

# Utmaningar för autonoma fordon i vägtrafik

Linus Kvikant

April 2019

## **Sammanfattning**

Avhandlingen ger en överblick över de utmaningar som finns inom autonoma fordon och specifikt redogöra det tekniska utmaningarna samt de föreslagna lösningarna som behövs för att autonoma fordon skall kunna röra sig säkert i trafiken.

## Innehåll

1.1	Inledning . . . . .	1
1.2	Historisk överblick . . . . .	1
1.3	Grader av automation . . . . .	2
1.3.1	SAE:s nivåer av automation . . . . .	2
1.3.2	De icke-autonoma nivåerna . . . . .	2
1.3.3	De autonoma nivåerna . . . . .	3
1.3.4	Nivån av automation idag . . . . .	3
1.3.5	Diskussion kring steget från Level 2 till Level 3 . . . . .	4
1.3.6	Nivån i framtiden . . . . .	4
1.4	Fordonets uppfattning av omgivningen . . . . .	4
1.4.1	Kamera . . . . .	4
1.4.2	Lidar . . . . .	5
1.4.3	Radar . . . . .	5
1.4.4	Ultraljud . . . . .	6
1.4.5	Sensor Fusion . . . . .	6
1.5	Lokalisering och Kartläggning . . . . .	7
1.6	Kontext inom trafiken . . . . .	7
1.7	Etisk aspekt . . . . .	7
1.8	Kommunikation mellan fordon . . . . .	9
1.8.1	DSRC . . . . .	9
1.8.2	LTE V2X . . . . .	10
1.9	Juridisk aspekt . . . . .	10
1.10	Säkerhet . . . . .	10
1.11	Avslutning . . . . .	10
	Litteraturförteckning . . . . .	11

## 1.1 Inledning

*# Varför är ämnet värt att undersöka?*

*# Vad handlar ämnet om?*

*# Vad kommer inte att behandlas i avhandlingen? Varför?*

*“Road traffic is a self-organizing, chaotic system that, although it is fundamentally governed by rules, includes many situations for which unambiguous rules cannot be determined.” -Berthold Färber*

## 1.2 Historisk överblick

Drömmen om en bil som kör sig själv är inte ny. Den tyska författaren Werner Illing beskrev redan på 1930-talet i *Utopolis* en bil som inte behövde en förare och som hade en metallplatta med en karta där man kunde placera en pil till den önskade destinationen [1].

På 1970-talet hade man en vision om att fordonen skulle styras med en ledningstråd inne i vägen (guide-wire) som skulle styra fordonets riktning och hastighet. Man motiverade styrningen med att det skulle förhindra dödsfallen som orsakades av mänskliga fel. Man kom sedan fram till att trafik nätverk med ledningstråd inte var genomförbart ur en ekonomisk och teknisk synvinkel. Istället började man fokusera på automation som inte krävde stora investeringar i ny infrastruktur [1].

Ernst Dickmanns från University of Munich anses vara en pionjär inom utvecklandet av autonoma fordon. Han lyckades utveckla ett system som kunde köra en modifierad Mercedes-Benz W140 S-Class från Munchen till Köpenhamn 1995. Det var det första fordonet som använde en digitala processorer och kameror för att autonomt köra i trafik. Fordonet kunde dock endast köra på motorvägar och sträckan från Munchen till Odense uppgavs vara körd 95% autonomt [2], [3]. Samtidigt lyckades Carnegie Mellon Universitys NavLab utveckla ett fordon som kunde köra från Pittsburgh till San Diego. Liksom Dickmanns Mercedes kunde systemet styra fordonet på basis av bilder tagna av kameror som fanns på fordonet, men NavLabs fordon krävde att en människa

hanterade accelerationen och bromsningen. År 1998 lyckades University of Parma i Italien köra en Lancia Thema 2000 km i Italien enbart med hjälp kamerabaserad datorsyn. De här projekten, bland andra, gjorde att man helt frångick tanken om att fordonen skulle styras med någon form av infrastruktur, utan istället satsade på att autonoma fordon skulle med hjälp av datorsyn köra på samma vägar som man alltid kört på [1].

## 1.3 Grader av automation

### 1.3.1 SAE:s nivåer av automation

SAE International (tidigare Society of Automotive Engineers) är en organisation som gett ut en standard, SAE J3016, som definierar olika nivåer av autonomi hos fordon. År 2016 NHTSA införde (United States National Highway Traffic safety Administration) denna standard för autonoma fordon [4]. Standarden definierar en skala av autonomi för vägfordon, från Level 0 för ingen automation till Level 5 för full automation [5], [6].

