

# Säker bilkörning med Head Up Displays och Camera Monitor Systems (SCREENS)



Författare: Kjell Brunnström, Anders Djupsjöbacka, Börje Andrén,  
Bo Schenkman, Gustav Kumlin Groth, David Hermann

Datum: 2023-05-31

Projekt inom

Elektronik, mjukvara och kommunikation - FFI - december 2020

**FFI** Fordonsstrategisk  
Forskning och  
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

# Innehållsförteckning

<b>1 Sammanfattning .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Executive summary in English.....</b>	<b>4</b>
<b>3 Bakgrund.....</b>	<b>6</b>
<b>4 Syfte, forskningsfrågor och metod .....</b>	<b>7</b>
<b>5 Mål .....</b>	<b>7</b>
<b>6 Resultat och måluppfyllelse .....</b>	<b>8</b>
6.1 Måluppfyllnad av projektmål.....	8
6.2 Måluppfyllnad av program mål .....	9
6.3 Projektresultat .....	10
<b>7 Spridning och publicering .....</b>	<b>14</b>
7.1 Kunskaps- och resultatspridning.....	14
7.2 Publikationer.....	14
<b>8 Slutsatser och fortsatt forskning .....</b>	<b>14</b>
<b>9 Deltagande parter och kontaktpersoner .....</b>	<b>15</b>
<b>10 Referenser.....</b>	<b>16</b>
<b>11 Appendix 1: O1 resultatdetaljer (på engelska) .....</b>	<b>17</b>
<b>12 Appendix 2: O2 resultatdetaljer (på engelska).....</b>	<b>21</b>
<b>13 Appendix 2: O5 resultatdetaljer (på engelska).....</b>	<b>27</b>

## Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

Läs mer på [www.vinnova.se/ffi](http://www.vinnova.se/ffi).

# 1 Sammanfattning

Digital teknik kan bidra till att underlätta för en människa att uppfatta och förstå sin omvärld. Samtidigt finns det en risk för felanvänd teknik som kan vara skadlig. För att förstå hur ny teknik i bilar med visuell information kan förbättra säkerhet och informationens synlighet har SCREENS-projektet genomfört studier involverande Head-Up Displays och Camera Monitor Systems (CMS).

Syftet med projektet SCREENS var att utveckla riktlinjer för visuell informationsdesign för Augmented Reality Head-Up Displays (AR-HUD) och Camera Monitor Systems (CMS) för att förbättra trafiksäkerheten och mätförfaranden i fordon för både HUD och CMS.

Fem mål har varit styrande för arbetet:

O1: Metoder för att utföra kamerabaserade mätningar på HUD och CMS i bilen, vilket minskar instrumentkostnaden med minst 70 % samt storlek och vikt med minst 50 %.

O2: En praktiskt fungerande och verifierad mätmetod för end-to-end latens för CMS.

O3: Rekommendationer för att öka säkerheten med minst 5 % och förbättra körupplevelsen genom att placera extra information i en AR-HUD jämfört med de för närvarande använda konventionella HUD:er.

O4: Rekommendationer med potentiell användning av utökad information om hur man minimerar felet med avståndsbedömning och beslutsfattande i CMS som digital backspegel jämfört med en traditionell analog spegel med minst 10 %.

O5: Hitta ett perceptuellt intervall för inverkan av Motion Induced Transparency (MIT)<sup>1</sup> på rörliga objekts synlighet orsakad av låga temperaturer i ett CMS, jämfört med en skärm vid 20 grader Celsius.

Projektet har haft en god uppfyllnad av både projektmål och program mål.

Resultaten och målfyllnad visar att:

- Högkvalitativa standarddigitala kameror kan ersätta dyrare och tyngre mätinstrument för mätningar i fordon i fält. Här behövs dock mer arbete för att ta fram en praktisk kalibreringsmetod för digitala kamerorna.
- Metod att mäta glas-till-glas latens som utvecklats i projektet fungerar och ger stabila resultat.
- AR-HUD ger positiva effekter på säkerheten då föraren håller sin blick på vägen mer frekvent med AR-HUD jämfört med konventionell HUD.
- CMS med AR ökade förarens prestationer och upplevelser jämfört med traditionella analoga speglar och CMS utan AR. Däremot försämrade en CMS utan AR körprestationerna jämfört med traditionella analoga speglar.
- En relation mellan beteenderesultat och simulerad temperaturorsakad bildförsämring finns. På basis av detta har rekommendationer för handhavande av skärmar i kalla temperaturer i fordon tagits fram.

Resultaten kommer att tas vidare i kommande fortsättningsprojekt som t.ex. Vinnova FFI SCREENS 2 (inskickat dnr: 2023-00755), som möter behoven från svensk fordonsindustri att skapa en trafiksäker och hälsosam interaktion mellan förare och fordon i trenden mot mer automatiserade fordon och digitaliserad informationsmiljö.

---

<sup>1</sup> Ett fenomen som uppstår i mycket kalla displayer gjorda med flytande kristaller s.k., LCD-teknik. Kristallerna blir väldigt trögflytande och displayer får långa omslagstider, vilket gör att rörelser blir utsmetade och tills slut nästan transparenta

## 2 Executive summary in English

Digital technology can contribute to making it easier for a person to perceive and understand their surroundings. At the same time, there is a risk of misused technology that can be harmful. To understand how new technology in cars with visual information can improve safety and information visibility, the SCREENS project has conducted studies involving Head-Up Displays and Camera Monitor Systems (CMS).

Displays are increasingly used in all kinds of vehicles, such as trucks, cars, agricultural- and construction machines. The variety of type of displays and usage has also increased, e.g., digital rear-view mirrors, infotainment, Head-Up displays (HUD) see Figur 1. They are often introduced with the intent to increase safety and make the task easier for the driver, but this may actually be the opposite if the system engineers have not considered how drivers process information. It is important that the design and requirements are developed considering the human perception so that the presented information can be correctly perceived. For instance, the perceived distance in digital rear-view mirrors of CMS or that nothing is behind the car when reversing regardless of whether the display is cold or not. Motion Induced Transparency (MIT) can occur when an LCD display that are cold and the slow response of the LCD crystals makes moving object appear transparent and therefore harder to see. Thus, it is essential that the displays that provide driver critical information maintain sufficiently high image quality and is well dimensioned for the visual environment. In addition, the whole imaging pipeline from the camera to the display, such as latency and coding quality, may have an impact on the video quality and should also be studied within this context. Furthermore, the distance, size and position should be suited for the accommodation and vergence of the driver. Wittmann, *et al.* (2006) [1] showed that based on behavioural data, eye movements, and subjective rating scales the manipulation of display information during driving disturbed drivers' performance exponentially as a function of distance between the line of sight to the outside primary task and the onboard display position.

The purpose of the SCREENS project was to develop visual information design guidelines for Augmented Reality Head-Up Displays (AR-HUD) and Camera Monitor Systems (CMS) to improve traffic safety and in-vehicle measurement procedures for both HUD and CMS.

Five specific goals have guided the work:

O1: Methods for performing camera-based measurements on in-car HUDs and CMSs, reducing instrument cost by at least 70% and size and weight by at least 50%.

O2: A practical and verified end-to-end latency measurement method for CMS.

O3: Recommendations to increase safety by at least 5% and improve the driving experience by placing extra information in an AR-HUD compared to the currently used conventional HUDs.

O4: Recommendations with potential use of extended information on how to minimize distance judgment and decision-making error in CMS as a digital rear-view mirror compared to a traditional analogue mirror by at least 10%.

O5: Find a perceptual range for the impact of Motion Induced Transparency (MIT) on the visibility of moving objects caused by low temperatures in a CMS, compared to a screen at 20 degrees Celsius.

The project has addressed the FFI program's overall goals, by developing guidelines so that presented information can be understood correctly. Specifically, these are linked to AR-HUD and CMS. International competitiveness is strengthened if the visual environment regarding displays and visual information is designed with the driver in focus.

The results and goal fulfilments show:

- High-quality standard digital cameras can replace more expensive and heavier measuring instruments for measurements in vehicles in the field. Here, however, more work is needed to develop a practical calibration method for the digital cameras.
- Method to measure glass-to-glass latency developed in the project works and gives stable results.
- AR-HUD provides positive effects on safety as the drivers keeps their eyes on the road more frequently with AR-HUD compared to conventional HUD.
- CMS with AR increased driver performances and experiences compared to traditional analogue mirrors and CMS without AR. In contrast, a CMS without AR degraded driving performance compared to traditional analogue mirrors.

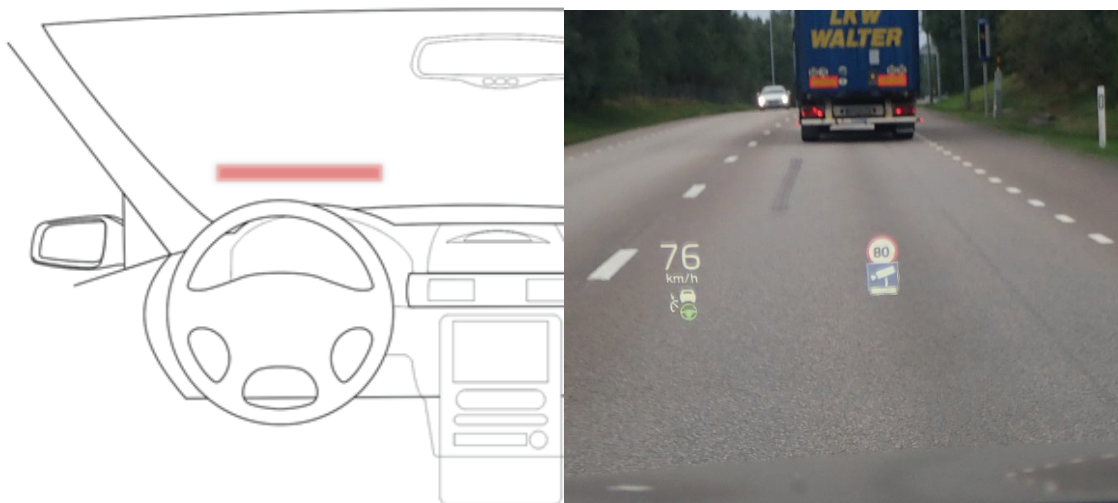
- A relationship between behavioural results and simulated temperature-induced image degradation exists. On the basis of this, recommendations for handling screens in cold temperatures in vehicles have been developed.

