

# Förstudie

## Säkerhet självkörande fordon (SAE level 4-5) på AstaZero



Författare: Jenny Viklund  
Datum: 2019-06-30  
Projekt inom Trafiksäkerhet och automatiserade fordon

**FFI** Fordonsstrategisk  
Forskning och  
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

# Innehållsförteckning

<b>1 Sammanfattning .....</b>	<b>4</b>
<b>2 Executive summary in English.....</b>	<b>5</b>
<b>3 Bakgrund.....</b>	<b>7</b>
<b>4 Syfte, forskningsfrågor och metod.....</b>	<b>9</b>
4.1 Genomgång av förarlöst fordon .....	9
4.2 Jämförelse mellan förarlösa och konventionella fordon.....	9
4.3 Nödstopp .....	9
4.4 Riskanalys .....	9
4.5 Internationell arbetsgrupp .....	9
4.6 Litteraturstudier .....	9
<b>5 Mål .....</b>	<b>10</b>
<b>6 Resultat och måluppfyllelse .....</b>	<b>10</b>
6.1 Genomgång av förarlöst fordon samt en jämförelse mellan förarlösa fordon och konventionella fordon .....	10
6.2 Nödstopp .....	13
6.3 Erfarenheter från genomförda riskanalyser .....	15
6.4 Resultat från arbetsgrupp med andra provbanor .....	15
6.5 Litteraturstudier .....	15
<b>7 Spridning och publicering .....</b>	<b>17</b>
<b>8 Slutsatser och fortsatt forskning .....</b>	<b>18</b>
8.1 Övervakning och nödstopp .....	18
8.2 Nivå på AD-fordon.....	19
8.3 Testteamets sammansättning .....	19
8.4 Slutsatser från riskanalysarbete.....	20
8.5 Provbanans ansvar .....	21
<b>9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....</b>	<b>22</b>
<b>Bilaga 1: Safe automated vehicle testing on proving grounds – supporting/inspiration document .....</b>	<b>23</b>
Introduction.....	23
Definitions of automation.....	24
Test method.....	25
Test vehicle and equipment .....	27
Test performer .....	30
Test environment.....	31
Participating parties.....	31

#### 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.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & Miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på [www.vinnova.se/ffi](http://www.vinnova.se/ffi).

# 1 Sammanfattning

Säkerhet på en provbana är alltid en central fråga. De system och regelverk som finns är utformade efter att det finns en förare i fordonet som kan ta beslut och kommunicera med övriga aktörer. När fordonen når en allt högre grad av automation och då det till slut inte ens finns en människa ombord behöver provbanans övervakning, processer och regler anpassas. Denna förstudie syftar till att förstå riskerna med autonom testning och föreslå eller i möjliga fall genomföra förändringar för att upprätthålla säkerheten.

Förstudien har innefattat en genomgång av förarlöst fordon samt en jämförelse mellan förarkörda och förarlösa fordon, deltagande i riskanalyser för autonoma tester, deltagande i en europeisk arbetsgrupp om autonom provning, undersökningar av nödstopp och litteraturstudier.

Studien visar att behovet av ändring i dagens trafikledarsystem initialt inte är så stort under förutsättning att autonoma fordon testas på exklusiva banor. Det är viktigt för provbanan att förstå rollerna i teamet som genomför provningen av det autonoma fordonet och vem som är ansvarig för fordonets framfart. Detta för att snabbt nå ut med varningar eller förhållningar till rätt person. I samma stund som de autonoma fordonen blir fler på samma bana eller börjar dela bana med förarkörda fordon ställs frågan i ett helt annat ljus. Mer forskning behövs för att kunna kravställa ett sådant övervakningssystem. När antalet autonoma fordon ökar är ett tänkbart scenario att varje bana har en lokal testövervakning på detaljnivå och att trafikledarens roll även fortsatt blir mer övergripande. Det är inte troligt att trafikledaren kommer att ha möjlighet att nödstoppa fordon då detta kan leda till allvarliga skador på såväl människor som fordon. Däremot ses möjligheter att utveckla geofences på såväl testbana som runt fordon för att på så sätt styra vad som får hända inom respektive geofence.

Riskanalyserna visar på att riskerna med autonom testning är svåra att förstå tidigt i utvecklingsfasen. Det är därför viktigt att riskbedömning involverar många olika roller och att den görs kontinuerligt över tid. Ändringar i fordon bör göras i form av releaser där man har ansvariga på plats vid första testet efter uppdatering. Frågor som "Hur fungerar det egentligen?" och "Vad är det som kan generera fel?" har varit produktiva i riskutvärderingen.

AstaZero har under förstudien lett en arbetsgrupp med fokus på säkerhet kring autonom testning på provbana. I arbetsgruppen har andra provbanor samt kunder deltagit. Arbetet har resulterat i ett stödjande dokument för provbanor i arbetet med att utforma riskanalyser, regler och processer. (Bilaga 1)

Autonoma fordon utvecklas i en rasande takt och provbanorna måste förstå riskerna, inte bara inledningsvis utan löpnade för att upprätthålla säkerheten. En av de viktigaste källorna till kunskap är deltagande i kundernas riskanalyser. Det behövs mer forskning för att utveckla ett mer avancerat övervakningssystem för autonoma fordon, även i blandning med förarkörda fordon. En annan aspekt som behöver vidare forskning är feldetektering som ett mänskligt sinne hittills klarat av genom tex att uppfatta missljud eller att känna att det luktar bränt. Båda dessa frågeställningar finns med i en projektansökan till FFI som heter AAETT.

## 2 Executive summary in English

### Background

On a proving ground, safety related issues always have the highest priority. The existing systems and regulations are developed due to vehicles with a human driver onboard. The human is able to make decisions and also communicate with other actors and the proving ground traffic control. When the vehicles reach an ever-higher level of automation and there eventually is no human inside the vehicle, the processes, regulations and surveillance need to be adapted. The purpose of the pre-study was to increase competence in autonomous vehicles with no safety driver inside, to understand the risks of autonomous testing and also to realize how the proving ground need to develop by processes, rules and surveillance due to maintain the safety on the proving ground.

### Purpose, research questions and method

The pre-study has included practical studies of driverless vehicles and emergency stops, participating in risk assessments and literature studies. A comparison of driverless and manual driven vehicle has been done to identify need of development in processes, regulations and surveillance. AstaZero has also created and moderated a workgroup consisting of other proving grounds and eminent clients in automated testing.

### Objective

- Increased understanding of built-in safety and emergency stop functions in a self-driving vehicle without a cab
- Overview of any interface problems, if need for direct access to the vehicles' emergency stop functions
- Comparison of how today's requirements, regulations and routines for maintaining high safety on the track work between vehicles with and without drivers onboard.
- A list of identified areas where development work will be required, for example to be able to establish communication between the self-driving vehicle and AstaZero's traffic management system
- Design of development work that may be needed
- Updating routines where development work will not be required

### Results and deliverables

After a study of a driverless vehicle, the processes for booking, risk analysis and traffic management of AstaZero have been updated. A list of potential development work, for example to establish communication between driverless vehicles and traffic control, has been created.

Autonomous vehicles must have some kind of safe stop or emergency stop. Within the study emergency stops has been studied, both practical and theoretical.

AstaZero has during the project led a workgroup with focus on safety related to autonomous testing och test track. The work group has consisted of other proving grounds and eminent clients. The result from two workshops and further processing has been a supporting document for proving grounds to be used while creating risk assessments and regulations on autonomous testing. (Annex 1 to this report, in English)

## Dissemination and publications

How are the project results planned to be used and disseminated?	Mark with X	Comment
Increase knowledge in the field	x	This project has increased the competence within AstaZero, our clients and partners within EPGSA
Be passed on to other advanced technological development projects	x	An application together with Volvo Cars, AB Volvo, RISE and Safe Radar has been created (AAETT) as partial continuation of this pre-study.
Be passed on to product development projects	x	Knowledge from our clients will gain product development projects.
Introduced on the market	x	Knowledge from our clients will gain product development projects.
Used in investigations / regulatory / licensing / political decisions	x	Discussions and results from workshops will form the basis for regulations on other proving grounds

## Conclusions and future research

The pre-study shows that the need of changes in the current traffic management system is not very urgent, under the condition that autonomous vehicles are tested at exclusive test tracks. It is however important for the test track to understand the composition of the test team and the various roles and responsibilities within the team. It is of outmost importance for the traffic manager to know who is responsible for the movement of the vehicle to quickly reach out with warnings or messages. It is not likely that the traffic manager should have the possibility to emergency stop vehicles, this can cause severe damage on both vehicles and humans.

When the number of autonomous vehicles is arising and the test scenarios become more complex, a possible solution could be a decentralized and detailed traffic management on the actual test track. The current traffic manager would still have the overview of the total proving ground. Another scenario is to develop geofences on the test track and around the vehicles. In this way the proving ground can state permitted and non-permitted actions within the geofences and also what happens if a vehicle is violating the rules. This could be a physical action like a stop or generate advocate warnings to operator, other actors and traffic manager. This needs further research and is handled in the FFI application AAETT.

The risk assessments give that early in the development phase, it is difficult to discover and understand all risks related to autonomous testing. Therefore, it is important to involve several people with different competence and to conduct the assessment over time. Changes in the vehicles should be done as releases, with responsible people present during the first test after an update. Questions like "How is it really working?" and "What can cause faults?" have been useful during the risk assessment process.

Finally, autonomous vehicles are rapidly developing, and the proving grounds need to understand the risks, not only initially, but continuously to maintain safety on the test tracks. One of the main sources of competence and experience is participating in clients risk assessments. There is a need of further research to develop more advanced traffic management systems and also to how to handle the challenge of fault detection in vehicles when human senses won't be there anymore. (See application AAETT).