### 1.3.2 De icke-autonoma nivåerna

Level 0, Level 1 och Level 2 är icke-autonoma nivåer, d.v.s människan har fullt ansvar över fordonet, även om förarens fötter inte behöver vara på pedalerna eller förarens händerna på ratten. Den mänskliga föraren måste också alltid ha möjlighet styra, bromsa och accelerera för att upprätthålla en säker resa. Till Level 0 hör assisterande funktioner som är begränsade till varningar och momentana hjälpfunktioner som ABS eller varning för andra fordon i sidospeglens döda vinkel. Till Level 1 hör funktioner som assisterar föraren med styrning **eller** acceleration/bromsning. I [6] ges som exempel AAC (adaptiva farthållare) eller LKA (avåkningsvarnare). Om fordonet har funktioner som assisterar med styrning **och** acceleration/inbromsning klassas det som ett Level 2 fordon.[5], [6]

### 1.3.3 De autonoma nivåerna

Level 3, Level 4 och Level 5 är autonoma nivåer, det betyder att när ADS:n är påkopplad är det systemet som är ansvarig för fordonet, även om någon skulle sitta i förarsätet. Level 3 betyder att fordonet kan köra sig själv men kräver att en mänsklig förare övervakar och att personen kan återuppta körandet när systemet anser att det är nödvändigt. Level 4 betyder att systemet inte behöver en mänsklig övervakare och systemet själv kan köra sig till ett säkert tillstånd när det uppstår situationer systemet inte klarar av. Ett exempel är en ADS som kan köra på motorvägar utan övervakning men kräver att mänsklig förare tar över då fordonet skall svänga bort. Ifall den mänskliga föraren inte tar över skall en Level 4 ADS själv kunna köra till ett säkert ställe, för att vänta på att en människa tar över, t.e.x. närmaste bensinstation eller busshållplats. En Level 5 ADS är ett system som inte behöver be om hjälp av en mänsklig förare, utan klarar av att köra helt autonomt i alla förhållanden. En Level 4 eller Level 5 ADS behöver dessutom inte genast ge tillbaka kontrollen till en mänsklig förare ifall den avgör att det inte är ett säkert läge att göra så.[5], [6]

### 1.3.4 Nivån av automation idag

Idag finns det flera bilar som klassas som Level 2 fordon, d.v.s de är utrustade med både ACC och LKA. Level 3 fordon finns det däremot inte. Audi hade tidigare meddelat att deras nya A8 skulle lanseras 2019 med en Level 3 ADS för trafikstockningar (Traffic Jam Pilot), men Audi säger att på grund av juridiska problem var det inte möjligt [7]. Det mest kända autonoma systemet idag är Teslas Autopilot. Man skulle kunna argumentera för att Teslas ADS är ett Level 3 system, men eftersom systemet inte klarar själv av att avgöra när en mänsklig förare måste ingripa [8], så täcker Autopilot endast kriterierna för Level 2 autonomi.

General Motors (GM) släppte 2018 sin SuperCruise ADS vilket marknadsfördes som ett "hands-off" system. SuperCruise kan endast aktiveras för specifika landsvägar som GM på förhand har bestämt. SuperCruise fyller inte heller kriterierna för Level 3 eftersom systemet kräver att föraren alltid har sin

uppmärksamhet på vägen [9].

### 1.3.5 Diskussion kring steget från Level 2 till Level 3

Steget från Level 2 till Level 3 flyttar ansvaret från människan till det autonoma systemet, tills systemet vid t.e.x. nödfall kräver människan skall ta över igen. Vem är då egentligen som har ansvaret för fordonet? Hur lång är en rimlig tid för att en människa skall hinna reagera, analysera situationen och sedan göra ett beslut över åtgärd som skall göras?

### 1.3.6 Nivån i framtiden

*# När förväntas man uppnå full automation?*

*# Tekniska utmaningar*

*# Vilka tekniska aspekter behöver utvecklas för att nå full automation?*

## 1.4 Fordonets uppfattning av omgivningen

För att ett fordon skall kunna köra autonomt krävs att det, liksom människor, kan observera miljön det befinner sig i. Generellt inom robotiken används olika typer kameror och sensorer för att få övergripande bild av omgivningen. De två mest använda sensorerna inom autonoma fordon är kamera och lidar. Förutom dem används också radar och ultraljudssensorer. För att nå full automation krävs det grovt taget att fordonet åtminstone kan göra likadana observationer som människor kan och att de kan göra dem i likadana väderförhållanden.