The results will be taken forward in future continuation projects such as e.g., Vinnova FFI SCREENS 2 (submitted dnr: 2023-00755), which meets the needs of the Swedish automotive industry to create a traffic-safe and healthy interaction between drivers and vehicles in the trend towards more automated vehicles and digitalized information environment.

### 3 Bakgrund

Displayer används i allt större utsträckning i alla typer av fordon, såsom lastbilar, personbilar, jordbruks- och entreprenadmaskiner. Mångfalden av typ av displayer och användning har också ökat, t.ex., digitala backspeglar, infotainment, Head-Up-displayer (HUD) se figur 1. De introduceras ofta i syfte att öka säkerheten och göra uppgiften lättare för föraren, men det kan faktiskt bli tvärtom om systemingenjörerna och industridesignerna inte har beaktat hur förare tar till sig information. Det är viktigt att design och krav utvecklas med hänsyn till människans perception och förutsättningar så att den presenterade informationen kan uppfattas korrekt. Ett exempel är att det upplevda avståndet i de digitala backspeglarna i en CMS är korrekt återgivet. Ett annat exempel är att det är möjligt att se att inget riskabelt eller ömtåligt finns bakom bilen vid backning, oavsett om displayen är kall eller inte.

När en LCD-skärm är riktigt kall, blir LCD-kristallerna mycket trögrörliga. Den långsamma responsen från LCD-kristallerna gör att ett rörligt föremål verkar genomskinligt och därför svårare att se Figur 1. Därför är det väsentligt att bildskärmarna som ger förarkritisk information håller tillräckligt hög bildkvalitet och är väl dimensionerade och designade för den visuella miljön. Dessutom kan hela bildbehandlingspipelinen från kameran till displayen, såsom latens och kodningskvalitet, ha en inverkan på videokvaliteten och bör också studeras i detta sammanhang. Vidare bör avståndet, storleken och positionen vara anpassade för förarens accommodation och konvergens. Wittmann, et al. [1] visade att baserat på beteendedata, ögonrörelser och subjektiva betygsskalor störde displayinformation förarens prestanda exponentiellt som en funktion av avståndet mellan siktlinjen till den yttre primära uppgiften och den ombordvarande displaypositionen när den manipulerades under körning.



*Figur 1: Bilden till vänster, från Campbell, et al. [2], visar en HUD som ger en varning, vilket endast är närvarande under larm. Den används i kombination med andra modaliteter. Bilden till höger visar ett exempel på förarinformation i HUD för en aktuell Volvo XC90: Hastighet, Hastighetsgräns, Aktiv farthållare med Pilot Assist aktiverad och Speed Cam-varning.*

När man introducerar en HUD eller CMS tillsammans med de andra displayerna i bilen, kan antalet visuella informationskällor som konkurrerar om förarnas uppmärksamhet leda till distraktion som också kan vara farlig och resultera i olyckor. Federal Motor Carrier Safety Administration (FMCSA) [3] exemplifierar faran med distraktion med "Om du kör i 55 mph (ca 88 km/h) och tar blicken från vägen i 5 sekunder för att skriva ett textmeddelande, har du åkt längs en fotbollsplan (slutzoner ingår) utan att titta på vägen". National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) rapporterade att 2018 dödades 349 personer på grund av distraherad körning i samband med mobiltelefoner [4]. Även i Sverige orsakas många olyckor av användning av mobiltelefoner och andra kommunikationsenheter som GPS, enligt en rapport från Transportstyrelsen [5]. Dessa enheter har tills nyligen delvis varit externa enheter till bilen, men är mer och mer integrerade i bilens förarmiljö, vilket gör att det blir fordonstillverkarnas ansvar att de fungerar bra tillsammans med de körkritiska enheterna.

Vi kan därför förutse att det ökande antalet skärmar och informationskällor kommer att öka olika distraktioner under körning. Det är därför angeläget att studera hur påverkan på säkerheten skulle kunna minimeras, så att viktig information framträder tydligt, är lätt att tolka och kan ses med ögonen på minimal tid eller helst utan att behöva att föraren tar bort blicken från vägen.



Vidare kan man med en åldrande befolkning förutse att högre ålder kommer att bli än mer viktig att ta hänsyn till när man utformar den visuella körmiljön. Medan rekommendationer redan finns [6], finns det motsägelsefulla designmål som bör utvärderas mot varandra när antalet skärmar ökar.

För att nå designmålen med hög säkerhet krävs en tilltalande design och ergonomisk lämplighet för uppgiften. Den avsedda displaykomponenten måste karakteriseras i användningssituationen, dvs. i fordon med fullt utnyttjande av den visuella miljön och inbördes anpassad relation till de andra displaykomponenterna i förarmiljön. Till exempel kan bländning från inkommande ljus reflekteras flera gånger på displayens ytor. Detta kommer inte bara att ställa höga krav på förståelsen för hur sådan mätning ska utföras, utan också det begränsade utrymmet gör mätningar utmanande, eftersom noggranna och avancerade mätinstrument som spektrometer och mätkameror tenderar att vara otympliga, stora och skrymmande. Projektet avser att utveckla mätförfaranden som är lämpliga att utföra i en modern bil och att förstå de olika krav som kan ställas på moderna och kommande skärmar och informationskällor.

## 4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Syftet med projektet SCREENS var att utveckla riktlinjer för visuell informationsdesign för Augmented Reality Head-Up Displays (AR-HUD) och Camera Monitor Systems (CMS) för att förbättra trafiksäkerheten och mätförfaranden i fordon för både HUD och CMS. Följande forskningsfrågor undersöktes:

1. Hur kan man utföra kamerabaserade mätningar i bilar för HUD och CMS med billigare och lättare kamerautrustningar och ändå uppnå en hög mätnoggrannhet?
2. Hur kan man praktiskt mäta end-to-end latens för CMS?
3. Hur kan man öka säkerheten och körupplevelsen genom att placera extra information i en AR-HUD jämfört med de för närvarande använda konventionella HUD:er?
4. Hur kan man minimera felet med avståndsbedömning och beslutsfattande i CMS:ns digitala backspegel jämfört med en traditionell analog spegel?
5. Vilket perceptuellt acceptabelt intervall kan bestämmas för inverkan av Motion Induced Transparency (MIT) på rörliga objekts synlighet orsakad av låga temperaturer i ett CMS, jämfört med en skärm vid 20 grader Celsius.

Metoden som har använts har varit empirisk och experimentell dels genom utförande av mätningar med mätinstrument i både bilar och i lab, och dels genom utförande av användarstudier i trafik, simulator och i lab.

## 5 Mål

Mål: Att ha utvecklat riktlinjer för visuell informationsdesign för AR-HUD och för CMS för att förbättra trafiksäkerheten samt förbättrade mätprocedurer för displayer i fordon för både HUD och CMS.

De specifika målen (förkortat O1-5 i detta dokument) ska ha utvecklats:

### O1

Metoder för att utföra kamerabaserade mätningar på HUD och CMS i bilen, vilket minskar instrumentkostnaden med minst 70 % samt storlek och vikt med minst 50 %.

Verifierad genom: Jämföra vikten och priset för en toppmodern kamera (t.ex. Radiant) med kostnaden och vikten för kameran för den utvecklade mätmetoden.

### O2

En praktiskt fungerande och verifierad mätmetod för end-to-end latens för CMS.

Verifierad av: Målet är uppfyllt när metoden har verifierats på ett CMS för att ge stabila och repeterbara resultat.

### O3

Rekommendationer om hur man minimerar effekten av felaktig placering av tillagd information i en AR-HUD på uppfattningen och beslutsfattandet i trafiken med minst 5 %.

Verifierad av: Genom att variera den tillagda AR-informationen i en användarstudie med en uppgift som är inriktad på beslutsfattande, jämförs felet i beslutsfattandet mellan resultaten och den aktuella AR-informationen.

#### **O4**

Rekommendationer med potentiell användning av utökad information om hur man minimerar felet med avståndsbedömning och beslutsfattande i CMS som digital backspegel jämfört med en planspegel med minst 10 %.

Verifierad av: Genom att variera den tillagda AR-informationen i användarstudien med en uppgift som är inriktad på beslutsfattande, jämförs felet i beslutsfattandet mellan resultaten och en traditionell analog spegel.

#### **O5**

Hitta ett perceptuellt intervall för inverkan av Motion Induced Transparency (MIT) på rörliga objekts synlighet orsakad av låga temperaturer i ett CMS, jämfört med en skärm vid 20 grader Celsius.

Verifierad av: Perceptuell räckvidd hittas med psykofysiska metoder på graden av transparens för acceptabla nivåer av övre och nedre gränser för transparens.

### **5.1 Ändringar av mål i förhållande till ansökan**

Ett mål dvs O3 har ändrats i förhållande till den inskickade ansökan. Den nya formuleringen lyder:

“O3. Rekommendationer för att öka säkerheten med minst 5 % och förbättra körupplevelsen genom att placera extra information i en AR-HUD jämfört med de för närvarande använda konventionella HUD:er”

I O4 är ordet ”planspegel” ändrat till ordet till ”traditionell analog spegel” dvs

”O4. Rekommendationer med potentiell användning av utökad information om hur man minimerar felet med avståndsbedömning och beslutsfattande i CMS som digital backspegel jämfört med en traditionell analog spegel med minst 10 %.”

Verifieringsformuleringen för O5 har ändrats från det som skrevs i ansökan

”Perceptuell räckvidd hittas med psykofysiska metoder, magnitDESTIMERING och kategoriskalar, för acceptabla nivåer av övre och nedre gränser för olika grader av transparens. Härvid relateras acceptans och komfort till varandra, men även till resultat från olika metoder”

## **6 Resultat och måluppfyllelse**

### **6.1 Måluppfyllnad av projektmål**

#### **O1**

Målet uppfyllt genom att de testade standardkamerorna kostar i inköp mindre än 70 % av en Image Colorimeter och vikten är mindre än 50%. Projektet har jämfört Radiant ProMetric I med standardkamerorna Canon 5D, Canon 550D och Sony kompaktkamera.

#### **O2**

Målet är uppfyllt genom att mätmetoden är testad att ge repeterbara resultat på både en CMS för Volvos personbilar och backkameror både från en Volvo V60 samt en Toyota Corolla Touring Sports.

#### **O3**

Målet anses uppfyllt genom en användarstudie som visade på föraren höll sin blick på vägen mer frekvent när AR-HUD användes jämfört med konventionell HUD, vilket leder till ökad trafiksäkerhet.