### 3 Bakgrund

På en testanläggning som AstaZero testas avancerade system i tidiga faser av utvecklingen. Fordonen tar i ökande mån egna beslut om hur de ska agera och köra. Säkerheten för alla som vistas på en sådan testbana har högsta prioritet. När fordon testas idag på AstaZero övervakas de av en trafikledare och ett trafikledningssystem. Trafikledaren ser positionen för fordonet och har kontakt med föraren via radio för att tex öppna bommar till banor och meddela vilken väg som ska tas. Alla beslut tas med hänsyn till säkerheten för samtliga aktörer. Alla fordon på banan är också utrustade med en VTU (vehicle tracker unit) som skickar position till trafikledningssystemet (figur 1). Denna VTU innehåller också viss intelligens som t.ex. att varna när fordonet kör för fort. Systemet med nära kontakt mellan trafikledning och fordonen på banan är central för att kunna säkerställa en säker miljö såväl på väg till testområdet som under pågående tester.



Figur 1, bild på trafikledningssystemet på AstaZero där gröna och gula punkter är fordon och röda punkter illustrerar vägbommar.

Det finns idag tydliga krav på hur ett fordon med förare får bete sig på banan, hur man kommunicerar och stämmer av sin rutt med trafikledningen och hur man kommunicerar med andra testteam på banan. Förutom vanliga trafikregler gäller även interna trafikregler på banans tillfartsvägnät. Alla dessa krav och regler måste appliceras även på det självkörande fordonet. Dessutom måste det självkörande fordonet kunna stängas ner ifall det skulle löpa amok. Utvecklingen av självkörande fordon har nu kommit så långt att fordon som inte ens har en förarplats är aktiva på banan. Detta öppnar upp nya frågeställningar om hur transport av fordon till och från testplatsen på banan ska kunna göras på ett för alla säkert och effektivt vis.



Figur 2. Einrides lastbil T-pod är helt förarlös

De fordon som idag är helt självkörande på banan fjärrstyrs av en människa under transportfasen ut till testplatsen. Dock är det fordonsutvecklaren själv som hanterar detta och i

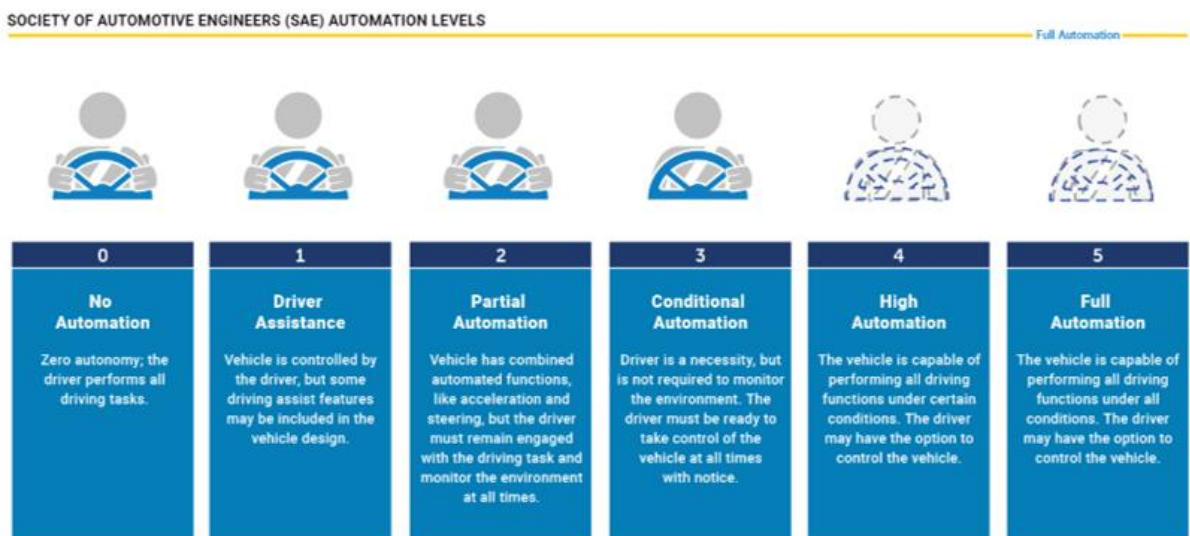
sin tur har kontakt med banans trafikledning. I framtiden kan ett behov tänkas där trafikledningen direkt ska kunna, vid nödfall, ta över styrningen av fordonet.

Denna förstudie har därför haft fokus på självkörande fordon där inte en människa finns i fordonet och kan stänga ner det om något skulle gå fel. Studien ämnade titta på transportkedjan från det att ett självkörande fordon passerar innanför grindarna på provbanan till dess att det lämnar igen. Störst fokus har lagts på att inventera och förstå riskerna med helt självkörande fordon samt hur ett trafikledningssystem bör utformas för att stödja och kontrollera dessa fordon på bästa sätt.

Det kan också nämnas att AstaZero är medlem i EPGSA (European Proving Grounds Safety Association) som är en samarbetsorganisation för europeiska provbanor. Syftet är att lära av varandra för att förbättra säkerheten på våra provbanor. AstaZero är drivande inom denna organisation när det gäller säkerhetsarbetet för självkörande fordon. Under 2018–19 har AstaZero lett en separat arbetsgrupp som har för syfte att förbättra säkerheten med självkörande fordon på provbanor. Input från denna arbetsgrupp har varit av stor vikt för denna förstudie då det finns många medlemmar som står inför samma utmaning som AstaZero.

### Definition av automation

Automation i fordon förekommer i olika nivåer. I den lägsta av automationsnivåerna finns ingen automation alls, föraren måste själv stå för alla beslut och aktiviteter. I den högsta av nivåerna är fordonet helt självkörande. Om det ens finns en förare ombord har denne ingen eller mycket begränsad inverkan på beslut eller aktiviteter. Detta har SAE, Society of Automotive Engineers definierat, se figur 3. Definitionen är internationellt vedertagen och en viktig grundföresats i denna rapport som handlar om fordon i nivå 4 och 5.



Source: SAE & NHTSA

Figur 3. SAE automation levels



## 4 Syfte, forskningsfrågor och metod

### 4.1 Genomgång av förarlöst fordon

Då AstaZero redan idag har helt självkörande fordon, utan förarhytt, på banan har dessa kunnat användas som studieobjekt. En genomlysning av testprocessen har gjorts från det att kund planerar test till det att kund checkar ut. Syftet har varit att hitta behov av förändringar och säkerställa att processen hanterar de kritiska scenarios som uppstår på grund av att fordonet är autonomt, i synnerhet när inte säkerhetsförare finns ombord.

Flertalet studier har gjorts. Fordonets rörelse har gått igenom i detalj tillsammans med fordonstillverkaren. Fordonet följdes från garage till testplats och tillbaka igen för att se hur tillverkaren förflyttar fordonet med hjälp av fjärrstyrning. Följande moment gicks igenom:

1. Planering av test/riskanalys
2. Incheckning/trafikledning
3. Testteamet
4. Fordonet
5. Hantering i/utanför garage
6. Transport ut till testbana (test på bana har inte studerats)
7. Transport tillbaka till garage
8. Utcheckning

Fordonet har även varit föremål för en workshop tillsammans med räddningstjänsten för att öka kunskapen kring nödlägesberedskap för autonoma fordon.

### 4.2 Jämförelse mellan förarlösa och konventionella fordon

En jämförelse har gjorts på hur fordon med förare och utan förare kan hantera de krav, bestämmelser och rutiner som finns på provbanan idag. Områden som det självkörande fordonet inte kunnat hantera på grund av avsaknad av förare, tex aktiv radiokommunikation, har identifierats som direkta åtgärds punkter eller som input till vidare projektering.

### 4.3 Nödstopp

Autonoma fordons nödstoppsystem har studerats både teoretiskt och praktiskt.

### 4.4 Riskanalys

Ett omfattande riskanalysarbete tillsammans med kunder har genomförts. Kunskap kring inbyggda säkerhetssystem i fordon har inhämtats. Även om detta kan vara fordonsspecifikt ger det en fingervisning om vilken säkerhetsnivå som kan vara inbyggd i fordonet självt.

### 4.5 Internationell arbetsgrupp

AstaZero är medlem i EPGSA, European Proving Grounds Safety Association. Under projektets gång har AstaZero lett en arbetsgrupp med medlemmar ur EPGSA och dess kunder för att öka kunskapen om autonoma fordon och autonom testning. Intresset för gruppens arbete har varit stort och arbetet har mynnat ut i ett stödande dokument för provbanor med autonom testning.

### 4.6 Litteraturstudier

Litteraturstudier har gjorts, bland annat en guideline från en provbana/biltillverkare i Storbritannien, krav/guidelines för provning på allmän väg i Sverige och i andra länder och forskningsresultat tex Mcity driverless Shuttle. Intervju har genomförts med Nobina som har ett lyckat projekt bakom sig med självkörande bussar i publik miljö.

## 5 Mål

Målet med förstudien har varit

- Ökad förståelse för inbyggda säkerhets- och nödstoppssystem i ett självkörande fordon utan förarhytt.
- Översikt av eventuell interfaceproblematik vid behov av direkt access mot fordonens nödstoppssystem
- Jämförelse av hur dagens krav, bestämmelser och rutiner för att hålla hög säkerhet på banan fungerar mellan fordon med förare och utan möjlighet till förare ombord.
- En lista på identifierade områden där utvecklingsarbete kommer krävas för att t.ex. kunna upprätta kommunikation mellan det självkörande fordonet och AstaZeros trafikledningssystem.
- Projektering av utvecklingsarbete som kan komma att behövas\*.
- Uppdatering av rutiner där inte utvecklingsarbete kommer krävas.

\*Under projektets gång har det lagts mycket fokus på att identifiera och förstå riskerna med autonom provning samt vilken typ av övervakning som kommer att krävas. Detta fått större utrymme än att projektera utvecklingsarbetet vilket bedöms som ett för tidigt steg.