### 1.4.1 Kamera

Fördelar med att använda traditionella kameror i trafiken är att de är relativt billiga, de kan användas på långa avstånd och bilderna från kamerorna kan användas för igenkänning och segmentering. Dessutom är trafiksystemet vi har idag specifikt designat för människans syn. Däremot är kameror inte bra på att avgöra avståndet till en viss punkt i bilden. Kameror måste också regelbundet kalibreras och deras förmåga att ta bilder försämras också i dåliga väderförhållanden [10].

Det är värt att notera att Teslas Motors använder endast en kombination av kameror och radar för att uppfatta omgivningen. Teslas vd. Elon Musk sade i ett TED talk 2017: “När man löst datorsyn med kameror (eller med synförmåga) så är automation löst... Man kan definitivt vara övermänsklig med enbart kameror”[11]. Christian Häne et. al. beskriver i [12] ett sätt att få syn runt hela fordonet m.h.a. ett multikamera system med “fish-eye” linser.

### 1.4.2 Lidar

Lidar är ett sammansatt ord av “light and radar”, men används också som förkortning för “Light Detection and Ranging”. Det är en sensor som skickar lju-simpulser, mer specifikt laserimpulser, mot omgivningen för att sedan analysera den reflekterade impulsen, på det sättas kan avståndet till objektet beräknas [13]. I praktiken har man en snurrande spegel som sprider ut impulserna runt hela fordonet för att generera en sk. “point cloud”, d.v.s. en samling av punkter som tillsammans utgör en 3D karta [Källa]. Lidar möjliggör ett bättre djupseende än en kamera och fungerar bättre än kamera i dåliga väderförhållanden som regn och mörker. Lidar är däremot inte lika bra på objekt-igenkänning jämfört med kamera, eftersom lidar inte kan urskilja färger i sin omgivning, t.ex. två objekt som är fast i varandra skulle se ut som ett objekt för en lidar. En annan nackdel med lidar är att sensorerna ännu är relativt dyra. Enligt Jianfeng Zhao et. al. använde Google år 2017 i sina autonoma fordon en Velodyne HDL-64E 3D lidar vars pris är ungefär 80 000 dollar. Sedan dess har Velodyne gjort low- och mid-end versioner till ett betydligt lägre pris [14]. Den längsta räckvidden för lidar som Velodyne marknadsför är 300 meter för sin Alpha Puck (tidigare VLS-128) [15].

[<https://medium.com/@mapanauta/how-lidar-works-and-why-its-an-essential-component-of-autonomous-vehicles-de9222f1ec5d>]

### 1.4.3 Radar

Radar en gammal teknik, men används också inom autonoma fordon, främst för att mäta avståndet till fordonet framför. Radar fungerar genom att radiovåg skickas ut med en sändare och den reflekterade vågen analyseras med en motta-

gare. Till skillnad från lidar är radar data inte lika precist men radar däremot har generellt en längre räckvidd än lidar och på det sättet komplementerar de varandra. Lång distans radar kan nå en räckvidd på 300m.

#### 1.4.4 Ultraljud

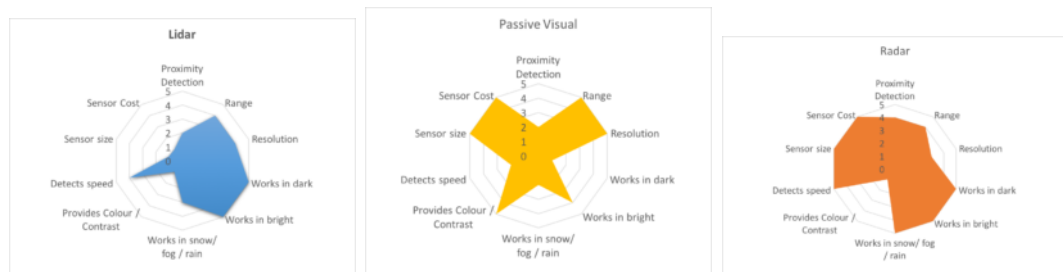
Man kan också skicka ut ljudvågor för att mäta avståndet till något objekt. Avståndet räknas ut genom skicka ut och ta emot ljudvågor med en frekvens som är för hög för människornas hörsel. Ultraljudsensorer har en kort räckvidd och används i parkeringsensorer.