#### O4

Målet anses uppfyllt baserat på en användarstudie som visade AR tillsammans med CMS ökade förarens presentationer och upplevelser jämfört med traditionella analoga speglar. Däremot försämrade ett CMS-system utan AR körprestationerna.

#### O5

Relationer mellan bedömningar av acceptans och komfort för kalla skärmar har uppnåtts baserat på den nya verifieringsformuleringen, I projektets studie visades stark korrespondens mellan olika perceptuella testmetoder. Utifrån dessa erhållna beteenderesultat kunde en relation till de simulerade MIT värdena bestämmas. På basis av detta kunde rekommendationer ges för handhavande av skärmar i kalla temperaturer i fordon. Volvo Cars avser att använda resultaten i sin framtida fordonstillverkning. Vissa av resultaten presenteras vid på den internationella vetenskapliga konferensen Society for Information Displays Display Week i USA i maj 2023 [7]. Övriga resultat kommer att beskrivas i en M.Sc. avhandlingsrapport som presenteras i juni 2023 på Uppsala universitet [8] och dessutom planeras resultaten att presenteras i en artikel i en vetenskaplig tidskrift.

## 6.2 Måluppfyllnad av program mål

### Övergripande FFI mål

- Att minska antalet skadade och döda i trafiken
- Att stärka svensk fordonsindustri i internationell konkurrenskraft.

Projektet har adresserat FFI-programmets övergripande mål, genom att ta fram riktlinjer så att presenterad information kan uppfattas korrekt. Specifikt är dessa kopplade till AR-HUD och CMS. Den internationella konkurrenskraften stärks om den visuella miljön avseende displayer och visuell information utformas med föraren i fokus.

Tabell 1: Hur projektet har adresserat målen för FFI och EMK

FFI eller EMK mål	Hur har projektet adresserat målet	Projektmål
Pekskärmar med ändringsbart innehåll. HUD-teknik	Mätning och karakteriseringar av HUD och CMS för deras lämplighet för olika föraruppgifter. Att förenkla mätningar i bilen kommer att säkra prestandan hos HUD och CMS.	O1
Augmented reality	Augmented Reality har studerats både i AR-HUD och CMS på vilket sätt det kan hjälpa till att vägleda bilföraren in olika situationer för att öka trafiksäkerheten.	O3, O4
Nya display tekniker	Mätning och karakteriseringar av HUD och CMS för deras lämplighet för olika föraruppgifter har genomförts	O1, O2
Interaktionen mellan människa och produkt är sömlös och produkten är individualiserad	Visuella perceptionsstudier, användarstudier i trafik och simulator med fokus på förarens situation har utförts för att förstå kommande krav på bilkörningen. Specifikt har hur AR-HUD-informationen är designad och placerad och hur den interagerar med föraren undersökts i projektet. En viktig fråga för CMS är hur djupuppfattning och avståndsbedömning påverkas av denna teknik, eftersom bilden kan uppfattas som om den ligger på ett annat avstånd än den skulle vara i en vanlig traditionell analog spegel. Resultat visar att AR behövs vid införande av CMS om den ska fungera bättre än den traditionella analoga backspegeln. Temperaturrens inverkan har studerats. Låg temperatur kan leda till en rörelseoskärpa dvs. en oskarp bild, vilket gör det svårare för föraren att se rörliga föremål i CMS:en och därmed kan föraren riskera att göra misstag och olyckor	O3-5
Effektiv integration av externa kommunikationsenheter och relaterade tjänster (nomadiska enheter)	Mätmetod för displayenheter i bilen har utvecklats i projektet. Denna kan verifiera att den visuella informationen kan presenteras väl för de integrerade enheterna och tjänsterna.	O1
Interaktion mellan förare och fordon för specifika aktiva säkerhetsfunktioner	Djup- och avståndsuppfattning i CMS samt inverkan av AR-information för att hjälpa föraren i olika kritiska situationer har undersökts. AR-HUD information för olika aktiva säkerhetsfunktioner har undersökts såsom "pilot assist" och "distance alert" och dess inverkan på bilkörningen. Glas-till-glas latens kan påverka interaktionen negativt. En mätmetod har utvecklas för att kunna mäta denna aspekt.	O2-4

## 6.3 Projektresultat

### ***O1: Kamerabaserade mätningar***

Arbetet har inriktat sig på att jämföra hur bra digitala kameror är på att mäta färger. Mätningar på färgtesttavlor har genomförts och framförallt m.h.a. MacBeth färgtavlor både analogt och digitalt.

Det finns minst två sätt att kontrollera färgerna på ett foto av MacBeth-testmålet taget med en digitalkamera, men det krävs många foton med olika inställningar av färg och kontrast.

Båda metoderna är baserade på de RGB-värden som kameran tar emot av färgerna i MacBeths färgkarta.

Färgerna på testmålet kan mätas med ett referensinstrument t.ex. spektroradiometer för att få RGB-referensen  $u'$ - och  $v'$ -värdena i labbelysningen t.ex. D65 eller RGB-värdena från kamerabilden kan läggas in i en tabell Excel-ark från Bruce Lindbloom med referensvärden.

Ett annat sätt är att göra beräkningar av  $u'$ - och  $v'$ -värden från de RGB-värden genom standardekvationer från RGB till XYZ till x och y och sedan till  $u'v'$ .

Här kan behövas vidare undersökningar och jämförelser innan en ut-testad och validerad mätmetod har kunnat färdigställas.

För mer detaljer se Appendix 1 (på engelska).

### ***O2: Mätmetod för end-to-end latens***

Uppställningen är generell utformad för mätningar av fördröjning i kameraövervakningssystem (CMS) i bilar och är avsedd att passa mätningar både gjorda i en bil och i ett laboratorium. Mätupställningen designades vidare till vad som fanns tillgängligt i labbet vid projektstarten och det byggde på en kombination av kommersiellt tillgänglig och hemmabyggt enhet. De hembyggda enheterna var skräddarsydda för de faktiska projektkraven (d.v.s. SKÄRMAR).

Utrustningslista

- Pulsgenerator (Quantum Composers Model 9514): I princip alla pulsgeneratorer som kan genererar pulser på 10-100 ms längd med 500-2000 ms varaktighet och levererar några volt. I det här fallet var det en 5V pulsgenerator.
- Vit LED med drivkretsar: Två versioner utvecklades, 5W och 10W. Lysdioderna var 5 W och 10 W reservdelar vita lysdioder med skräddarsydda drivkretsar designade för att passa pulsen generator ovan (se kopplingsschema A).
- Dämpare: Detta var bara en  $1k\Omega$ - $10k\Omega$ - $1k\Omega$   $\pi$ -dämpare (se kretsschema B).
- Detektor (ThorLabs PDA36A2): Förstärkt detektor 350-1100 nm.
- Kuvertdetektor: Skräddarsydd kuvertdetektor (se kretsschema C).
- Samplingsoscilloskop (Meilhaus Electronic DS1M12): USB-samplingsoscilloskop som ska hakas upp till en dator.
- Sampling Oscilloscope Software: Easy logger DS1M12.
- Dator: En dator för att styra provtagningsoscilloskopet.
- Analysprogramvara: Skräddarsydd programvara för applikationen skriven i MATLAB-kod.

För mer detaljer se Appendix 2 (på engelska)

### ***Mätning på en backkamera från en Toyota-produktionsbil.***

Mätningen utfördes 2022-02-24 i RISE:s garage vid Electrum Kista på en Toyota Corolla Touring Sports 2020. Blixten var en 10 W vit LED spridd med en bit A4 skrivarpapper. Pulserna var 100 ms långa med en repetitionsfrekvens på 2 Hz. Ljuspulsen detekterades på skärmen med en silikondetektor (Thorlabs PDA36A2) och registrerades sedan med ett samplingsoscilloskop (MEILHAUS DS1M12), samplingshastigheten var 10 kHz.

Två signaler avlästes med provtagningsoscilloskopet. Triggssignalen till lysdioden och svarssignalen från detektorn. Dessa signaler analyserades efter mätning med ett MATLAB-program.

Den genomsnittliga svarstiden i nattläge var 78,1 ms med en standardavvikelse på 4,2 ms. Minsta värde var 70,1 ms och maximalt värde var 85,6 ms. Den genomsnittliga svarstiden i dagläge var 76,0 ms med en standardavvikelse på 4,5 ms. Minimivärdet var 68,1 ms och

maxvärdet var 83,8 ms. Av mätningen kunde man också dra slutsatsen att skärmen var bakgrundsbelysningsmodulerad med en frekvens på 200 Hz.

Statistiken byggde på drygt 200 prover.

#### **Mätning på en backkamera av en Volvo V60 produktionsbil.**

Mätningen utfördes 2022-05-03 i RISE's garage vid Electrum Kista på en Volvo V60 B4 Fwd Aut ÅM22 (SE 48E). Blixten var en 10 W vit LED spridd med en bit A4 skrivarpapper. Pulserna var 100 ms långa med en repetitionsfrekvens på 2 Hz. Ljuspulsen detekterades på skärmen med en silikondetektor (Thorlabs PDA36A2) och registrerades sedan med ett samplingsoscilloskop (MEILHAUS DS1M12), samplingshastigheten var 10 kHz.

Två signaler avlästes med provtagningsoscilloskopet. Triggssignalen till lysdioden och svarssignalen från detektorn. Dessa signaler analyserades efter mätning med ett MATLAB-program.

Två mätningar utfördes: Med backkameran i nattläge och med systemet i dagsljusläge. Dagsljus simulerades genom att tända dagsljussensorn (överst-mitten på instrumentbrädan nära frontskärmen).

För nattläget var den genomsnittliga svarstiden 187 ms med en standardavvikelse på 16 ms. Minsta värde var 170 ms och maximalt värde var 206 ms. För dagsljusläget var den genomsnittliga svarstiden 165 ms med en standardavvikelse på 18 ms. Minsta värde var 136 ms och maximalt värde var 186 ms. Från mätningen kunde man också dra slutsatsen att skärmen var bakgrundsbelysningsmodulerad med en frekvens på ~440 Hz.

Statistiken byggde på drygt 100 prover.

#### **O3: Placering av information i AR-HUD**

Ett examensarbete genomfördes på M.Sc. nivå av Johan Hansols inom detta mål [9]. Här följer sammanfattningen från rapporten.