## 6 Resultat och måluppfyllelse

Hela förstudien syftar till att skapa förutsättningar för det autonoma transportsystemet genom att tillhandahålla en säker testmiljö. I förlängningen leder detta till färre olyckor, jämnare trafikflöden, högre trafiksystemkapacitet och mindre miljöbelastning. Det stärker också Sveriges konkurrenskraft.

### 6.1 Genomgång av förarlöst fordon samt en jämförelse mellan förarlösa fordon och konventionella fordon

I detta avsnitt redovisas erfarenheter från genomgång av förarlöst fordon samt anpassningar som gjorts på provbanan för att upprätthålla säkerheten. I rapporten redogörs endast för provbanans synvinkel på genomgången. Kundens specifika processer och arbetssätt har utelämnats.

#### Planering av test/riskanalys

Som vid planering och bokning av alla prov är det viktigt att bokningshandläggare får tillräcklig information för att kunna göra en korrekt och säker bedömning av provet. Har kunden själv gjort en riskanalys och provbanan har sett provet förut kan detta ske relativt enkelt. Är det däremot nytt prov eller om fordonet är annorlunda mot tidigare måste kund och provbana tillsammans göra en riskanalys innan provet kan genomföras. Det är sedan testledarens ansvar att förmedla den information som framkommer till samtliga inblandade. Det kan vara olika personer som bokar och som är testledare.

#### Incheckning och trafikledning

Då fordonet är av den karaktären att säkerhetsförare ej finns ombord är det viktigt att trafikledaren känner till hur det opereras och vem i testteamet som gör vad. Som vid andra tester ska en testledare alltid finnas utsedd. Fordon på AstaZero utrustas med en vehicle tracker unit (VTU) för att bland annat meddela föraren ljud- och ljusvarningar för tex hastighetsöverträdelser eller otillåten passage. I ett förarlöst fordon når inte VTU's varningssystem fram till operatörerna, därför måste trafikledaren vidarebefordra dem via radio till utsedd medlem i testteam. Trafikledaren måste veta vilken radio som hör ihop med det autonoma fordonet. I studerat fall är det den som håller i ett dödmansgrepp. För denna operatör skulle ett röststyrt headset vara värdefullt då händerna behövs för att hålla i fjärrkontrollen. Det befintliga övervakningssystem som finns på AstaZero bedöms som tillräckligt för den provning som utförs idag med ett fordon. Om flera autonoma fordon ska dela yta behövs ett mer kompetent övervakningssystem.

## Testteamet

I ett testteam från studerat kund finns alltid minst fyra personer. En testledare, en person som är ansvarig för dödmansgreppet, en teleoperatör och en biträdande teleoperatör. Det är viktigt att AstaZeros trafikledare har vetskap om vem som har vilken roll. Samtliga deltagare i teamet ska ha genomgått AstaZero Safety Training. Teleoperatör ska ha genomgått intern utbildning. Vid genomgången klassades fordonet som ett LGF – långsamtgående fordon.

Körkortsbehörighet B krävs för detta. På sikt kommer troligtvis C-kort och körvana från lastbil att krävas för att framföra fordonet.

Kommunikationen inom testteamet stöds av väl implementerade säkerhetsrutiner. Teleoperatör håller konstant kontakt med dödmansgreppoperatör via telefon alternativt videosamtal under testerna. Testledare och dödmansoperatör befinner sig i direkt anslutning till varandra.

Riskerna på provbanan ökar normalt när ett testteam tar med sig besökare eller mindre erfarna testmedlemmar. Testteam bör tänka till hur detta ska hanteras.

AstaZero bör ställa som krav att ett team runt ett autonomt fordon är ändamålsenligt bemannat för att kunna beakta säkerhetsaspekter. Det bör till exempel alltid finnas en person som backup för kritiska moment.

## Fordonet samt hantering i och utanför garage

Studerat fordon kan köras med fjärrkontroll, teleoperatör eller i autonomt läge. När fordonet är i drift aktiveras en blinkande orange lampa. Om denna lampa är släckt är fordonet säkert att gå fram till. Fordonet har idag ett synfält från ena backspegeln till den andra, ca 75 grader. Inom kort ska detta utökas. Om en sensor slutar att fungera eller blir smutsig ser operatören detta tydligt och kan besluta om fordonet ska stoppas.

Fordonet är förutom med dödmansgrepp även försett med nödstopp. Båda dessa aktiverar fordonets parkeringsbroms. Nödstoppet bryter även strömmen till fordonet. Nödstopp triggas av om man tappar fjärrkontrollen, om fordonet kommer utom räckvidd, om kommunikationen bryts eller om batteriet i fjärrkontrollen tar slut. Nödstoppet fungerar även om fordonet blir strömlöst.

I samband med ett kunduppdrag har kunden haft en uppskattad genomgång med räddningstjänsten i Jönköping. Motsvarande har även gjorts med Södra Älvsborgs räddningsförbund på AstaZero. Från denna genomgång finns inget anmärkningsvärt att rapportera. Laddning av fordonet sker alltid utomhus. Lastning av fordonet på fordonstransport görs med hjälp av fjärrkontrollen.

## Transport ut till testbana

Fordonet körs i en hastighet av 5-10 km/h på transportvägarna. Den kan antingen köras med fjärrkontroll eller av teleoperatör. Oavsett vilket åker dödmansgrepp-operatör före fordonet i följbil med god uppsikt bakåt. Om fordonet körs av teleoperatör har denne telefonkontakt med dödmansgrepp-operatören. Det är alltid testledaren som ger operatörerna tillåtelse att starta körning. När bilen är i rörelse blinkar ett orange ljus.

Normalt sett är möte inga problem. Bedömer dödmansgrepp-operatör att risk föreligger kan fordonet snabbt stoppas.

Risk för omkörning föreligger eftersom fordonet kör väldigt sakta. Omkörning i sig är ingen fara. Bedömer dödmansgrepp-operatör att risk föreligger kan fordonet snabbt stoppas. Maximalt avstånd mellan operatör/fjärrkontroll och fordonet är 500 meter. Vid transfer är avståndet ca 5-10 meter.

Eftersom ingen ser om en VTU i ett förarlöst fordon larmar på grund av bristande kontakt bör testteamet höra av sig till trafikledaren när de är på väg ut till testbana. Trafikledaren kan då reagera om inte samtliga VTUer skulle vara aktiva. Eftersom fordonet alltid transporteras med följbil finns risken att det kan smita genom bommar utan att trafikledaren märker det om VTU:n skulle vara ur funktion.

Normalt sett öppnas en av två bommar när ett fordon begär passage. Större fordon kan ibland begära att båda bommarna öppnas för säker passage. Om detta behov föreligger hos ett autonomt fordon måste detta säkerställs genom kommunikation med trafikledare vid incheckning.

I dagsläget finns ingen inbyggd intelligens för att känna av halka på fordonet. Halkläge bedöms av dödmansgrepp-operatör. Fordonets hjulhastighet mäts individuellt så det är ingen stor sak att lägga in en varning till teleoperatören om ett eller flera hjul slirar.

#### **Ev enklare test på testbana**

Inget test utfördes vid genomgången

#### **Transport tillbaka till garage**

Inget att tillägga

#### **Utcheckning**

Inget att tillägga

#### **Vidtagna åtgärder efter genomgången**

Trafikledning

I trafikledarvyn ser alla kundfordon likadana ut (Gul kvadrat). För att trafikledaren bättre ska se vilka fordon som är autonoma har dessa markörer försetts med en avvikande färg. Vissa VTU'er används endast till autonoma fordon.

Förtydligande om testteamets roller

Testteamet meddelar vid incheckningen vilka roller de har så att testbanan har vetskap om detta samt att trafikledare når rätt person i rätt läge. Att detta meddelas varje gång av testteamet vid incheckningen är en försäkran om att ingenting har ändrats och att missförstånd kan undvikas.

Bokning

Bokningsformulär har kompletterats med kryssrutor för "Autonomt fordon" samt "Säkerhetsförare ombord JA/NEJ"

Regler

AstaZeros regler och säkerhetsutbildning har kompletterats med bland annat:

- Autonoma fordon måste köras i manuellt läge på transportvägarna.
- Team runt autonoma fordon ska vara ändamålsenligt bemannade för att kunna beakta säkerhetsaspekter.

Rutiner och instruktioner

Trafikledarinstruktion har kompletterats med avsnitt om autonoma fordon. Tex att vidarebefordra varningar från VTU till operatör.

#### **Lista på identifierade områden där utvecklingsarbete kommer krävas för att t.ex. kunna upprätta kommunikation mellan det självkörande fordonet och AstaZeros trafikledningssystem**

Fordonens position – Idag positioneras fordonen på banan med hjälp av en "Vehicle Tracker Unit" och GPS-teknik. Noggrannheten är för nuvarande användningsområde tillräcklig. Övervakning av självkörande fordon kräver troligtvis en noggrannhet på centimeternivå så att trafikledaren tex kan se vilket körfält ett fordon kör i. Kraven kan skilja från test till test. Eventuellt kan ett regelverk behövas kring vilka system och enheter som är godkända för test på provbanan och hur dessa ska vara kalibrerade. Detta kan tex ske via verifiering mot referensstation får påbörjas. Exakt hur noggrann positionering som krävs behöver utredas ytterligare.

Utveckling av geofences – Med geofence menas ett geografiskt avgränsat eller definierat område som bestämts och som "inhägnats" med en programvara. (Källa: Definition enligt Wikipedia). Banan kan delas in i flertalet geofences och ges olika egenskaper. Även fordon kan ges ett omgivande geofence. Inom geofencet kan man sedan ange vad som ska vara tillåtet,

vad som ska generera varningar till testledaren och/eller trafikledaren och vad som ska resultera i direkta åtgärder. Då kan man till exempel styra vad som ska hända om ett obehörigt fordon kör in i ett testscenario. Denna typ av testövervakning forskas det på i pågående FFI-projektet Chronos 2. Resultaten där kan utvärderas ur ett trafikledarperspektiv och tas med i en kravställning för framtida trafikledningssystem.