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs40534-016-0117-3.pdf>

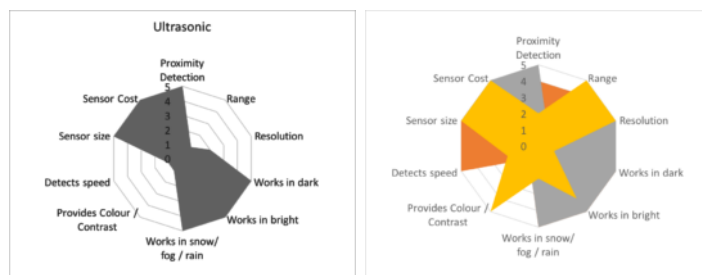
#### 1.4.5 Sensor Fusion

Människor är levande bevis på att mänsklig syn är tillräckligt för kunna köra säkert i trafiken. Det betyder att ett autonomt fordon skulle kunna klara sig på enbart kameror, vilket antagligen är Teslas tankesätt med tanke på att de valt att inte installera lidar i sina autonoma fordon. Problemet med tankesättet är att det antar att vi kan designa system som är lika bra som människor på att tolka bilder på omgivningen. För att få en så bra uppfattning av omgivning som möjligt krävs att man sammanbinder informationen som ges av olika typer av sensorer.

[<https://www.theverge.com/2018/2/7/16988628/elon-musk-lidar-self-driving-car-tesla>]







<https://futurama.io/sensor-fusion/>

## 1.5 Lokalisering och Kartläggning

Lokalisering betyder att reder ut var man befinner sig. Den vanligaste metoden för lokalisering är GPS, men precisionen från GPS är inte tillräckligt för att ett autonomt fordon. GPS kräver dessutom konstant signal till flera satelliter, vilket kan leda till att signalen försvinner i täta städer [<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs40534-016-0117-3.pdf>].

<http://www.computervisionblog.com/2016/01/why-slam-matters-future-of-real-time.html> <https://www.youtube.com/watch?v=1kel8U86EVE>

## 1.6 Kontext inom trafiken

*# Utmaningar gällande fordonets förmåga att fatta beslut.*

*# Hårda och flexibla regler.*

*# Hur kan fordonet "förstå" trafiken?*

*# Fordonets förmåga att göra mänskliga beslut.*

## 1.7 Etisk aspekt

Vissa olyckor är oundvikliga. Patrick Lin ger ett exempel i [källa]: ett fordon kör längs med en landsväg, mitt på vägen står en liten flicka och en gammal farmor. Fordonet hinner svänga till vänster för endast köra på flickan eller till höger för att endast träffa farmorn, fordonet kör en sådan hastighet att personen som träffas av fordonet helt säkert dör. Om fordonet inte svänger kommer bägge två att bli under bilen.

En människa har i en sådan situation en mycket kort tid på sig att reagera,

och kommer knappast att ställas till svars för valet som han eller hon gör, eftersom förarens beslut inte är ett kognitivt val, snarare en panikartad impuls. En mänsklig förare förväntas inte göra det mest etiska eller säkraste valet, vi inte har en tillräckligt snabb reaktionshastighet för att göra ett rationellt beslut. Däremot är en eller två sekunder en tillräckligt lång tid för att ett En ADS skall hinna reagera och göra ett beslut på basis av situationen [Källa]. Hur skall då en ADS programmeras för att hantera fordonet i situationen ovan? Det flesta människor skulle antagligen välja att rädda flickan eftersom hon är yngre och har en större del av sitt liv framför sig än farmorn. Patrick Lin skriver att det enligt IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) är ett fall av åldersdiskriminering, eftersom valet har gjorts enbart basis av ålder fastän det inte är relevant faktor, och därför är inte valet etiskt korrekt. Ett alternativ skulle vara att inte göra ett beslut alls, men att låta två personer dö istället för att undvika diskriminering verkar som det sämsta beslutet. Om man värdesätter mänskligt liv skulle det i så fall vara bättre att istället slumpmässigt välja ett offer. Enligt Lin finns det inget rätt svar på frågan, men han hävdar att det inte är helt etiskt korrekt att låta slumpen avgöra, när det ändå potentiellt finns relevanta aspekter man kan ta beaktande för att göra ett val. Man kan alltid undvika det etiska dilemman genom att ge kontrollen tillbaka till föraren, men för att nå full automation krävs ett bättre alternativ.