"Interaktioner med vardagliga produkter och teknik görs ofta utan att de uppmärksammas och reflekteras över. Att köra bil är en interaktion med ett fordon som för många människor sker automatiskt tack vare erfarenhet användarna har att köra bil. Med det innovativa skiftet inom fordonsindustrin mot uppkopplingsbara och självkörande fordon skapar nya krav på interaktionerna och kommunikationen mellan människan och maskinen. Detta examensarbete genomfördes i samarbete med Volvo Cars och RISE Research Institutes of Sweden inom deras gemensamma forskningsprojekt SCREENS. Deras projekt syftar till att undersöka implementeringen av förstärkt verklighet i Head-Up-displayer (AR-HUD) samt andra fordonsteknologier och om det kan gynna användare när de uppfattar och förstår miljön när de kör bil. Feltillämpad teknik kan leda till att användare missuppfattar visuell information, vilket orsakar felaktigt beslutsfattande som leder till olyckor och interaktionsfel. Deras forskningsmål är att implementera fordonsteknik som gynnar säkrare körning, bättre bilar och konkurrensfördelar för Volvo Cars. Målet med detta examensarbete var att designa visuell information för en navigeringsfunktion i AR-HUD och implementera grafiken i en Volvo XC60 konceptbil. Den implementerade grafiken utvärderades sedan med användare som körde fordonet i realistiska miljöer. Resultaten analyserades för att undersöka om positiva perceptuella, uppmärksamhets- och säkerhetsaspekter med AR-HUD kunde indikeras. Projektets syfte var att designa och utforska användarinteraktionerna resulterande i värdefulla insikter ur ett industridesigntechniskt perspektiv för framtida forskning.

Examensarbetet hade en användarcentrerad designstrategi och har följt en modifierad version av designprocessen iterativa cykeln för användarcentrerad design. Stadier av idégenerering, implementering, utvärdering och analys upprepades två gånger under det tjugo veckor långa projektet. Användarnas erfarenheter från interaktionen med systemet var central under projektet och designbeslut baserades på kvalitativa och kvantitativa data som samlats in under användarutvärderingarna.

Från användarutvärderingarna upptäcktes indikationer att AR-HUD hjälpte förare att hålla ögonen på vägen mer när de använde AR-vägledning, jämfört med traditionell HUD vägledning. Aspekter att beakta vid design av visuell navigeringsinformation hittades och relaterades till relevant teori om visuell perception och mänsklig informationsbehandling. Den viktigaste aspekten som indikerades när det gäller implementeringen av visuell information var timingen för när grafik visas. Kvalitativa och kvantitativa data som samlats in visade att lättuppfattad information presenterad vid rätt tidpunkt och varaktighet var den viktigaste aspekten att ta

hänsyn till när man skapar gränssnitt för kommunikationen mellan människa och maskin som resulterar i bra användarinteraktioner.”

#### **O4: Avståndsbedömning och beslutsfattande i CMS**

Två examensarbeten involverande totalt fyra studenter på M.Sc.-nivå genomfördes inom detta mål [10, 11]. Här följer sammanfattningen (på engelska) skriven av Pontus Johansson och Sara Jonasson[10]:”This Master Thesis was conducted at the Industrial Design Engineering program at Chalmers University of Technology in collaboration with Volvo Cars. The aim was to investigate which – and how- design parameters impact user performance (includes the ability to perceive the image, detect objects and estimating the distance to them), when Camera Monitoring Systems (CMS) replace rearview mirrors in cars, and which benefits and drawbacks related to the user performance that a specific CMS prototype posed compared to driving with traditional car. It was furthermore to develop guidelines for how to apply this knowledge when designing CMS for increased user performance in cars. Literature studies, expert interviews, workshops, FMEA and user tests were some methods used for discovering this knowledge.

The project resulted in a compilation of 20 design parameters that could affect user performance for CMS and which ten driving situations that are most relevant for the context of CMS. It also resulted in general guidelines for how to apply knowledge regarding researched design parameter’s impact on user performance in CMS that any industry party could apply in their work, but also in specific guidelines for how to develop the CMS prototype with regard of enhancing the user performance and experience.

The literature studies led to knowledge regarding the impact that vertical and horizontal placement of the sideview camera, magnification, field of view, distance between the driver’s eyes and displays, image resolution and update rate, as well as pictorial depth cues have on distance estimations. Furthermore, how the lateral display placement, number of displays, field of view, presence of vehicle references, viewpoint as well image resolution and update rate impact overall control and object detection when driving.

A parameter user test explored the impact zoom level (which depends on the parameters magnification and field of view) as well as vertical placement of the virtual inner rearview mirror’s camera have on distance estimation. Lower camera placement and zoom level made the user perceive distances as longer compared to higher ones. The users however experienced difficulties when estimating the distance using any configurations for the camera, due to the lack of present vehicle reference and since the direct vision through the rearview window was covered.

Many design parameters affect the overall user performance, and each design decision must therefore be made considering the others. There is no right or wrong way of how to perform this process, but the general guidelines present an order of which the decisions could be made to make the process more practically implemented based on the parameter characteristics.

A user test comparing the user experience of driving the CMS prototype to a regular car led to insights and guidelines regarding which driving situations that the user experience needs to be improved, namely during lane changes, overtaking and driving in roundabouts. The CMS prototype guidelines also contains suggestions for how to reduce inconsistencies between the different display types and improvements regarding size, shape, surface finish, resolution, magnification and FOV of the displays, and some system functionalities that should be included.”

Här följer sammanfattningen på engelska från den skriven av Miao Zhang och Bin Gao[11], with some minor English corrections:

”This Master Thesis was conducted in the Industrial Design Engineering program at the Chalmers University of Technology in collaboration with RISE and Volvo Cars. The aim was to investigate the difference in driving performance between traditional rear-view mirrors and a new type based on digital techniques, which is called Camera Monitor System (CMS). Here, two different types were investigated CMS without or with Augmented Reality (AR) Information. An additional aim was to develop guidelines for applying this knowledge when designing CMS for increased user safety and performance in cars. Literature studies, expert interviews, workshops.

The user test was conducted in a virtual environment, with four driving scenarios defined for testing. The scenes and animations for the test were built in Unity, and the test was conducted in a simulated driving environment with VR-rig. Four categories of data were collected in the test. Twenty-one participants from Volvo Cars involved the three different cases: traditional mirror, CMS, and CMS with AR, and provided relevant feedback on the design of CMS & AR.

The user test results revealed that the participants' driving performance using CMS (only cameras and 2D displays without augmented information) did not improve over traditional mirrors. Most participants indicated that they would only upgrade from a traditional mirror to a CMS car with AR, rather than just a CMS car, as CMS did not provide enough benefit over traditional mirrors. The thesis also discussed possible reasons behind this finding.

The feedback and suggestions from the participants on the design of CMS & AR were obtained through performance metrics, questionnaires and interviews that are organized into a guideline on the design of CMS & AR. In addition, this thesis gave recommendations for future study.

Finally, this thesis also discussed the challenges and experiences encountered in this study. Among them, the limitation of doing tests in a VR environment is highlighted to help future CMS research and testing”.

#### ***O5: Perceptuellt inverkan av kyla på bildkvalitet***

En välkänd nackdel med LCD-skärmar i kyla är en långsam pixelrespons som leder till dålig bildkvalitet. Låga temperaturer kan utgöra en fara vid visning av viktiga displayer i bilar. Perceptuella experiment med 20 testpersoner utfördes för att hitta tydliga och acceptabla intervall på skärmar som simulerar förvrängningar i låga temperaturer. Studien har även metodologiskt intresse, ty olika perceptuella och psykofysiska metoder användes för testerna med testpersoner. Vi fann att de olika metoderna gav likalydande slutsatser. Resultaten visade att uppfattningen över tydlig och acceptabel bildkvalitet var försämrad under -20°C för LCD-skärmen i experimenten.[7, 8] Ett examensarbete på Masternivå har utförts av Hande Göreke, studerande vid Uppsala Universitet. Delar av resultaten presenteras vid en vetenskaplig konferens i USA, Society for Information Displays, SID. Hande Göreke fick stipendium av SID för att presentera resultaten, men pga visumsvårigheter kunde hon inte utnyttja detta stipendium. Presentationen görs i stället av en medarbetare från Volvo, David Herrman, som varit en av deltagarna projektet.

Utrustning för responstidmätning har utvecklats och används för mätningarna på nedkylda displayer, se Appendix 3 för en detaljerad beskrivning.



## 7 Spridning och publicering

### 7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	x	Deltagande och presentation i SAFER. Fyra MSc avhandlingar har publicerats och presenterats på resp Högskola/Universitet, samt hos RISE och Volvo Cars. Ett konferensbidrag på en internationell konferens har presenterats och publicerats. Planen är också skriva en eller två vetenskapliga artiklar baserade på resultaten
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	x	Projektresultaten planeras att föras vidare framförallt i fortsättningsprojektet Vinnova FFI SCREENS 2 (inskickat dnr: 2023-00755). Det kommer också delvis att kunna tillgodogöras i projektet Vinnova FFI Förstärkt ADAS II (dnr. 2022-01645). Det finns vissa resultat som även kan användas inom SSF institutsdoktorandprojektet "Fjärrstyrd SD-positionering i Augmented Telepresence (dnr: FID18-0030) och Celti-Plus projektet IMMINENCE IMMINENCE (C2020/2-2; dnr 2021-02107)
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	x	Forskningsresultatet kommer vara underlag för tekniska inriktningsbeslut vid eventuella framtida införanden av AR-HUD eller CMS
Introduceras på marknaden	x	Forskningsresultatet kommer vara underlag för informationskampanjer inför eventuell framtida lansering av nämnda teknologier, samt som pedagogiskt material till återförsäljare och PR.
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut	x	Forskningsresultatet kommer eventuellt användas som underlag vid certifiering och utredningar/diskussioner med myndigheter.

### 7.2 Publikationer

Fyra M.Sc. avhandlingar dvs Göreke (2023) [8], Hansols (2022) [9], Johansson and Jonason (2021) [10], Zhang and Bin (2022) [11] och en konferensartikel i en internationell vetenskaplig konferens, Göreke, *et al.* (2023) [7].

## 8 Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet har haft en god uppfyllnad av både projektmål och program mål

Resultaten visar att:

- Högkvalitativa standarddigitala kameror kan ersätta dyrare och tyngre mätinstrument för mätningar i fordon i fält. Här behövs dock mer arbete för att ta fram en praktisk kalibreringsmetod för digitala kamerorna.
- Metod att mäta glas-till-glas latens som utvecklats i projektet fungerar och ger stabila resultat.
- AR-HUD ger positiva effekter på säkerheten då föraren håller sin blick på vägen mer frekvent med AR-HUD jämfört med konventionell HUD.