Uppdateringshastighet – Idag uppdateras trafikledningssystemet två gånger per sekund. Ett fordon i 80 km/h hinner röra sig ca 11 meter mellan varje uppdatering. Denna hastighet bedöms som för låg. Olika test kan ställa olika krav på uppdateringshastighet. Exakt vilken uppdateringshastighet som krävs behöver utredas ytterligare.

Krav på nätverk – kapacitet och prioritet

Exempel på intelligenser som behöver finnas i ett trafikledarsystem för autonoma fordon

- Kunna skilja på manuellt körda fordon och autonoma fordon. Detta blir särskilt viktigt ur ett nödlägesperspektiv för provbanan. Om ett fordon kolliderar, finns det då en människa i fordonet som behöver räddningsinsats?
- Koppling mellan autonomt fordon och den person som ansvarar för dess framfart
- Begränsa fordon till den bana eller del av bana det har tillgång till (geofence)
- Begränsa fordon till de manövrar de är godkända för tex hastighet
- Varna om fordon kör in i fel geofence
- Varna om fordon riskerar att kollidera
- Varna om oskyddad trafikant riskerar att köras på

#### **Projektering av utvecklingsarbete som kan komma att behövas**

Projektering av utvecklingsarbete är inte gjort inom denna förstudie. Under projektets gång har det lagts mycket fokus på att identifiera och förstå riskerna med autonom provning samt vilken typ av övervakning som kommer att krävas. Detta fått större utrymme än att projektera utvecklingsarbetet vilket bedöms som ett för tidigt steg.

## **6.2 Nödstopp**

Autonoma system behöver ha ett nödstopp eller ett säkerhetsstopp för att säkert kunna avbryta test. Detta kan jämföras med krav på nödstopp på många andra maskiner som ställs i maskindirektivet. Ett nödstopp ska vara ett komplement till andra säkerhetsåtgärder och inte en ersättning för dem.

Maskindirektivet anger vilka grundläggande hälso- och säkerhetskrav som gäller för alla maskiner som släpps ut på marknaden eller tas i drift inom EU. Kraven i direktiven är införlivade i svensk arbetsmiljölagstiftning genom arbetsmiljöverkets föreskrift Maskiner AFS 2018:13. Utrustning som särskilt konstruerats och tillverkats för forskningsändamål för tillfälligt bruk är dock undantagna kraven. Även om specialbyggd testutrustning och fordonsprototyper balanserar mellan definitionerna maskin och fordon kan man som provbana söka ett visst stöd i lagstiftningen när man kravställer aktörerna på banan.

Saxat ur arbetsmiljöverkets föreskrift Maskiner AFS 2018:13

#### 1.2.4.3 Nödstopp

En maskin ska vara försedd med en eller flera nödstoppsanordningar som gör det möjligt att avvärja överhängande fara eller fara som redan uppstått.

Detta krav gäller dock inte för

- en maskin i vilken en nödstoppsanordning inte skulle minska risken, antingen beroende på att den inte skulle förkorta stopptiden eller beroende på att anordningen skulle göra det omöjligt att vidta de särskilda åtgärder som den aktuella risken kräver, samt
- bärbara handhållna eller handstyrda maskiner.

Nödstoppsanordningen ska

- ha klart identifierbara, klart synliga och lättåtkomliga manöverdon,
- stoppa det farliga förloppet så snabbt som möjligt, utan att därmed ge upphov till ytterligare risk, och
- vid behov utlösa eller möjliggöra utlösning av vissa rörelser av skyddskaraktär.

När aktiv påverkan av nödstoppsanordningen har upphört efter ett stoppkommando, ska detta kommando kvarstå tills nödstoppsanordningen återställts; manöverdonet får inte kunna spärras utan att stoppkommando ges; återställning av anordningen får endast vara möjlig genom en för ändamålet lämplig åtgärd och återställning av anordningen får inte starta maskinen på nytt utan endast möjliggöra återstart. Nödstoppsfunktionen ska alltid vara tillgänglig och i drift oberoende av driftsätt. Nödstoppsanordningar ska vara ett komplement till andra säkerhetsåtgärder och inte en ersättning för dem.

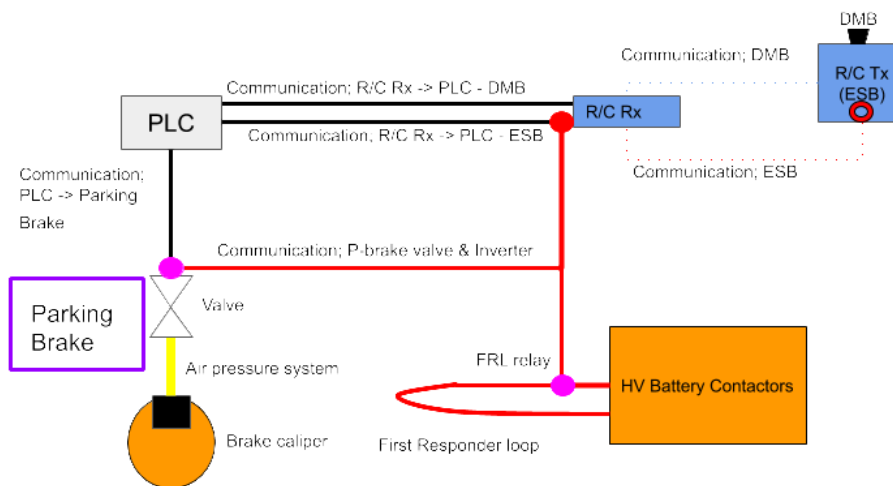
Utformning av ett nödstopp kan med fördel göras i enlighet med SS-EN ISO 13850:2019 Maskinsäkerhet – Nödstoppsutrustning – konstruktionsprinciper. Standarden behandlar många praktiska frågeställningar och främjar en harmoniserad utformning som är väl betendemässig underbyggd.

Nödstopp kan utformas på olika sätt. Ett sätt är att nödstoppa fordonet genom att tex aktivera parkeringsbroms. Detta fungerar i mycket låga hastigheter. Ett plötsligt stopp riskerar att orsaka skador på fordonet. Om säkerhetsförare finns ombord är också risken för personskador hög vid ett abrupt stopp.

Ett annat sätt att nödstoppa är att bara stoppa det autonoma systemet. Detta funkar så länge man har en säkerhetsförare ombord som då tar över kontrollen över fordonet. Detta kan ske genom att föraren trycker ned bromspedalen, tar över styrningen eller aktiverar ett specialkonstruerat manöverdon.

Ett helt autonomt fordon som inte kan förlita sig på att en förare eller operatör tar över vid en kritisk situation behöver ha en inbyggd intelligens och nödlägesberedskap i varje stund. En förare kan till exempel känna att det luktar bränt eller höra missljud och stanna fordonet innan situationen blir direkt farlig. Ett autonomt fordon behöver veta var och hur ett sådant stopp kan ske. Hur detektionen av potentiella fel och efterföljande säkerhetsstopp ska utformas blir en utmaning för fordonstillverkarna att lösa.

Oavsett val av nödstopp är det av största vikt att det är konstruerat så att det fungerar även om fordonet blir strömlöst.



Figur 4. Exempel på utformning av nödstoppsystem. Källa: Einride

### 6.3 Erfarenheter från genomförda riskanalyser

Autonoma prov ska alltid föregås av en riskanalys. Tillsammans med våra kunder har vi genomfört ett antal riskanalyser och dragit viktiga lärdomar från det. Riskanalyserna är sekretessbelagda och kan inte redovisas i denna rapport. Under punkt 8.4 återfinns de slutsatser vi dragit från arbetet.

### 6.4 Resultat från arbetsgrupp med andra provbanor

AstaZero är sedan tidigare medlem i European Proving Grounds Safety Association, EPGSA. Gruppen samarbetar i frågeställningar kring säkerhet på provbanor och träffas två gånger per år. AstaZero har under 2018 initierat en separat arbetsgrupp med medlemmar inom EPGSA samt kunder för att driva säkerhetsarbetet med autonoma tester (Härefter refererad till som "Arbetsgruppen"). Arbetsgruppen har träffats vid två workshops under projektets löptid. Resultatet av dessa workshops har sammanställts i ett vägledande dokument som provbanorna kan använda som stöd i utformning av såväl riskanalyser som regelverk relaterat till provning med autonoma fordon. Dokumentet kan ses som ett resultat av en brainstorming kring risker kategoriserat till fyra områden.

<b>Testmetod</b>	<b>Testutförare</b>
<b>Testfordon och utrustning</b>	<b>Testmiljö</b>

Figur 5. Riskkategorier att beakta

Som testbana kan man ha väldigt olika ansvar när det kommer till den här typen av frågor. I det allra enklaste fall hyr testbanan enbart ut en testmiljö och allt ansvar åligger kunden. I det allra mest komplexa fallet har testbanan både kunder och egen personal som utför testerna. Ansvarsfrågan blir därmed viktig att reda ut men också svår för deltagande parter att enas kring. Arbetsgruppen hade som utgångsläge att ta fram ett förslag till harmoniserade regler men ansvarsfrågan omöjliggjorde det. Därav har dokumentet utformats som en mycket förenklad vägledning där varje provbana kan tillgodose sig relevanta delar. Dokumentet kan läsas i Bilaga 1.

### 6.5 Litteraturstudier

Litteraturstudier har gjorts, bland annat en guideline från en provbana/biltillverkare i Storbritannien, krav/guidelines för provning på allmän väg i Sverige och andra länder och forskningsresultat tex Mcity driverless Shuttle. Intervju har genomförts med Nobina som har ett lyckat projekt bakom sig med självkörande bussar i publik miljö.