Ett annat exempel Lin för fram är en likadan situation som i exemplet ovan men istället för att välja mellan att köra över en flicka eller en farmor måste fordonet svänga för att kollidera med motorcyklist med hjälm eller kollidera med en motorcyklist utan hjälm. För fordonet spelar det knappast någon roll vem av motorcyklisterna som kolliderar med bilen men för motorcyklisterna är det fråga om liv och död. Om man väljer att värdera mänskligt liv över allt annat skulle man programmera fordonet att träffa den motorcyklisten med hjälm, eftersom den personen har större chans att överleva. Problemet är att fordonet då i princip bestraffar den motorcyklisten som har ansvarsfullt valt att lägga hjälmen på, om alla fordon skulle fungera på det här sättet skulle det antagligen var säkrare att köra motorcykel utan hjälm. Om fordonet istället skulle välja att kollidera med motorcyklisten utan hjälm så har det då aktivt

valt att ta ett liv som kanske skulle ha gått att räddas. Det här exemplet visar att det inte är självklart att fordon skall värdera liv framför allt annat.

Vad skall då fordonet värdera? En annan aktuell diskussion handlar om autonoma fordon skall prioritera den egna föraren eller utomstående personer i trafiken [[https://www.researchgate.net/publication/301293464\\_The\\_Social\\_Dilemma\\_of\\_Autonomous\\_Vehicles](https://www.researchgate.net/publication/301293464_The_Social_Dilemma_of_Autonomous_Vehicles)]. En i studie av Bonnefon et. al. frågades personer ifall de tycker att ett autonomt fordon borde offra föraren och/eller en passagerare för att rädda ett tio stycken fotgängare. Studien kom fram till att de flesta tyckte att fordonet borde handla utilitaristiskt d.v.s. rädda så många människor som möjligt. Deltagarna svarade ändå att de hellre skulle köpa ett fordon som räddar föraren och passageraren än ett fordon som istället räddar tio stycken fotgängare. Enligt Bonnefon et. al. kan de leda till att autonoma fordon som alltid handlar utilitaristiskt höjer tröskeln för konsumenterna att köpa autonoma fordon och på sätt hindra övergången till autonoma fordon. Det skulle leda till att det dör flera personer i icke-autonom trafik än antalet man räddar med utilitaristiska autonoma fordon.

## 1.8 Kommunikation mellan fordon

V2X är en term för att lätt referera till all kommunikation från ett visst fordon till ett annat system. Andra termer som ofta används är V2V (vehicle to Vehicle) för kommunikation mellan fordon och V2I (vehicle to infrastructure) för kommunikation mellan fordon och infrastruktur, t.e.x. trafikljus. V2D/V2P (vehicle to device/pedestrian) används för hänvisa till kommunikation mellan fordon och fotgängares smart-telefoner.

*# Är V2X nödvändigt?*

### 1.8.1 DSRC

USA:s Federal Communications Commission (FCC) reserverade 1999 en 75 MHz bandbredd vid 5,9 GHz för V2X kommunikation. DSRC (Dedicated short-range communications) är ett trådlös kommunikationsteknologi som baserar sig på IEEE 802.11p WIFI standarden. Standarden, även kallad Wave (1609

Wireless Access in Vehicular Environment), använder det givna intervallet. DSRC kommunikation kräver ingen extern server för att skicka data från ett fordon till ett annat. Signalerna skickas direkt från fordon till fordon vilket gör att latensen kan bli så låg som 10 millisekunder. I kina gjordes 2016 en studie där man jämförde DSRC med LTE för V2X kommunikation. Deras resultat visade att förhållandet mellan de mottagna och skickade nätverkspaket med DSRC sjönk drastiskt då avståndet mellan fordonen blev längre än 100 meter. [<https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1550147716671267>] [<https://www.auto-talks.com/technology/dsrc-technology/>]