- CMS med AR ökade förarens presentationer och positiva upplevelser jämfört med traditionella analoga speglar och CMS utan AR. Däremot försämrade en CMS utan AR körprestationerna jämfört med traditionella analoga speglar.
- På en relation mellan beteenderesultat och simulerad temperaturorsakad bildförsämring. På basis av detta har rekommendationer för handhavande av skärmar i kalla temperaturer i fordon tagits fram.

Resultaten kommer att tas vidare i kommande fortsättningsprojekt som t.ex. Vinnova FFI SCREENS 2 (inskickat dnr: 2023-00755), som möter behoven från svensk fordonsindustri att skapa en trafiksäker och hälsosam interaktion mellan förare och fordon i trenden mot mer automatiserade fordon och digitaliserad informationsmiljö.

## 9 Deltagande parter och kontaktpersoner



RISE Research Institutes of Sweden AB  
Kontaktperson: Kjell Brunnström, [kjell.brunnstrom@ri.se](mailto:kjell.brunnstrom@ri.se)



Volvo Car Corporation  
Kontaktperson: David Hermann; [david.s.hermann@volvocars.com](mailto:david.s.hermann@volvocars.com)

## 10 Referenser

- [1]. Wittmann, M., M. Kiss, P. Gugg, A. Steffen, M. Fink, E. Pöppel, and H. Kamiya, (2006). *Effects of display position of a visual in-vehicle task on simulated driving*. Applied Ergonomics. **37**(2): p. 187-199, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2005.06.002>.
- [2]. Campbell, J.L., J.L. Brown, J.S. Graving, C.M. Richard, M.G. Lichty, T. Sanquist, L.P. Bacon, R. Woods, Hong Li, D.N. Williams, and J.F. Morgan. (2016). *Human factors design guidance for driver-vehicle interfaces* (DOT HS 812 ). National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Washington, DC, USA.
- [3]. FMCSA. (2015). *CMV Driving Tips - Driver Distraction*. Available from: <https://www.fmcsa.dot.gov/safety/driver-safety/cmV-driving-tips-driver-distraction>, Access Date: 10 Nov 2022.
- [4]. National Center for Statistics and Analysis. (2020). *Distracted driving 2018* (Report No. DOT HS 812 926). National Highway Traffic Safety Administration.
- [5]. Hedlund, J. and T. Fredlund. (2017). *Användning av mobiltelefon i rapporterade vägtrafikolyckor* (TSV 2017-1389). Transportstyrelsen ([www.transportstyrelsen.se](http://www.transportstyrelsen.se)).
- [6]. Normark, C.J. and A. Gärling, (2011). *Assessment of Automotive Visual Display Guidelines and Principles: A Literature Review*. The Design Journal. **14**: p. 446-474, DOI: 10.2752/175630611X13091688930499.
- [7]. Göreke, H., A. Djupsjöbacka, B.N. Schenkman, B. Andrén, D. Hermann, and K. Brunnström. (2023). *Perceptual Judgements of Simulated Low Temperatures in LCD Based Vehicle Displays*. in *SID Display Week 2023*. Los Angeles, CA, USA, 21 - 26 May 2023: Society for Information Displays.
- [8]. Göreke, H. (2023). *Perception in cold screens* (to appear). Department of Informatics media and information technology, Uppsala University, Sweden.
- [9]. Hansols, J. *Interaction design for Augmented Reality Head-Up Displays : Developing graphics design and evaluating perceptual and safety aspects for navigation use cases*. (diva2:1668891), Luleå University of Technology, M. Sc. thesis. 2022, Available from: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-91342>
- [10]. Johansson, P. and S. Jonason. *Designing Camera Monitoring Systems in Cars for Enhanced User Performance*. Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden. 2021, Available from: <https://hdl.handle.net/20.500.12380/302877>
- [11]. Zhang, M. and G. Bin. *The effect of CMS with AR on driving performance*. (diva2:1717225), RISE Research Institutes of Sweden, Chalmers University of Technology, M.Sc. thesis. 2022, Available from: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-61469>

# 11 Appendix 1: O1 resultatdetaljer (på engelska)

Author: Börje Andrén, RISE

## 11.1 Camera measurements and evolutions.

### *Colour measurements*

- 1) It takes more time to evaluate and find adequate routines, calibration of cameras and calculations than in SCREENS 1. It is easy to underestimate the difficulties.
- 2) Keep the number of cameras used for evaluation low until the first one is evaluated.
  - a) Since it takes time to measure each camera, it is better to evaluate 1 or 2 cameras.
  - b) Evaluate one camera at a time.
  - c) Snapshot cameras will never be used for serious colour evaluations so avoid them.
- 3) Use cameras that can be evaluated several times.
  - a) Cameras that are borrowed or can be evaluated only ones should be avoided.
- 4) Use cameras that can be calibrated.
  - a) Use cameras that are from well-known manufactures, e.g., Canon, Nikon, and Sony
- 5) Try to get the greyscale as correct as possible from the beginning.
  - a) Not only the greyscales are dependent on a correct greyscale, but all other colours in the test image are dependent on an accurate greyscale.
- 6) Use colour spaces sRGB or Adobe RGB if possible since they are the default colour spaces in most cameras.
  - a) Other colour space can be evaluated afterwards if time allows it.
- 7) Use both analogue and digital test images e.g., MacBeth with 24 colours and D65 illuminant with known colour values e.g., measured with a spectroradiometer, preferably before starting the evaluations with the camera.
  - a) Avoid displays with odd colour characteristics. Other types of displays can be measured when the cameras are evaluated for e.g., sRGB or Adobe RGB.
  - b) Use the possibility to make you own colour temperature settings.
  - c) Take photo of the whole test target with all its 24 colours at the same time. If you take images of each colour separately and the colour in question is the main object in the image and you are using spot metering on the camera and automatic colour temperature, it is very likely that the results will be inaccurate. The camera will interpret the strange image as a common motif and the colours and exposure would be more or less wrong.
- 8) Use only one lens at a time.
  - a) Avoid lenses with variable maximum apertures.
  - b) Use lenses that have characteristics that can be recognised by the camera or downloaded from the lens manufacture.
  - c) Avoid filters that will affect the colour characteristics of the lens.
- 9) Be very careful with any uneven luminances of displays or of the lighting conditions. Shadows and lamps on the screen or in the vicinity of the test pattern/display can be devastating.
- 10) Measure the luminance on horizontal and vertical dark borders of the MacBeth test target e.g., using MaxIm which can measure uneven luminances along long lines or bars.
- 11) Avoid pandemics and injured or stupid co-workers.

## 11.2 Different test procedures

There are at least two ways to check the colours of a photo of the MacBeth test target taken with a digital camera. Both methods are based on the RGB-values received by the camera of the colours in the MacBeth colour chart. The colours of test target can be measured with e.g., spectroradiometer to get the RGB- reference  $u'$ - and  $v'$ -values in the lab illumination e.g., D65 or the RGB-values from the camera image can be put into a pre-made table excel sheet with reference values as described below.

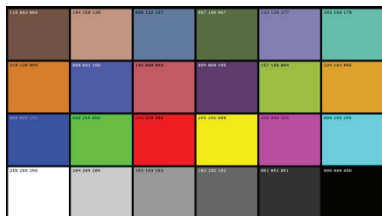


Figure 1 MacBeth color checker

## 11.3 Image evaluations

The RGB-values camera image can be found via Photoshop for each colour or similar programs. The easiest is to fill in the RGB-values in a table from Bruce Lindbloom like the one below. The actual measured RGB-values are compared to values from reference RGB-values from the BruceRGB Reference in this case. Source: <http://www.brucelindbloom.com>. However, there are several references in Bruce Lindbloom excel sheet. Six for D65 and 8 for D50 and some others like light source C and E. D65 is used for modern digital cameras, and the D50 is used for analogue colour films and analogue cameras which were designed for CCT around 5000K to 5500K. The sRGB values is not chosen as a reference in this case since there is a minus value for the R component for the cyan colour is for sRGB -49 compared to 13 for BruceRGB, which complicate the calculations. The RMS value difference between these input RGB-values (for sRGB is 34 BruceRGB 39) mainly because of the red value for cyan. You can argue that the value for black is not very important because it is too dark to see any colour differences.

Color Name	Actual			BruceRGBReference			Color Difference
	Red	Green	Blue	Red	Green	Blue	
Dark Skin	97,068	50,611	31,682	111	81	67	49
Light Skin	206,633	147,489	122,485	189	149	130	19
Blue Sky	79,029	122,43	171,072	98	122	154	26
Foliage	63,745	91,177	32,943	91	108	69	48
BlueFlower	126,84	133,459	189,763	129	128	173	18
Bluish Green	103,301	196,386	192,078	115	189	170	26
Orange	243,933	110,022	14,577	207	121	49	52
PurplishBlue	56,306	95,107	196,568	76	91	162	40
Moderate							
Red	226,28	76,99	76,878	184	85	97	48
Purple	61,025	40,065	88,022	89	62	105	39
Yellow							
Green	163,814	185,682	40,581	162	186	74	33
Orange							
Yellow	235,576	157,437	4,867	223	162	58	55
Blue	19,578	55,852	163,14	52	62	149	36
Green	56,519	145,269	61,489	86	148	76	33
Red	192,351	41,533	23,229	167	48	58	44
Yellow	244,833	193,72	4,005	234	199	56	53
Magenta	203,569	85,087	152,144	177	83	144	28
Cyan	17,239	144,185	196,273	13	134	163	35
White	239	239	231	242	241	236	6
Neutral 8	209,449	211,071	210,457	200	200	199	19
Neutral 6.5	169	171	172	159	160	159	20
Neutral 5	112	114	115	122	121	120	13
Neutral 3.5	54	58	62	84	84	84	45
Black	11,5	14,384	16,272	53	53	53	68

RMS = 39

**Gamma:** 2,2  
**Ref. White:** D65  
**Red:** (0.640, 0.330)  
**Green:** (0.280, 0.650)  
**Blue:** (0.150, 0.060)

The above red, green and blue colours are described in the x, y chromaticity coordinates. The D65 is the standard light source of about 6504K which is commonly used by modern digital cameras.