*Permit for trial operation with self-driving vehicles: description of the application process. Draft 2019-01-18. Transportstyrelsen.*

Dokumentet beskriver hur ansökningsprocessen för autonoma fordon och tester går till i Sverige samt vilka krav på återrapportering som finns.

*Code of Practice: Automated vehicle trialling, Centre for Connected & Automated Vehicles, February 2019*

Storbritannien är från myndighetssidan mycket positiva och stödjande till autonoma tester på allmän väg. De lämnar ett stort ansvar under frihet till testutförarna men de är också måna om att testutförarna för en dialog med sina intressenter. Testutförarna behöver anmäla men inte söka tillstånd för sina test. De är skyldiga att följa lagstiftning och rubricerad code of practice. Bland kraven som ställs på testutförarna ses

- förare/operatör som kan ta över fordonet när som helst
- ett vägvärdigt fordon
- tillbörlig försäkring
- ett väl genomarbetat "Safety case" som bland annat beskriver vad och hur man ska göra och hur man beaktat säkerhetsaspekter

#### *DRAFT JLR Code of Practice for the Testing of Automated Vehicles, Brian Smith*

Jaguar Landrover har utifrån brittiska ramverk tagit fram en code of practice som hanterar all testning av bilar i automationsnivå 3-5 inom deras koncern. Dokumentet har varit ett stöd i arbetet med framtagning av EPGSA-dokumentet.

#### *Arbetsmiljöverkets föreskrift Maskiner AFS 2018:13*

I dokumentet finns bland annat krav på nödstopp och vad en riskbedömning ska hantera.

*SS-EN ISO 13850:2019 Maskinsäkerhet – Nödstoppsutrustning – konstruktionsprinciper*  
Standarden innehåller många praktiska tips i hur ett nödstopp kan konstrueras.

#### *Mcity Driverless Shuttle – A Case Study from University of Michigan*

Studien har tittat på hur människor agerar som passagerare, fotgängare, cyklister och medtrafikanter i och runt en autonom minibuss som kört på campusområdet på University of Michigan. Studien har också samlat in omfattande data under projektiden för att förstå fordonsprestanda, interaktion i trafiken samt passagerarbeteende. Även i Michigan är det tillåtet att genomföra autonoma tester på allmän väg, under förutsättning att man håller sig till "Michigan Vehicle Code".

Ett motsvarande projekt till Mcity Driverless Shuttle har gjorts i Sverige. Inom projektet "Autopiloten" har bland andra Nobina Technology, Scania, KTH och Ericsson tagit fram en självkörande buss som trafikerade Kista Science City under första halvåret 2018. I oktober 2018 togs projektet ett steg till och flyttade till Barkarby med fler bussar och en mer komplex trafikmiljö. I början av 2019 inleddes försök med fullängdsbussar.

Vid en intervju 27 mars 2019 berättade Peter Hafmar, VD på Nobina Technology om vägen fram till körningen på allmän plats. Första steget var att få fordonet klassat och godkänt för vägtrafik. Eftersom bussarna inte ser ut som vanliga bussar (har ingen plats för förare) blev klassificeringen hos transportstyrelsen en stor fråga. Enligt Wienkonventionen blev den till slut klassad som en buss. De fick beskriva vad risken är med att inte ha förare ombord genom att tex bevisa att bromsen fungerar som den ska. Det var mycket detaljerade redovisningar över fordonssystemet.

Steg 2 var att få fordonet att agera enligt trafikförordningen. I första omgången skulle bussen köra en viss rutt i Kista. Denna rutt gick igenom i detalj och byggdes upp på en avstängd väg för att testköras. Svårigheter som uppkom var tex att få bussen att förstå och agera efter polismans tecken, tex att köra in till kanten och stanna. Detta fick lösas med att säkerhetsföraren fick ta över i en sådan situation. När de kommit så långt med testkörningen att de var nöjda fick de göra en uppkörning för Transportstyrelsen, fortfarande på stängt område.

När första omgången i Kista var avklarad skalades projektet upp. Denna gång i Barkarby, med fler bussar och inte bara en enda isolerad rutt. Alla risker i området utvärderades med



utgångsläge i trafikförordningen. Problem som uppstod berodde i första hand på andra trafikanter som inte följde reglerna. Tex dubbelparkerade bilar eller bilar som kom i alldeles för hög hastighet. Detta var systemen inte anpassade för. För att komma tillrätta med fordonets synfält som blir för litet om omgivande trafikanter kör för fort undersöker de nu hur infrastrukturen i området kan stödja fordonen. Tex att sensorer kan placeras ut så att det ökar synfältet. Även cyklister med abrupt beteende blev en utmaning. Det gäller för fordons/systemutvecklare att bjuda in "vanligt folk" och studera deras beteende. Bussarna i Kista råkade till exempel ut för många "hoppare" som ville testa om bussarna stannade om det kom någon framför.



Figur 6. Bussen som trafikerade Kista. Källa: www.nobina.com

## 7 Spridning och publicering

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Detta projekt har byggt mycket kompetens inom AstaZero men även hos våra kunder och samarbetspartners inom EPGSA
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	x	En ansökan tillsammans med Volvo Cars, AB Volvo och Safe Radar har lämnats in som delvis fortsättning på denna förstudie. (AAETT)
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	x	Kunskap hos våra kunder tas vidare in i utvecklingsprojekten.
Introduceras på marknaden	x	Kunskap hos våra kunder tas vidare in i utvecklingsprojekten.
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut	x	Diskussioner och resultat från workshops kommer att ligga till grund för regelverk på andra provbanor.

## 8 Slutsatser och fortsatt forskning

### 8.1 Övervakning och nödstopp

Autonoma fordonstester kommer att kräva en annan typ av övervakning. För den typ av provning och mängd fordon som förekommer idag är nuvarande trafikledningssystem fullt tillräckligt. Proven kan utföras på exklusiva banavsnitt utan inblandning av andra aktörer. I samma stund som fler autonoma fordon eller autonoma fordon i kombination med manuellt körda fordon ska testas på samma bana ställs frågan om övervakning i ett annat ljus. Man kan då tänka sig att trafikledningen decentraliseras mer till de specifika banavsnitten. Körs ett scenario med flera autonoma fordon på till exempel banan High Speed Area finns ett behov av lokal övervakning. Det är denna operatör/trafikledare som kan ingripa om något händer. Detta skiljer sig från den trafikledning som finns idag med en trafikledare som övervakar samtliga banavsnitt. Den trafikledare som övervakar hela banområdet och styr tillträde mm kommer inte att ha tillräcklig insikt i vad som händer. Jämför man de olika trafikledarrollerna ställs det betydligt högre teknisk expertis på den lokala övervakaren än på den traditionella trafikledaren.

I kravställningen för ett trafikledarsystem eller ett testsystem behöver man först ta beslut om vilken inriktning testbanan vill ha. Ett centralt övervakningssystem eller flera decentraliserade. Först därefter kan en ordentlig kravspec tas fram. Förstudien drar som slutsats att en mix av de båda övervakningsmodellerna kommer att krävas. Vidare forskning på området behövs. En ansökan är inlämnad till FFI som bland annat omfattar trafikledning för autonoma fordon (AAETT).

En fråga som varit aktuell för diskussion under förstudien är om trafikledare (på sikt) ska kunna nödstoppa autonoma fordon från trafikledarkontoret. Frågan ställs utifrån det perspektiv att vi har en liknande trafikledarroll som idag. Den kund vi har studerat är tveksam till detta. De hävdar att ansvaret måste ligga på testteamet. Ett nödstopp kan orsaka stora skador på fordonet varför man bara vill använda det i absolut nödläge. Har man en säkerhetsförare i fordonet kan ett nödstopp få allvarliga konsekvenser i form av nack- och huvudskador redan i låga hastigheter. Diskussionen måste därför begränsas till fordon utan säkerhetsförare ombord. Slutsatsen är att AstaZero som driver en öppen anläggning inte kan ta ansvaret för att nödstoppa kundens fordon. Detta då nödstopp kan skapa värre olyckor eller fordonsskador. Däremot kan trafikledaren varna operatören för fara. Förstudien har enbart hanterat frågeställningen utifrån att fordonet löper amok och behöver nödstoppas av den anledningen. En annan frågeställning är också vad som händer med feldetekteringen när inte längre människor finns i bilarna. En människa kan uppfatta missljud, att det luktar bränt etc och på så sätt stoppa fordonet innan skadan blir akut. Denna funktion behöver även finnas på förarlösa fordon. Frågeställningen finns med i projektet AAETT som är i ansökningsfas hos FFI.

I utformningen av nödstopp finns det flera aspekter att beakta. Som provbana kan vi utfärda rekommendationer men det är kunderna som ansvarar för sina fordon. Helst ska nödstopp kopplas till vanliga funktioner som tex styrning eller broms. Det är ett naturligt sätt för en säkerhetsförare att ta över kontrollen. I andra hand bör nödstoppet vara en knapp. Om det är en separat knapp bör denna alltid placeras på samma ställe, tex har en fordonstillverkare i sin code of practice angivit att den ska placeras mellan sätena i fram. Detta gör att spridningen i utformningen blir så liten som möjligt. Detta är något som varje biltillverkare borde ha riktlinjer om. Oavsett vilket nödstopp man valt är det viktigt att testa nödstoppet och att berörd personal har fullständig kunskap om hur och när nödstoppet ska användas och vad som händer när det aktiveras.

