devient plus lente, plus profonde. Que vos pensées, d’abord agitées, commencent peu à peu à perdre de leur urgence. C’est l’effet naturel d’un environnement sans sollicitations.

Ce que l’on oublie souvent, c’est que l’attention fonctionne un peu comme un muscle. Plus vous vous concentrez sur une seule activité — ici, la lecture tranquille de ce texte sans être dérangé — plus vos perceptions se précisent. De petits détails commencent à vous apparaître. Vous voyez peut-être que certaines lettres semblent légèrement plus épaisses, ou que l’espacement entre les lignes varie. Peut-être percevez-vous une irrégularité dans l’arrière-plan de l’écran.

Aujourd’hui, il est devenu rare de fixer son attention sur un seul point pendant plusieurs minutes. Même en lisant un livre ou un article, nos yeux vagabondent sans cesse d’un écran à l’autre, d’un bruit à une lumière. Ici, il n’y a rien d’autre que ce texte. Et au fil de la lecture, votre cerveau affine ses capacités à repérer les légères différences et les motifs autour de vous.

Observez simplement comment votre attention évolue. Ressentez-vous le besoin d’accélérer votre lecture ? Vos pensées vagabondent-elles ? Ou au contraire, vous sentez-vous de plus en plus apaisé à mesure que le temps passe ? En l’absence de distraction, chaque perception devient plus nette.

Plusieurs études ont montré que notre perception du temps se modifie lorsque les stimulations extérieures diminuent. Cinq minutes dans une pièce animée paraissent plus courtes que cinq minutes dans le silence. Ici, sans bruit ni mouvement, le temps semble s'étirer. Peut-être avez-vous déjà l'impression d'être assis ici depuis bien plus longtemps qu'en réalité. Et cela est tout à fait normal.

Regardez les lettres sur l'écran. Ne cherchez rien de précis, mais laissez votre regard parcourir doucement le texte. Remarquez-vous que certaines parties vous paraissent plus lisibles que d'autres ? Que votre regard est naturellement attiré vers le centre de l'écran ? C'est votre cerveau qui tente de trouver un point d'équilibre dans l'absence de signaux extérieurs.

Vous percevrez peut-être aussi des sons discrets : votre respiration, le battement de votre cœur, un léger froissement de tissu. Lorsque le bruit ambiant disparaît, ces petits sons deviennent plus présents. Ce sont des choses que vous n'entendez presque jamais dans votre quotidien, mais qui, ici, s'invitent à votre conscience.

Ce que vous êtes en train de vivre, certains l'appellent un « réajustement sensoriel ». Lorsque les sollicitations extérieures se réduisent, votre attention ne s'éparpille plus et se recentre sur ce que vous ressentez, ici et maintenant. Vos perceptions ralentissent, mais deviennent en même temps plus nettes.

Certaines personnes cherchent ce type de sensation à travers la méditation ou des promenades silencieuses. Mais même sans expérience dans ce domaine, vous constaterez que vos sens s'adaptent naturellement à ce type d'environnement. Peut-être remarquerez-vous des détails dans le texte qui vous avaient échappé au départ, ou que les lignes paraissent un peu plus nettes qu'au début.

Essayez de détourner légèrement votre regard de l'écran, puis de revenir doucement vers le texte. Percevez-vous une différence dans la façon dont vous voyez l'écran ? Y a-t-il quelque chose qui semble avoir changé dans votre lecture ? Il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse — il suffit d'en être conscient.

Nous arrivons au terme de ce texte. Prenez une dernière inspiration profonde et observez comment cette absence de stimulations a pu influencer votre attention, vos perceptions et votre

sensation de calme. Lorsque vous aurez terminé, vous pourrez indiquer que vous avez fini de lire.  
Nous prendrons alors un moment pour discuter de votre expérience

11.5 Annex 5

E S J K L V

A L K U I O

J G X M I E

R T S C N H

Z X F D J B

W O H C V E

K L S E V J

E L J C X T

X G A P O B

R N M Y Z F

Q G V W D H

Y B M P Q T

V L G M D U

S P X N M W

A C B I L P

O T C B V E

R U O A D G

Q N C E V R

## 11.8 Annex 8

**Nummer deelnemer:** \_\_\_\_\_

**Datum:** \_\_\_\_\_

**Instructies:** Gelieve onderstaande vragen zorgvuldig te lezen en aan te kruisen wat op u van toepassing is. Indien u één of meerdere vragen met 'Ja' beantwoordt, komt u mogelijk niet in aanmerking voor deelname aan de proef.

| Nr. Vraag                                                                                                               | Ja                       | Nee                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 Heeft u nachtblindheid (nyctalopie) of moeite met zien in het donker?                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2 Heeft u een oogafwijking die de aanpassing aan duisternis beïnvloedt (bijv. retinitis pigmentosa, ernstige cataract)? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3 Bent u kleurenblind of heeft u moeite met het onderscheiden van kleuren, vooral bij weinig licht?                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4 Draagt u een bril of schermfilter met blauwlichtfilter tijdens de proef?                                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5 Heeft u voor de proef alcohol of drugs gebruikt?                                                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6 Ervaart u ernstige slaapproblemen of heeft u significant slaaptekort?                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7 Heeft u een aandoening waarbij de pupilreflexen afwijkend zijn (bijv. na bepaalde oogoperaties)?                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8 Gebruikt u medicijnen die de pupilrespons kunnen beïnvloeden (bijv. bepaalde antidepressiva, anti-aritmicum)?         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

**Opmerkingen:**

---

**Handtekening deelnemer:** \_\_\_\_\_

## 11.9 Annex 9

**Numero du participant :** \_\_\_\_\_

**Date :** \_\_\_\_\_

**Instructions :** Veuillez lire attentivement les questions ci-dessous et cocher la case correspondante. Si vous répondez « Oui » à l'une des questions, vous pourriez ne pas être éligible pour participer à l'étude.

| N° | Question                                                                                                                                          | Oui                      | Non                      |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1  | Souffrez-vous de cécité nocturne (nyctalopie) ou avez-vous des difficultés à voir dans l'obscurité ?                                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2  | Présentez-vous une affection oculaire connue affectant l'adaptation à l'obscurité (par exemple, rétinite pigmentaire, cataracte sévère) ?         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3  | Êtes-vous atteint de daltonisme ou avez-vous des difficultés à distinguer les couleurs, en particulier dans des conditions de faible luminosité ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4  | Portez-vous des lunettes ou utilisez-vous des filtres d'écran avec filtre de lumière bleue pendant l'étude ?                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5  | Avez-vous consommé de l'alcool ou des drogues précédant l'étude ?                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6  | Souffrez-vous de troubles du sommeil sévères ou d'un manque significatif de sommeil ?                                                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7  | Avez-vous une condition médicale affectant les réflexes pupillaires (par exemple, suite à certaines chirurgies oculaires) ?                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8  | Prenez-vous des médicaments susceptibles d'influencer la réponse pupillaire (par exemple, certains antidépresseurs, anti-arythmique) ?            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

**Remarques:**

\_\_\_\_\_  
**Signature du participant :** \_\_\_\_\_