The other way is to do calculations of  $u'$  - and  $v'$  - values from the RGB values measured by the camera. These can also be calculated in several ways. The matrix for BruceRGB RGB to XYZ looks like the table below. From these the x, y and  $u'$  and  $v'$  can be calculated by using standard equations.

0,4674162	0,2944512	0,1886026
0,2410115	0,6835475	0,075441
0,0219101	0,0736128	0,9933071

The sRGB matrix looks like this:

0,4124564	0,3575761	0,1804375
0,2126729	0,7151522	0,072175
0,0193339	0,119192	0,9503

These two matrixes multiplied together with the input RGB e.g., 223/220/214 (test target MacBeth colour 19 white in D65 light) gives for Bruce RGB  $u' = 0,19872$   $v' = 0,47040$ , CCT 6329K and sRGB  $u' = 0,19863$ ,  $v' = 0,47030$  and CCT=6341K. The only difference is in  $v'$ -values in the 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> decimal. However, most of the 8 matrixes for light source D65 gives about the same  $u'$ - and  $v'$ -values, and average for all D65 matrixes is  $u' = 0,19863$   $v' = 0,47030$  example Canon R5 gives sRGB D65 colour 19 white  $u' = 0,19813$ ,  $v' = 0,46953$  and CCT 6417K. The official values of light source D65 is  $u' = 0,1978$   $v' = 0,4684$ . But the MacBeth test target consists of 24 colour fields, and all should be correct. The most important for the all the colours are the colours 19 to 24 which are the base for the gamma curve and decides the rest of the colours. The white 19 is not a perfect diffuser so  $u'$  and  $v'$  for the white will differ from the D65. There are a lot of settings in the Canon cameras that can be used to correct the colours and the contrast, but they have to be tested since the combinations are many. This makes it very time consuming to find the best combination.

In stead of having a lab illumination, you could use a digital version of the MacBeth test chart on a display. In this case you have the colour- and gamma characteristics of the display combined with the MacBeth chart that creates the image that the camera sees. The display could also be illuminated by e.g., uneven light as the sun or tabletop lamp or the display itself could have uneven luminance uniformity. The RGB-evaluation of the camera image is the same as described above in all cases. More measurements and cameras are needed to get a better understanding of the potential of this evaluation method.

The table above gives the following  $u'$ - and  $v'$ -values:

INDATA				Color Name	sRGB		CCT	
Color no	R	G	B		Color no	$u'$	$v'$	K
1	97,068	50,611	31,682	Dark Skin	1	0,2399	0,4998	
2	206,633	147,489	122,485	Light Skin	2	0,2172	0,4832	
3	79,029	122,43	171,072	Blue Sky	3	0,1792	0,4388	
4	63,745	91,177	32,943	Foliage	4	0,1586	0,4840	
5	126,84	133,459	189,763	Blue Flower	5	0,1938	0,4419	
6	103,301	196,386	192,078	Bluish Green	6	0,1727	0,4645	
7	243,933	110,022	14,577	Orange	7	0,2579	0,5355	
8	56,306	95,107	196,568	Purplish Blue	8	0,1763	0,4030	
9	226,28	76,99	76,878	Moderate Red	9	0,2661	0,4831	
10	61,025	40,065	88,022	Purple	10	0,2122	0,4137	
11	163,814	185,682	40,581	Yellow Green	11	0,1955	0,5309	
12	235,576	157,437	4,867	Orange Yellow	12	0,2300	0,5468	
13	19,578	55,852	163,14	Blue	13	0,1664	0,3639	
14	56,519	145,269	61,489	Green	14	0,1628	0,5104	
15	192,351	41,533	23,229	Red	15	0,3087	0,5103	
16	244,833	193,72	4,005	Yellow	16	0,2185	0,5490	
17	203,569	85,087	152,144	Magenta	17	0,2420	0,4419	
18	17,239	144,185	196,273	Cyan	18	0,1493	0,4319	
19	239	239	231	White	19	0,1980	0,4706	6364,9
20	209,449	211,071	210,457	Neutral 8	20	0,1975	0,4685	6523,3
21	169	171	172	Neutral 6.5	21	0,1972	0,4678	6576,9
22	112	114	115	Neutral 5	22	0,1970	0,4676	6612,6
23	54	58	62	Neutral 3.5	23	0,1942	0,4630	7110,4
24	11,5	14,384	16,272	Black	24	0,1960	0,4430	8876,8

With an average  $\Delta u'v' = 0,00161$ , but the error in black contributes a lot **to calculation**.



## 12 Appendix 2: O2 resultatdetaljer (på engelska)

Author: Anders Djupsjöbacka, RISE

### 12.1 Latency measurement set-up.

#### **General description.**

The set-up is generally designed for measurements of delay in camera monitoring systems (CMS) in cars and is intended to fit measurements both done in a car as well as in a laboratory. The measurement set-up was further designed to what was available in the lab at the project start and it was based on a combination of commercially available and home built device. The home-built devices were tailor made for the actual project requirements (i.e., SCREENS).

#### **Equipment list**

- **Pulse generator (Quantum Composers Model 9514):** In principle any pulse generator capable of generating pulses of 10-100 ms length with 500-2000 ms duration and delivering a few volts will do. In this case it was a 5V pulse generator.
- **White LED with drive circuits:** Two versions were developed, 5W and 10W. The LEDs were 5 W and 10 W spare parts white LEDs with tailor made drive circuits designed to fit the pulse generator above (see circuit diagram A).
- **Attenuator:** This was just a 1k $\Omega$ -10k $\Omega$ -1k $\Omega$   $\pi$ -attenuator (see circuit diagram B).
- **Detector (ThorLabs PDA36A2):** Amplified detector 350-1100 nm.
- **Envelope detector:** Tailor made envelope detector (see circuit diagram C).
- **Sampling Oscilloscope (Meilhaus Electronic DS1M12):** USB sampling oscilloscope to be hooked up to a computer.
- **Sampling Oscilloscope Software:** Easy logger DS1M12.
- **Computer:** A computer to control the sampling oscilloscope.
- **Analysis Software:** Tailor made software for the application written in MATLAB code.

### Measurement set-up

The measurement set-up is described in Fig. A2.1 below.

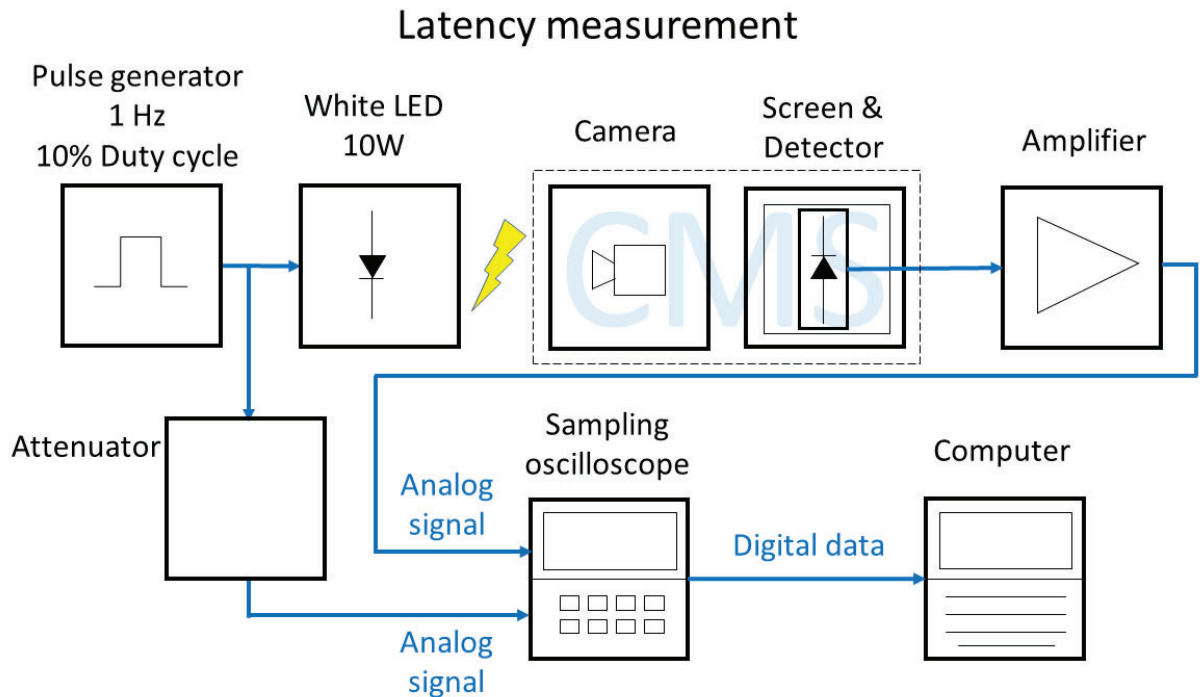


Figure A2.1: Measurement set-up for latency measurement.

The sampling oscilloscope is set on two-channel input and on 0.1 ms sampling rate. The voltage swing is set from 0 to a few volts (DC) depending on drive condition and luminance of the screen. The electrical attenuator is needed since the oscilloscope operates on the same voltage settings for both channels. The amplification level of the detector (PDA36A2) has also to be adjusted to fit the drive conditions. If a measurement is needed to be done at temperatures below 0 degrees Celsius, the detectors and amplifiers from the response time measurement set-up must be used.

Many screens use a dimmer function to adjust the luminance of the screen. This dimmer function might interfere with the measurement, especially if the CMS operates in night mode. If that is the case, the envelope detector must be placed between the amplifier and the sampling oscilloscope.

In a normal case, 100-200 flashes are recorded to gain proper statistics. When the measurement is done, the result file is stored in txt-mode.

### Analysis

The analysis program 'Latency\_VCC\_O.m' needs thresholds levels for the signal to trig on. Today, these levels must be written into the code. To find these levels the program 'Latency\_VCC\_plot.m' must be executed. This program needs (as the 'Latency\_VCC\_O.m' program that the input file name is written into the code). The name of the input file is the value of the string parameter 's' in both programs. When the 'Latency\_VCC\_plot.m' program is executed, following graph is obtained, see Fig. A2.2 below.