### 1.8.2 LTE V2X

*# Hur fungerar V2X med mobilnät?*

## 1.9 Juridisk aspekt

### 1.10 Säkerhet

*# Redundanskrav för säkerhetssystem*

*# Vad skulle vara realistiska krav?*

*# Externa hot (cybersäkerhet)*

*# Risker kring uppkopplade fordon*

*# Befolkningens godkännande av autonoma fordon*

*# Hur påverkar folkets attityd utvecklingen av autonoma fordon?*

### 1.11 Avslutning

The key technology toward the self-driving car [<https://www.emeraldinsight.com/doi/full/10.1108/IJIUS-08-2017-0008>]

Advancements, prospects, and impacts of automated driving systems [<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2046043017300035>]

## Litteraturförteckning

- [1] F. Kröger, ”Automated Driving in Its Social, Historical and Cultural Contexts”, i *Autonomous Driving: Technical, Legal and Social Aspects*, M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz, och H. Winner, Red. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016, s. 41–68.
- [2] A. Oagana, ”A Short History of Mercedes-Benz Autonomous Driving Technology”, 2016. [Online]. Tillgänglig vid: <https://web.archive.org/web/20180921083254/https://www.autoevolution.com/news/a-short-history-of-mercedes-benz-autonomous-driving-technology-68148.html>. [Åtkomstdatum: 02-apr-2019].
- [3] J. Delcker, ”The man who invented the self-driving car (in 1986)”, 2018. [Online]. Tillgänglig vid: <https://web.archive.org/web/20190401115016/https://www.politico.eu/article/delf-driving-car-born-1986-ernst-dickmanns-mercedes/>. [Åtkomstdatum: 02-apr-2019].
- [4] T. Holstein, G. Dodig-Crnkovic, och P. Pelliccione, ”Ethical and Social Aspects of Self-Driving Cars”, *CoRR*, vol. abs/1802.04103, 2018.
- [5] ”SURFACE VEHICLE RECOMMENDED PRACTICE”, SAE International, Warrendale, PA, USA, Standard J3016, 2018.
- [6] S. International, ”Levels of Driving”, 2019. [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic>. [Åtkomstdatum: 02-apr-2019].
- [7] C. Paukert, ”Why the 2019 Audi A8 won’t get Level 3 partial automation in the US”, 2018. [Online]. Tillgänglig vid: <https://web.archive.org/web/20190227115810/https://www.cnet.com/roadshow/news/2019-audi-a8-level-3-traffic-jam-pilot-self-driving-automation-not-for-us/>. [Åtkomstdatum: 02-apr-2019].
- [8] N. Heath, ”Tesla’s Autopilot: Cheat sheet”, 2018. [Online]. Tillgänglig vid: <https://web.archive.org/web/20181030072049/https://www.techrepublic.com/article/teslas-autopilot-cheat-sheet/>. [Åtkomstdatum: 02-apr-2019].

- [9] A. Roy, "The Battle for Best Semi-Autonomous System: Tesla Autopilot Vs. GM SuperCruise, Head-to-Head", 2018. [Online]. Tillgänglig vid: <https://web.archive.org/web/20190103115103/http://www.thedrive.com/tech/17083/the-battle-for-best-semi-autonomous-system-tesla-autopilot-vs-gm-supercruise-head-to-head>. [Åtkomstdatum: 02-apr-2019].
- [10] S. A. Bagloee, M. Tavana, M. Asadi, och T. Oliver, "Autonomous vehicles: challenges, opportunities, and future implications for transportation policies", *Journal of Modern Transportation*, vol. 24, nr 4, s. 284–303, dec. 2016.
- [11] TED, "The future we're building – and boring | Elon Musk", 2017. [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.youtube.com/watch?v=zIwLWfaAg-8&feature=youtu.be&t=861>. [Åtkomstdatum: 02-apr-2019].
- [12] C. Häne *m.fl.*, "3D Visual Perception for Self-Driving Cars using a Multi-Camera System: Calibration, Mapping, Localization, and Obstacle Detection", *CoRR*, vol. abs/1708.09839, 2017.
- [13] J. Zhao, B. Liang, och Q. Chen, "The key technology toward the self-driving car", *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*, vol. 6, nr 1, s. 2–20, 2018.
- [14] TU-Automotive, "Velodyne Slashes Lidar Sensor Price in Half", 2018. [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.tu-auto.com/velodyne-slashes-lidar-sensor-price-in-half/>. [Åtkomstdatum: 02-apr-2019].
- [15] 2019. [Online]. Tillgänglig vid: <https://store.clearpathrobotics.com/products/vls-128>. [Åtkomstdatum: 02-apr-2019].