Det blir viktigt att göra en genomgående riskanalys för att finna samtliga riskkällor i varje test. Sannolikt kommer ett antal nödstopp att finnas bland åtgärderna. Vid ett scenario med autonoma fordon kan relevanta nödstopp byggas in i testet. Detta kan göras genom dels att

fordonen förses med nödstopp men också genom att fordon och testområde förses med geofences och därmed vissa tillåtna och otillåtna aktiviteter. Exempel på detta är att fordon varnar operatör eller stannar automatiskt om

- fordon lämnar testområdet
- fordon riskerar att köra på något/någon
- främmande föremål kommer in på testområdet
- annat fordon inom testet nödstoppas
- kontakten med fordonet bryts

En viktig slutsats inom förstudien är att kritiska roller inom ett autonomt testteam alltid ska vara backupade. Operatören får i detta fall en väldigt kritisk roll. Minsta antydning till att operatör inte är tillräckligt observant (trötthet, distraktion, plötslig sjukdom) bör inom systemet hanteras.

Komplexa testscenarier med flera autonoma objekt är något som forskningsprojektet Chronos 2 tittar på och som kan vidareutvecklas.

Det är mycket fokus på fordonens positionering men på provbanan rör sig även människor. Positionering kan även appliceras på människor. Man skulle till exempel via en mobilapp kunna rapportera en persons position till testövervakningssystem eller trafikledningssystemet. Till detta kan man även koppla larm till såväl personen som till trafikledningen tex när en obehörig person träder in på ett visst område. Man kan också tänka sig åtgärder kopplade till dessa typer av larm. Förslagsvis kan detta göras som en Proof of concept i form av ett exjobb som steg 1.

## 8.2 Nivå på AD-fordon

Om man tittar på de fall där autonoma fordon fått tillstånd att köra på allmän plats, tex Nobinas bussar, har godkännandeprocessen bestått av bland annat en uppkörning. I tydligt avgränsade fall ska fordonet bara gå en viss förutbestämd rutt och då kan en uppkörning sättas upp relativt enkelt. Ett fordon som ska klara en mer komplex trafikmiljö och kunna ta fler beslut kräver således en mer omfattande uppkörning. För att kunna säkerställa att ett AD-fordon har en viss nivå skulle man som provbana kunna sätta upp ett testscenario som ska klaras av. Detta scenario bör innehålla representativa aktiviteter, tex stanna för framförvarande objekt, kunna hantera väjningsplikt, läsa av hastigheter och kunna nödstoppas för att nämna några exempel. Klarar fordonet denna uppkörning kan provbanan godkänna fordonet för blandad trafik. Risken är dock att fordonen utformas för att klara testet och därmed begränsas därefter. I framtagandet av ett sådant scenario behöver en omfattande riskbedömning göras ur ett allmänt perspektiv. Viktigt är också att involvera tillräckligt många olika personer för att täcka in så många kompetenser som möjligt i en sådan riskbedömning. Även detta hanteras inom AAETT-projektet som är i ansökningsfas hos FFI.

Den svenska ansökningsprocessen för att få tillstånd att köra AD-fordon på allmän väg har vissa liknelser med provbanans boknings- och godkännandeprocess. Man ska till exempel beskriva testet, ansvar inom testteamet och ha genomfört en riskanalys. Transportstyrelsen kan sedan utfärda två olika tillstånd, ett för fordonet och ett för testet. De som utför tester på allmän väg skall årligen lämna en händelserapport samt rapportera in incidenter till Transportstyrelsen. Om detta är offentliga handlingar kan de ligga till grund för fortsatt arbete på provbana med att tex utforma eller vidareutveckla en uppkörningsrutt. Då lär man av incidenter som händer i verkligheten och som man kanske har missat i såväl utvecklingsarbete som i godkännandeprocess.

## 8.3 Testteamets sammansättning

Testteamet runt ett AD-fordon ser normalt annorlunda ut än ett konventionellt testteam. Vi kan identifiera roller som testledare, operatör, säkerhetsförare och mjukvaruutvecklare. Som testbana har vi sett att det är viktigt för oss att veta vem som har vilken roll inom teamet och hur ansvarsfördelningen ser ut.

Inom arbetsgruppen har det diskuterats vilka kompetenskrav som ska ställas på de olika rollerna. Ett körkort och en testförarlicens är inte längre en garanti för att man har kompetens nog. När man gör denna kompetensbedömning behöver både person, provmetod och provobjekt vävas in. Utöver detta kommer ansvarsfrågan, vem bedömer att medlemmarna är tillräckligt kompetenta, erfarna och alerta?

Bedömningen görs rimligen utifrån:

- Grundkunskaper autonom testning. Kvalificeringsprocess.
- Förarerfarenhet
- System- och funktionskunskap
- Kunskap om testet
- Kunskap om banan
- Språkkunskaper
- Självkännedom om personliga begränsningar, öppet klimat nog för att tala om det?
- Regler för att hålla personal alert
- Rutiner för kommunikation inom teamet och med testbanan
- Regler för personlig skyddsutrustning
- Regler för förarträning
- Är teamet relevant sammansatt? Är det tillräckligt?

Det är väldigt viktigt att test teamet har tillräcklig utbildning och kunskap om det fordon och det test som ska köras. När man gör ändringar som skapar nya förutsättningar måste en ny genomgång hållas. Teamet bör ha en process för informationsutbyte.

## 8.4 Slutsatser från riskanalysarbete

### Allmänt om riskanalysarbetet

Det har i studerade fall visat sig att det är svårt att fånga upp samtliga risker inledningsvis varför ett kontinuerligt riskanalysarbete måste till i ett utvecklingsprojekt. Riskanalys av den mer omfattande varianten bör göras uppdelad på flera tillfällen. Enklare åtgärder kan under arbetets gång vidtas och lämna fokus till svårare punkter. När riskanalysen får vila mellan tillfällena dyker nya tankegångar och aspekter upp. När man är klar för stunden ska man besluta om uppföljning. Man bör också diskutera vad som kan föranleda en uppföljning eller ny riskanalys såsom långledighet, demo, personalomsättning, ändringar i fordon eller miljö.

Olika människor har olika perspektiv, kompetenser och erfarenheter. Därför är det viktigt att gruppen som ska göra riskanalysen sätts samman så att man täcker in ett så stort område som möjligt. Det kan tex vara lämpligt att ta med underleverantörer av system, sensorer mm. Fordonet och testet ska dock alltid verifieras som helhet. För att arbetet ska fungera måste gruppen ha ett öppet klimat där det är ok att ställa frågor och våga visa sin okunskap. Arbetssättet måste vara pragmatiskt och lösningsorienterat.

Till en början bör man specificera vad riskanalysen omfattar. Vilket fordon, vilken version, vilken plats, vilka personer, vilka väderförhållanden etc. Om fordonet är av sådan karaktär att den kan köras med eller utan säkerhetsförare bör två separata riskanalyser göras.

En riskanalysmodell där man efter åtgärd på nytt bedömer risk och sannolikhet har i studerade case varit tydliga och pedagogiska.

### Specifika frågeställningar och lärdomar

En av provbanans viktigaste källor till kompetens och erfarenhet när det gäller självkörande fordon är att delta i kundernas riskanalyser. Varje riskanalys har byggt kunskap inom såväl AstaZeros som kundernas organisation.

Förändringar i fordon bör göras i form av releaser istället för kontinuerliga småändringar. Testledare säkerställer att ansvarig för releasen samt rätt personer är med vid första körning. Vidare säkerställer testledare att inblandade personer får information om ändringar. Hur fångar man upp en felaktig reaktion efter nedladdning av ny mjukvara? Hur verifierar man innan man kör på bana? Hur denna egenkontroll ser ut är en viktig fråga.

Vad händer vid en cyberattack? Det kan även vara en intern attack om någon i teamet råkar komma åt något kritiskt inför eller under körning.

Två användbara frågor vid riskutvärdering är "Hur fungerar det egentligen?" och "Vad är det som kan generera fel?"

Nödstopp, vad finns och hur fungerar det? Förklara hur och säkra att...

Rengöring av sensorer. Hur görs detta och hur säkerställs att det görs i ett okritiskt ögonblick. Fordonet tappar sikten under några sekunder under spolning.

Hur reagerar fordonen i autonomt läge/i normal läge? Hur indikeras AD mode för föraren? Hur indikeras AD mode utanför fordonet?

Hur ser förarmiljön ut? Hur länge får en säkerhetsförare jobba åt gången? Vilken information har föraren fått? Hur kan hen förvänta sig att fordonet agerar? Hur ska föraren agera i olika situationer? Hur säkerställer man att förare har tillräcklig kunskap, alerthet och information under projektets löptid? Sker förändringar i fordon eller miljö som påverkar föraren? Utbildning ses som en lösning för många punkter i riskanalyserna.

Ta bort överraskningar. Alla inblandade ska veta vad som ska hända. Övervakare ska veta vad som ska hända. Då kan man snabbt agera och vidta åtgärder för att förhindra eller mildra olycka. Om man stänger av när man tar paus undviker man att olyckor sker när ingen är beredd.

Hur hitta en relevant nivå? Försök att hitta samband. Hur hänger olika saker ihop? Orsaksanalysera. Lyft blicken och se den stora bilden. Problemet är kanske inte en specifik backe utan hur banunderhållet utförs. En liten grop kanske har sällskap av fler eller värre diken?

Mjukvara som inte integrerar med varandra. Prioritera systemet. Tex AD, broms/styrning, drivlina. Hur verifiera att det funkar?

## 8.5 Provbansans ansvar

I diskussionerna inom arbetsgruppen har provbanorna haft svårt att enas om ansvarsfrågan. Se 6.4. Inledningsvis hade vi testfordon, testutrustning, personal och testmetod som utgångsläge för diskussionerna. Vi valde att undanta testmiljön eftersom den skiljer sig från bana till bana. Slutligen kunde vi konstatera att provmiljön är det enda alla är 100 % ansvariga för. Detta kan möjligen bli problematiskt för den enskilde provutföraren om olika testbanor tar olika ansvar för säkerhetsfrågor. Om man på AstaZero engagerar sig i riskanalysen och ställer en massa kontrollfrågor fråntas inte kunden från ansvar för sitt eget prov och fordon. Däremot kan risker elimineras om fler parter arbetar tillsammans med tex riskanalysen. Vissa provbanor hävdar att de genom att tex godkänna ett fordon därmed tar över ansvaret för den. Organisatoriskt och legalt finns det skillnader provbanorna emellan som måste beaktas och respekteras.