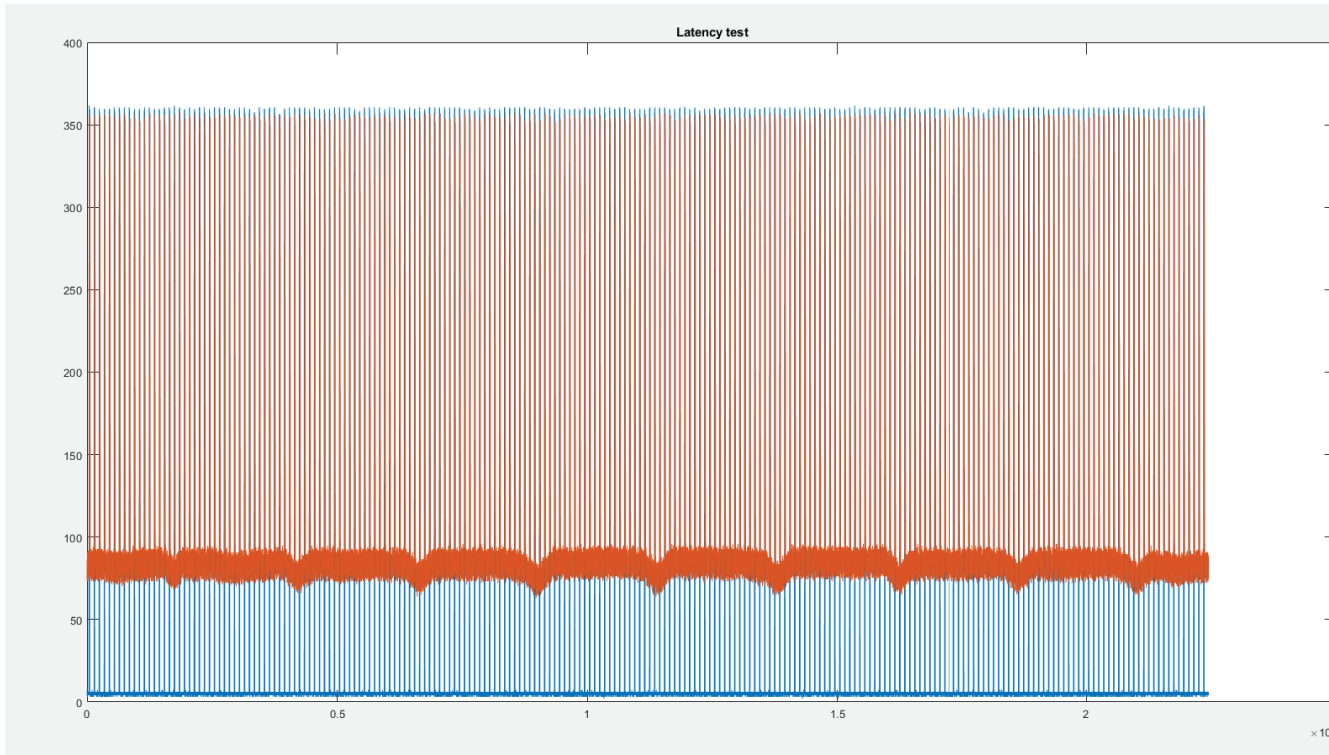


Figure A2.2: Plot result from the 'Latency\_VCC\_plot.m' program.

In this case, a threshold level of 200 mV can be chosen for both signals. These values, 200, is given to the numerical parameters 'L1' and 'L2' in the 'Latency\_VCC\_O.m' program. Now the 'Latency\_VCC\_O.m' program can be executed. This program delivers statistics of the delay of the flashes (min, max, mean, and standard deviation) in a graph as well as the cumulative density function (CDF) for the distribution, see Fig. 3 below. The red line is the measured CDF and the blue line the best Gaussian CDF-fit to the measured function. A text file with the latency values for each flash is also written if further analysis is required.

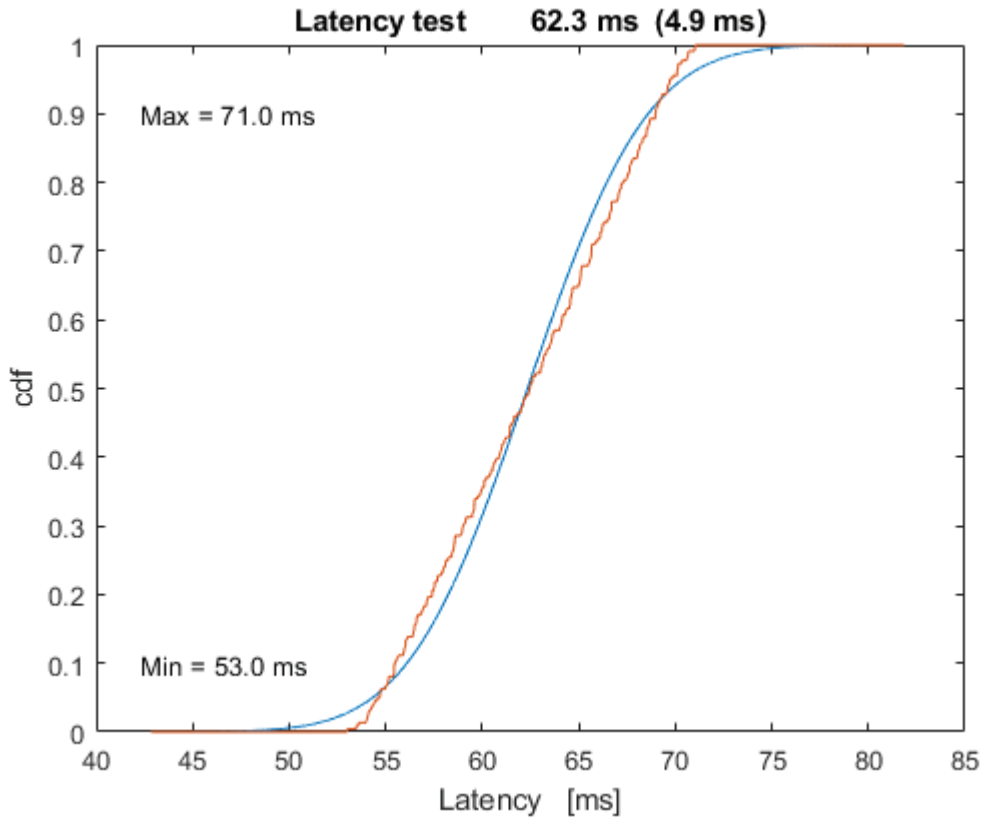


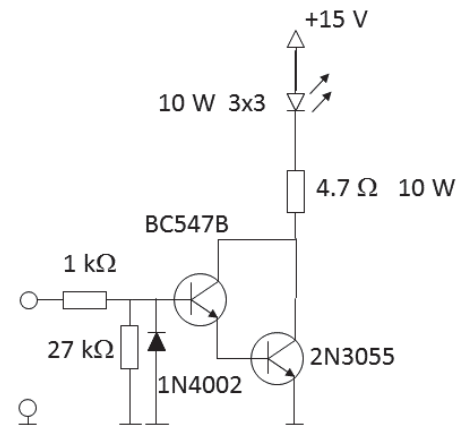
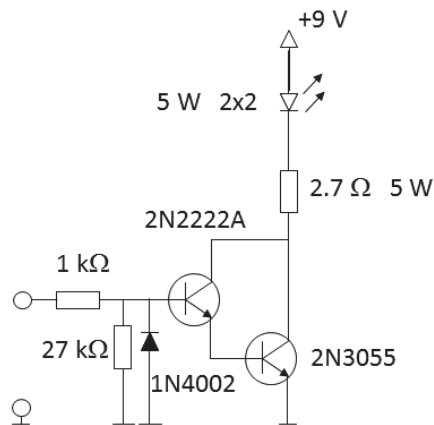
Fig.3: Plot result from the 'Latency\_VCC\_O.m' program.  
Red curve: Measured CDF. Blue curve: Gaussian fitted CDF.

## Circuit diagrams

### Circuit diagram A

Driver circuits for white LEDs 5 W and 10 W.

White LEDs 5 W 10 W

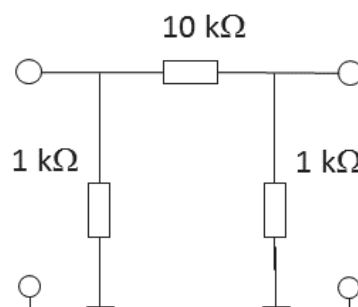


Circuit diagram A.

### Circuit diagram B

Electrical attenuator.

Electrical attenuator

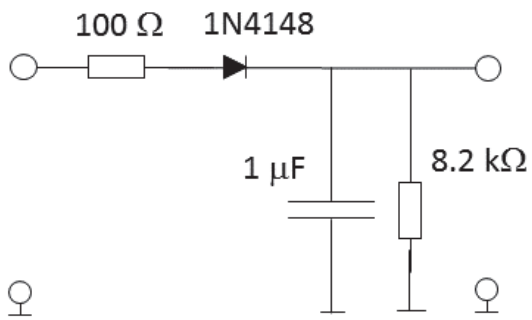


Circuit diagram B.

### Circuit diagram C

Envelope detector.

### Envelope detector



*Circuit diagram C.*



## 13 Appendix 2: O5 resultatdetaljer (på engelska)

Author: Anders Djupsjöbacka, RISE

### 13.1 Response-time measurement set-up.

#### *General description.*

The set-up is generally designed for measurements of response time of head down displays (HDD) in cars and is intended to fit measurements both done in a car as well as in a laboratory. The measurement set-up was further designed to what was available in the lab at the project start and it was based on a combination of commercially available and home built device. The home-built devices were tailor made for the actual project requirements (i.e., SCREENS).

#### *Equipment list*

- **Videos:** A set of test videos to be played at the device under test (DUT).
- **Detector (Kingbright L-7113P3C Phototransistor):** Phototransistor  $\lambda_p=940$  nm.
- **Detector (ThorLabs FD11A Photodiode):** Photodiode 320-1100 nm.
- **Amplifiers:** TIA-amplifier for the detectors (see circuit diagram A).
- **Sampling Oscilloscope (Meilhaus Electronic DS1M12):** USB sampling oscilloscope to be hooked up to a computer.
- **Sampling Oscilloscope Software:** Easy logger DS1M12.
- **Computer:** A computer to play the video and to control the sampling oscilloscope.
- **Analysis Software:** Tailor made software for the application written in MATLAB code.

### Measurement set-up

The measurement set-up is described in Fig. A3.1 below.