## 9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Denna förstudie har genomförts av AstaZero, kontaktperson Jenny Viklund, 010-516 61 49, [jenny.viklund@astazero.com](mailto:jenny.viklund@astazero.com)

Ett stort tack riktas till följande parter som frikostigt delat med sig av erfarenheter

Einride

Nobina

Transportstyrelsen

Jaguar Landrover

Volvo Cars

AB Volvo

Arbetsgruppen med deltagare från EPGSA, Volvo Cars, Volvo Group Truck Technology, Porsche Engineering och Einride

# Bilaga 1: Safe automated vehicle testing on proving grounds – supporting/inspiration document



## Introduction

This document is intended to be used as a supporting and inspiring document for proving grounds creating risk assessments and regulations related to automated driving (AD) tests. The document has been produced in collaboration between European proving grounds to increase safety due to AD testing and also to promote harmonized regulations and demands. The document is a result from two workshops and further processing. It could not at all be considered as an overall covering list of risks. The purpose of the document is to expose the known risks until today to prevent accidents. It is of most importance to know that proving grounds operate on different conditions. The question of responsibility is widely different from the proving ground only selling exclusive track slots, to the one operating AD vehicles with own personnel in mixed traffic. Since the proving grounds are situated in different nations, they also have a different laws to follow. Hopefully each proving ground can find their own share of the document to pick and implement in the daily processes.

In the matrix below four categories of aspects are presented. While setting regulations and risk assessments, each one of the categories should be considered. In this document a number of questions and checkpoints are listed to support the proving grounds. Used as a checklist or inspiration it can contribute to improve the risk management of the proving grounds.

### Categories of safety aspects to consider

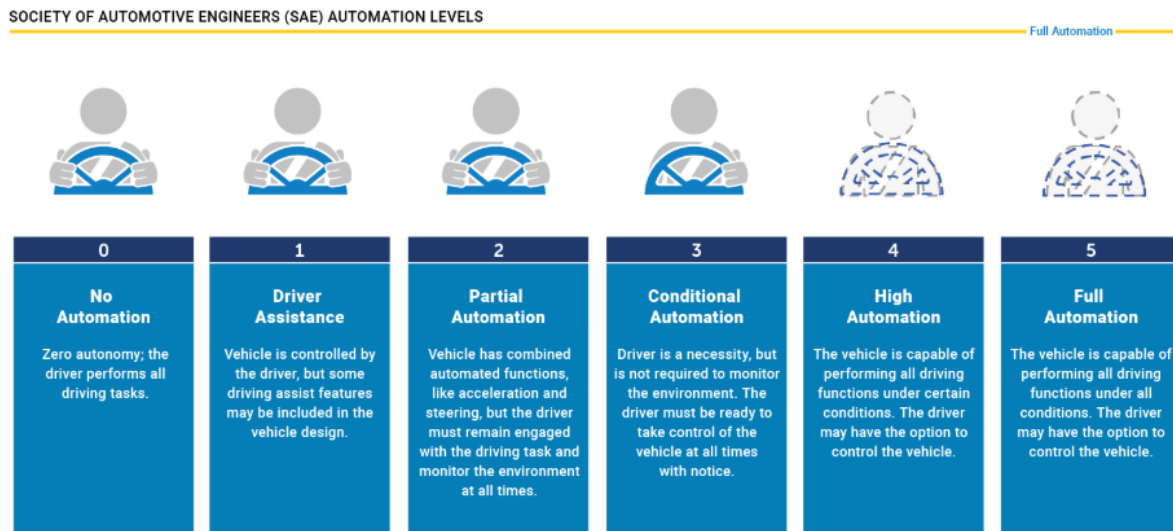
<b>Test method</b>	<b>Test performer</b>
<b>Test vehicle and equipment</b>	<b>Test environment</b>

## Definitions of automation

There are several types of automation to consider. One is when automation system is integrated into the vehicle and one is when automation functions like a steering robot are added on the vehicle. We also have autonomous unmanned objects like Global Vehicle Targets (GVT).

### Vehicles with an integrated automated system.

One definition of automation levels in vehicles is done by SAE and widely used in the automation industry. The figure below is illustrated and wider described by NHTSA.



#### LEVELS OF AUTOMATION

#### WHO DOES WHAT, WHEN

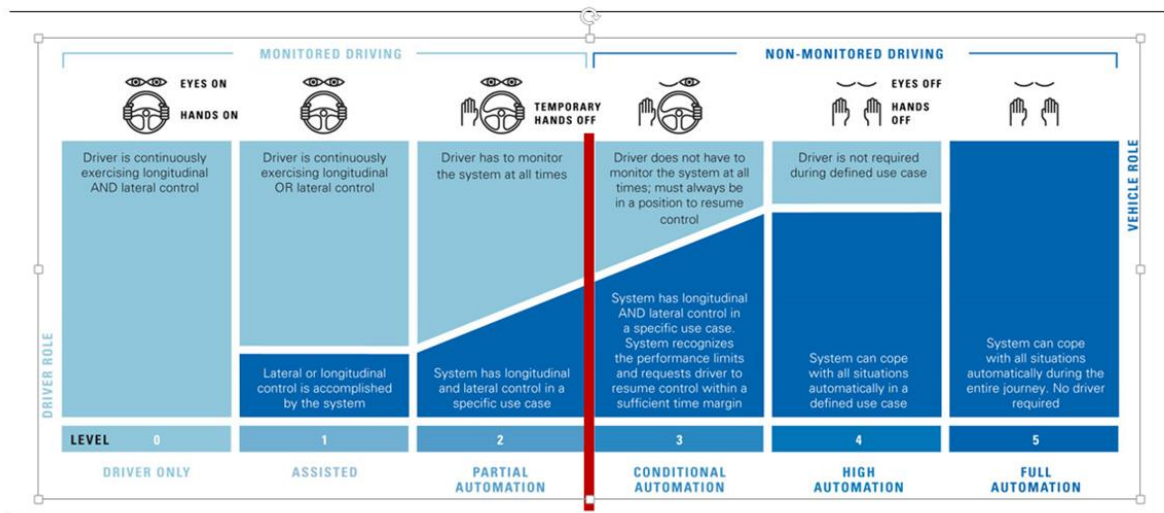
<b>Level 0</b>	The human driver does all the driving.
<b>Level 1</b>	An advanced driver assistance system (ADAS) on the vehicle can sometimes assist the human driver with either steering or braking/accelerating, but not both simultaneously.
<b>Level 2</b>	An advanced driver assistance system (ADAS) on the vehicle can itself actually control both steering and braking/accelerating simultaneously under some circumstances. The human driver must continue to pay full attention ("monitor the driving environment") at all times and perform the rest of the driving task.
<b>Level 3</b>	An Automated Driving System (ADS) on the vehicle can itself perform all aspects of the driving task under some circumstances. In those circumstances, the human driver must be ready to take back control at any time when the ADS requests the human driver to do so. In all other circumstances, the human driver performs the driving task.
<b>Level 4</b>	An Automated Driving System (ADS) on the vehicle can itself perform all driving tasks and monitor the driving environment – essentially, do all the driving – in certain circumstances. The human need not pay attention in those circumstances.
<b>Level 5</b>	An Automated Driving System (ADS) on the vehicle can do all the driving in all circumstances. The human occupants are just passengers and need never be involved in driving.

Source: [www.nhtsa.gov](http://www.nhtsa.gov)



In the figure below this concept is developed and the driver's and system's roles are distinguished.

# LEVELS OF AUTONOMOUS DRIVING



Source: Volvo Car Corporation

## Add-on of automation functions

Even if the vehicle is defined according to the SAE levels the automation level can change if you add test equipment. For example, if you add a steering robot to a level 0 car the total vehicle test setup will advance to level 1, if you also add a pedal robot the level will be 2.

The add on equipment can be provided from known supplier. It can also be self-built and in an experimental mode. The status of the add-on equipment will probably affect the risk assessment and actions taken by the proving ground to operate the test safely.

## Autonomous unmanned objects (like GVTs)

A moving platform can cause severe damage if the team loses control of the object or if someone gets in the way. This needs to be considered in the risk assessments as well.

## Test method

Test method	Test performer
Test vehicle and equipment	Test environment

When considering safety aspects for AD test methods, in many cases they are similar to those of manually driven tests. The normal procedure can be used with some additions. In this part some examples are given. Several of the examples are further processed later in the document.

## Test procedure

- Number of involved moving vehicles and test objects

- Safety driver onboard?
- Test speed
- Heavy accelerations
- Avoidance maneuvers
- Braking
- Mode of control. Steering/throttle/brake.
- Driving in one direction or bi direction
- Plan/rule for supervision
- Dependent of external systems like communication systems, 4G e.g?
- How to abort the test
- Risk for lack of attention? Logging e.g.
- Risks? Possible to minimize them? Restrictions?

#### **Equipment**

- Equipment in vehicle (See further in the document)
- Targets
- Traffic lights
- Traffic signs
- Is the system depending on road markings and signs? (input data needed)

#### **The humans (See further in the document)**

- People walking in the test area?
- Visitors or external parties?
- Who is involved in the test, which roles are given and where are the humans located?
- Who is responsible/test leader, does it change over time?
- Communications within the team/teams needed?

#### **Test environment (See further in the document)**

- Test track needed
- Mixed traffic or exclusive?
- Road conditions
- Weather conditions
- Light conditions
- Test objects in the surroundings like buildings
- Safety ranges to e.g. barriers, test objects, complex scenarios,

#### **Causality**

- What happens if one of the vehicles does an emergency stops or does an escape maneuver?
- What happens if foreign objects appear into the actual test area?
- How could the vehicle hit somebody or something?
- Other risks

#### **Function test**

- How to perform functional check prior to start testing?
- Functional check should be performed in a lower (safe) speed. What is a safe speed in this context?

## Test vehicle and equipment

Test method	Test performer
Test vehicle and equipment	Test environment

### Autonomous test vehicle

*Who is responsible for the test vehicle?*

The question should always be asked. The responsibility may differ from various points of view. Within the test team? For hardware? For software releases? When driven? In relation to other test objects and test teams? Which responsibility has the proving ground?

### Vehicle type

Is the vehicle a modified production vehicle? If yes, what is modified and what is the risk by having this modified?

- If braking system is modified and a part of the AD solution, how is the redundancy in the braking system solved?
- If electric braking fails, how is the braking done?
- Steering system. Solution for taking over a redundant steering?
- Function ECU (Electronic Control Unit), Software version and control, (ADAS)
- Engine control unit (Propulsion system)
- Power supply system (control unit)
- Torque control
- In vehicle network (CAN etc.)
- Sensors
- V2V functions
- V2X functions
- Load
- Insurance
- What else do we need to know about the vehicle type?

If heavy goods vehicle, in which vehicle combination will the tests be performed? Weight/load? How does this effect the test?

How to transfer a vehicle to the test track if there is no possibility to manually drive the vehicle? Not safe enough for mixed traffic? Consider trailer transport to the actual test track.

### Automation system

Which definition of automation level can be stated for the vehicle?

#### Information about the automation system

- Safety driver in the vehicle? yes/no
- Safety driver monitoring outside the vehicle? yes/no
- Redundancy of the control system?
- Integrated system, controlled by using vehicle network?
- Maximum forward speed?
- Acceleration speed, reaction?
- Minimum turning radius.
- Maximum lateral acceleration?
- Maximum steering torque?
- Connectivity needed, what happens if you have a poor connection?
- How does weather and light conditions affect the vehicle? Situations when tests must be stopped?

- Limitations of traffic environment?
- Capability/performance?
- Delimitations of capability and performance?
- Error/faults handling, what happens if.....
- Signalization for a safe approach? If accident, how to know that rescue vehicle/staff can safely approach?
- What else do we need to know about the automation system?

#### **Safety driver/operator interface**

- Safety driver information, how is “AD on/off” communicated to the safety driver? How is system state and presence of faults communicated?
- Operator HMI. Control system visualization and monitoring. How does it work?
- If operator, is it a range limit for using the interface? How long?
- What happens if contact is lost in between interface (operator) and vehicle?

#### **Override system and emergency stop**

Here we need to keep the concepts apart. We have emergency stops (e-stops) which lead the vehicles to a standstill. We also have the override system that makes a transition between automated and manual modes or vice versa. The safety driver can take over the control over the vehicle and avoid the dangerous situation by braking and/or steering away.

- Description of override system, how does it work? Does the interface allow corrective actions and emergency actions? How? Risks?
- It's preferable that the safety driver can turn off the automation system ideally using some of the standard vehicle interfaces like steering wheel, buttons, brake pedals etc. If a special switch which is outside the normal reaction of the safety driver, this need to be fixed and easy to reach. The position of the switch should if possible be the same from installation to installation (company policy?) Also make sure that the switch cannot be unintentionally used.
- How to make safe e-stops in various situations? Does it differ from various speed, if persons onboard e.g.? How is it tested and validated? Risks of making an e-stop?
- If all power will go off – will the e-stop work?
- Is the safety driver/operator familiar with the e-stop and/or the transition from auto to manual handover? Is it practiced?

#### **Functions updates/changes**

- How to ensure that function updates/changes work as intended? Need of pretesting? How does the work process look like?
- Are you planning to do updates while testing? How does the work process look like?
- Are all teams and members understood with the new functionality? How is communication done and secured?
- What risks do you as a customer see with this new function level?

#### **Function test**

- How to perform functional check prior to start testing (to be aware of the system behavior)? Need of a checklist?
- Functional check should be performed in a lower (safe) speed. What is a safe speed in this context?

#### **Labelling of autonomous vehicle**

The purpose of labelling autonomous vehicles is to make others on the test track aware that there is no human driver inside. An autonomous vehicle is likely not more unpredictable than a manually driven vehicle, but still, there is good to know for other testers. If there is a safety driver onboard, he/she can take control of the vehicle at any time. Based on this reasoning the label should be on autonomous vehicles without safety driver. Platforms and test targets like a GVT don't need signs.

It has been discussed whether to put a light on the autonomous vehicles or not, but the proving grounds have not agreed on this. Flashing lights might have a disturbance on sensors. There is also a risk that the lights won't work and therefore might cause critical incidents itself.

Lights are frequently used on proving grounds and are signified with a rule or a “what to do”. For example, a yellow flashing light in the front means that other vehicles should move away from the lane. Since a light on an autonomous vehicle won't have this kind of relation it might perceive as confusing or just unnecessary.

A fluorescent decal like below can be used to label autonomous vehicles with no safety driver onboard. Depending on which test track the vehicle is using the placement of the decal can vary. For example, there is no need for side decals at a high speed oval.

Note! If an accident occurs, it is of utmost importance that the rescue staff know if there is a person onboard or not. Even a driverless vehicle could have human passengers inside. The proving ground need to ensure a process to handle cases like that.



### **Test equipment**

We can see an increasing amount of test equipment in the vehicles. There is limited space left for the test driver which is a risk itself. It also leads to decreased work environment (ergonomic and hazardous). Sometimes safety systems and airbags are disconnected as well. This is important aspects to consider in the risk assessments. Test equipment should be considered in risk analysis and may also be checked by proving ground staff before start of test. The customer is although always responsible for their equipment and installations. As a proving ground it might be a good idea to have a look, not to approve the settings but to have a safety related dialogue and also gain knowledge and reduce risks. There is also a difference in maturity between the testteams. Less experienced teams can make a great profit out from a safety check.

### **Safety aspects to consider**

#### **Test equipment provided by supplier**

- Is the installation done according to the supplier instructions? If no, what is different? Why?
- What risks are identified by the supplier/operation manual and how are these handled?

#### **Self-built test equipment**

- How is it working?
- What risks are identified and how are these handled? How is it made safe to use?

#### **Installation**

- Wiring integrated into the vehicle? Any risk for detangling or unexpected discontact?
- Load securing?
- Sharp edges close to the safety driver seat?
- Does the installation reduce the safety driver view?
- Does the test equipment influence the drivability of the vehicle?
- Will the installation effect the dynamic of the vehicle?
- Does the installation interfere with possibility to reach the decommission?
- Workload to operate the equipment, risk of distraction?
- Safety systems in vehicle deactivated?
- Fault injection? What happens if?
- Loose objects?
- Ergonomic aspects
- Other?

#### **Function test**

- How to perform functional check prior to start testing?
- Functional check should be performed in a lower (safe) speed. What is a safe speed in this context?

## Test performer

Test method	Test performer
Test vehicle and equipment	Test environment

When it comes to AD testing the test team normally looks different from conventional test teams. We no longer have a driver, instead we have a safety driver or an operator.

### Safety driver

A safety driver is situated inside the vehicle, in the driver's seat, and can take control over of the vehicle at any time.

### Operator

An operator is driving or monitoring from outside the vehicle. The ability to take over the vehicle may differ from case to case. For instant if the vehicle can be switched from AD mode to remote steering. The operator should be able to override automated operation of the vehicle at any time.

### The AD team and the contact with dispatcher

The team is likely to at least contain a test leader, a safety driver/operator and software developers. It is important for the proving ground to find out who is the test leader and who is the operator/safety driver. The dispatcher must know who to contact in any cases, for instant can it be several safety drivers for one day?

### Status and qualifications of test performer

- Minimum skill level for autonomous driving. Qualification procedure.
- Driving experience
- System and function knowledge
- Test knowledges
- Track knowledges
- Language skills
- Self-awareness of own limitations. Open climate enough to tell others?
- Rules for driving duration for staying alert
- Routines for communication with the team and the proving ground control
- Rules for personal protective equipment
- Rules for driver training
- Is the team appropriately staffed for safe AD testing?

## Test environment

Test method	Test Performer
Test vehicle and equipment	<b>Test environment</b>

Since the test environments differ from each proving ground these aspects are only briefly handled in this document. Nevertheless, the proving grounds need to evaluate all local risks and take necessary actions. All proving grounds are fully responsible for the test environment.

Is it a difference in offering tracks for AD testing in relation to manual testing? In both scenarios the proving ground facilitates the customers' need and requirement. In both scenarios the proving ground demands a risk assessment and takes actions out of the result. The proving ground has to make sure the risk assessment is addressing all critical points. A risk assessment can still never be totally comprehensive! It should always have a "What else?" bullet.

### The proving grounds need to consider

- Which tracks are suitable for AD? Which are not?
- What scene is needed for the test? Tracks needed? Test specific installations/equipment? Can we offer a safe track?
- Actions due to safety needed?
- Infrastructure related actions needed?
- Regulations or limitations needed for AD testing?
- Safe place for the humans? Installations needed? Do not create false safety zones like a concrete barrier that actually doesn't hold vehicles.
- If different actors, proving ground needs to take responsibility for coordination. Need for more collaboration and sharing of information. If exclusive use, no problem.
- Consequences in case of a failure?
- ...

*Be careful to take control over others' tests. Tester is always responsible.*

## Participating parties

AstaZero  
Volvo Car Corporation  
Volvo Group Trucks Technology  
Einride  
Aldenhoven Testing Center  
ATP Automotive Testing Papenburg GmbH  
Nardò Technical Center  
Porsche Engineering GmbH  
Continental Corporation  
Applus+ IDIADA  
BMW  
Bosch  
Bridgestone  
Dekra  
Millbrook  
Nami  
RDW