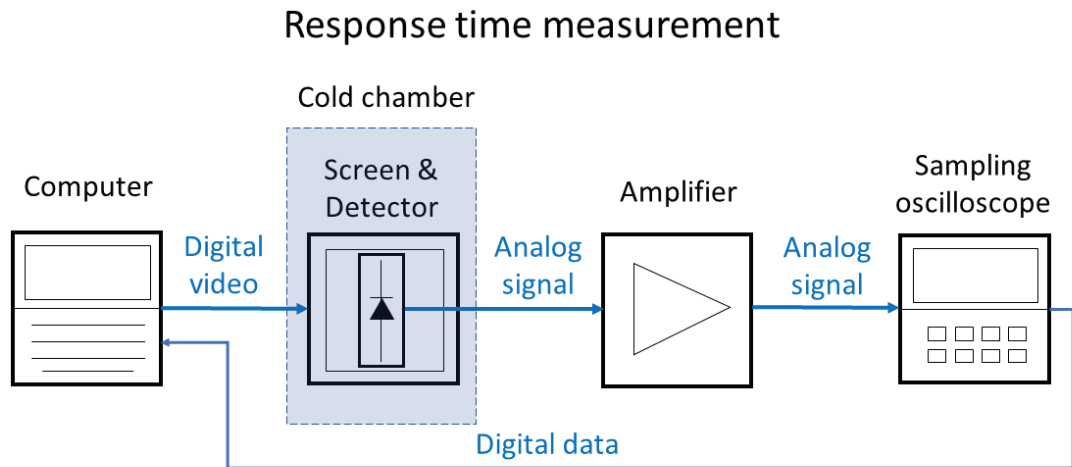


Figure A3.1: Measurement set-up for the response time measurement.

The computer plays the video that shall be shown on the screen (DUT). Depending on the expected response time of the (e.g., due to temperature) a video with long enough level-times must be chosen. Videos with level-times of 1, 2, 4, 6, 8, and 10 seconds are included. The videos are intended to be used with a Volvo A-screen (768x1024p60). These videos will also set up a test case for a grey-to-grey, 9-level response time measurement (see '*Information Display Measurement Standard, version 1.1a, March 18 (2022)*', for further details. E.g., chapter 10.).

The sampling oscilloscope is set on one-channel input and on 0.1, 0.2, 0.5, or 1 ms sampling rate depending on the level-time. The voltage swing is set from 0 to a few volts (DC) depending in drive condition and luminance of the screen. The amplification level of the detector has also to be adjusted to fit the drive conditions. Depending on which detector is used (i.e., the phototransistor or the photodetector), the amplifier unit needs to be configured in different ways (see circuit diagram A for further details). If the measurement is performed in room temperature, the detector of the latency measurement set-up can be used.

In a normal case, 1 measurement cycle is recorded (i.e., one cycle of the complete video). When the measurement is done, the result file is stored in txt-mode. In this case, the video can be played, and the oscilloscope can be controlled by the same computer.

### Analysis

The analysis of the response time measurement needs a little bit more of computer handcraft compared to the latency measurement analysis. In this case it is since the recorded file for many screens needs to be processed digitally before they can be analysed. Many screens use a dimmer function to adjust the luminance and this dimmer function interferes with the analysis of response times, see Fig. A2.2a and A2.2b below.

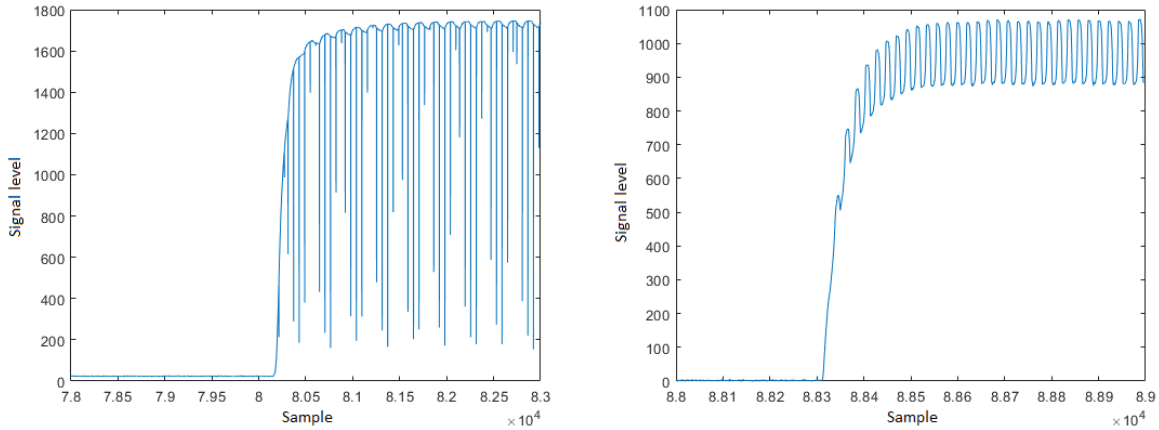


Figure A2.2a,b: Different type of dimmer functions that needs to be filtered.

In the code, three types of filters had been written, but new filters might be needed to be added if new type of screens shall be tested. The envelope filter used in the latency measurement set-up cannot be used here since they will interfere with the analysis of the fall times.

The analysis program, i.e., 'Response\_time\_VCC\_O.m' needs some input to work properly. These data are; Name of input file, the value of the 's' string parameter. Values of start and stop parameters for the analysis, the values of the 'z1' and 'z2' numerical parameters. The z1 and z2 values needs to be set with a graphical method.

Execute program 'Response\_time\_VCC\_plot.m' with the name of the input file set and a graph like the one in Fig. 3 will be displayed. The 'z1' value is the sample value just before the first rising edge, e.g., 50 samples before. The 'z2' value is the sample value just before the last falling edge, e.g., 50 samples before. See the red arrows in Fig. A2.3 below. To find these values, often a zoom-in function needs to be used in the graphical tool.

The sampling time is read from the input file given by the 's' string.

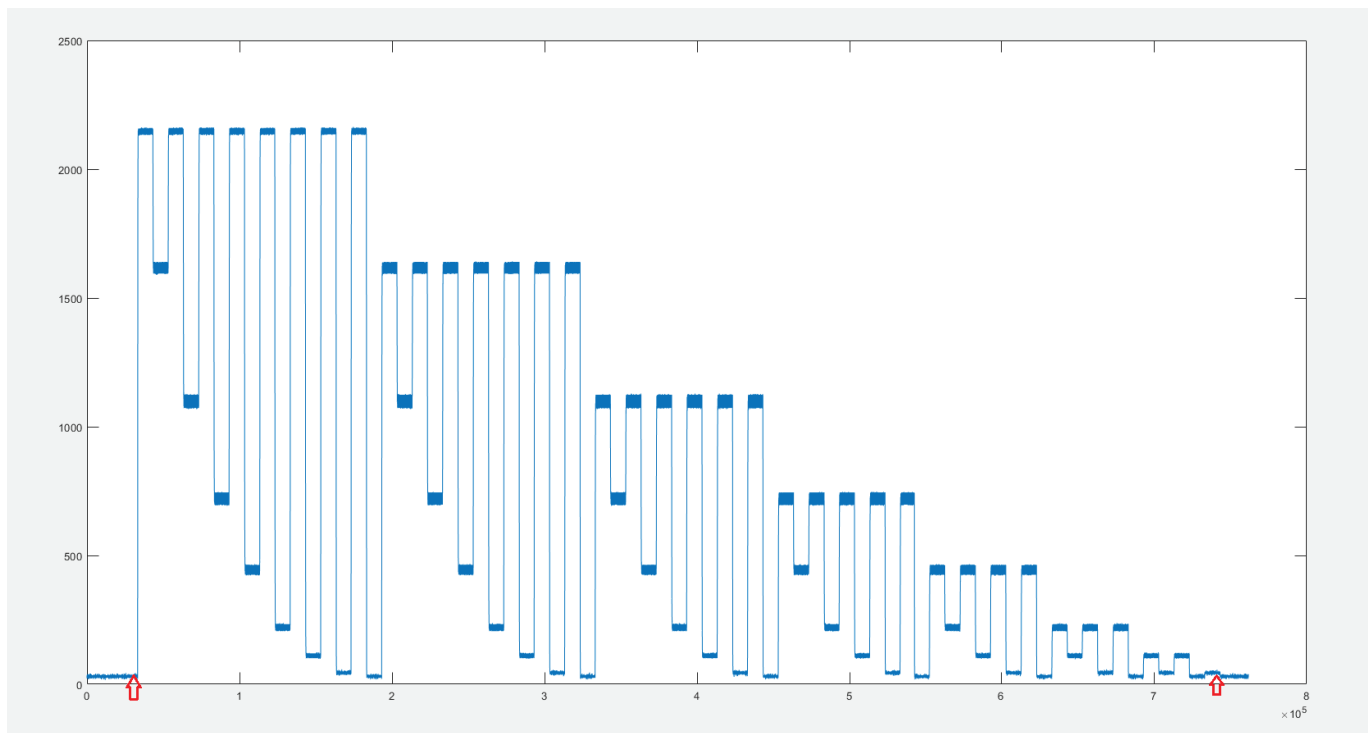


Figure A2.3: Plot for determining the values of the numerical parameters 'z1' and 'z2'.

When the values of 'z1' and 'z2' has been established, the analysis program can be executed.

The result file is here 'Response times', which is in this case a 9x9 matrix with non-defined diagonal elements, and 'Response time' which is the sum of 0-255 (10%-90%) rise time and the 255-0 (90%-10%) fall time (see 'Information Display Measurement Standard, version 1.1a, March 18 (2022)', for further details. E.g., chapter 10.). An example of a result file is given in Table 1 below. The first row in the result file is the name of the input file used.

*Table 1: Example of result file.*

Response time test.txt

Time [ms]									
B\E :	0	31	63	95	127	159	191	223	255
0 :	0.0	10.1	21.3	22.3	22.3	21.0	19.3	16.2	12.5
31 :	3.8	0.0	20.7	22.4	22.2	21.0	19.2	14.8	12.4
63 :	6.3	12.3	0.0	14.4	21.5	20.8	19.0	14.1	11.8
95 :	6.6	10.9	16.5	0.0	21.7	20.6	19.0	13.5	11.5
127 :	6.5	9.8	15.7	16.7	0.0	13.3	13.8	12.8	11.1
159 :	6.6	9.4	13.9	16.5	16.7	0.0	12.5	12.3	10.9
191 :	6.8	9.1	12.8	15.6	16.5	16.5	0.0	11.6	10.7
223 :	7.1	9.1	12.3	14.8	16.1	16.3	16.3	0.0	10.9
255 :	7.5	9.4	12.2	14.4	15.9	16.1	16.0	15.9	0.0

Response time: 20.0 ms

