



Selvkørende køretøjer

Potentialer og risici - implikationer for regulering, planlægning og forskning

Litteraturstudie

Hannah Villadsen

Postdoc – Institut for Mennesker og Teknologi

Email: haviel@ruc.dk

Den selvkørende teknologi får megen opmærksomhed i disse år. Introduktionen af køretøjer, som kan navigere rundt i trafikken uden en chauffør, udgør et fundamentalt brud med den måde vejtransport historisk har fungeret. Den videnskabelige viden, som findes om hvad implementering af selvkørende transport reelt vil betyde for transportsystemet, for trafikanter og for passagerer, har det gennemgående kendetegn, at den bygger på estimater og kvalificerede gæt i en kontekst med mange usikkerheder.

I det følgende vil disse forskellige forskningsbaserede bud på potentialer og konsekvenser blive gennemgået. Det er hensigten at teksten skal være en tilgængelig indgang for alle, som arbejder med selvkørende køretøjer og ønsker et overblik over den eksisterende forskning og tænkning på området. Da teksten især er tænkt, som vidensgrundlag for LINC-projektet, som fokuserer på selvkørende busser og kollektiv transport, er effekter på forholdet mellem privatejet mobilitet og kollektiv transport givet særlig plads.

Litteratursøgningsstrategi

Ikke overraskende er der tale om et felt, som endnu ikke har etableret veldefinerede søgetermer, nøgleord og publiseringskanaler. Der anvendes mange forskellige parallelle begreber (Autonomous vehicle, Automated vehicle, AV, Selfdriving, Self-driving, driverless m.fl.) og forskningen tager udgangspunkt i meget forskellige videnskabelige discipliner, som

Ingeniørvidenskab, byudvikling, miljøvidenskab, human-machine-interaction, transport sociologi, transport planlægning og design videnskab. Det er vidensfelter, som fra forskellige vinkler producerer viden om hvordan teknologien vil påvirke systemer og mennesker, men som samtidig trækker på meget forskellige metoder, vidensbegreber og terminologi.

Den præsenterede litteratur er udvalgt på baggrund af en række brede databasesøgninger med brug af de nævnte søgeord for automatiseret transport. Dette returnerede omkring 1500 hits i begge de to primært anvendte databaser. Efter en grundig filtrering baseret på publiceringskanal og gennemlæsning af artikelresumeer identificeredes 16 publikationer som vurderedes som de mest centrale i forhold til implementering af selvkørende køretøjer i transportsystemet. På baggrund af disse gennemførtes yderligere søgninger: Først med udgangspunkt i artiklernes referencer, derefter med udgangspunkt i forfatternes øvrige publikationer og forskningsnetværk. Herefter blev senere publikationer, som citerer de identificerede centrale publikationer søgt frem. Desuden foreslog databaseprogrammerne relevante relaterede artikler, som blev inddraget efter samme strategi, som de oprindelige 16 publikationer fra den indledende søgning og filtrering.

På baggrund af denne strategi blev 50 artikler identificeret og udvalgt som særligt centrale og repræsentative i forhold til at vidensunderstøtte LINC-projektet.

Tekstens opbygning

Den beskrevne søgestrategi udkrystalliserede tre klynger af publikationer: 1) Undersøgelser som søger at kvantificere potentialer og effekter ved introduktion af selvkørende køretøjer og selvkørende vognflåder baseret på computer simulering af forskellige scenarier primært i urbane områder, 2) undersøgelser, som opsamler erfaringer og brugerreaktioner fra tests og demonstrationsforsøg primært med minibusser i Europæiske byer, 3) opsummerende artikler og rapporter, som forsøger at indkredse og beskrive implikationer for regulering af transport og transportsystemer på baggrund af de undersøgelser og forudsigelser, som eksisterer indtil videre. Artiklerne i gruppe 3 trækker i stort omfang på 1 og 2, men suppleres af at forfatterne typisk har et bredere fokus på det samlede transportsystem, end de mere teknologispecifikke diskussioner, som kendetegner 1 og 2.

Gennemgangen er organiseret under følgende ti overskrifter, som tilsammen syntes at dække hovedparten af de mange forskellige perspektiver og overvejelser, som fremdrages i litteraturen:

- Færre ulykker
- Mere optimal udnyttelse af vejnettet og mindre trængsel
- Ændringer i mobilitet og antal kørte kilometer
- Bedre mobilitet for brugergrupper, som ikke i dag kan føre bil
- Samkørsel
- Effekter på energiforbruget
- Implikationer for planlæggere
- Forretningsmodeller: delt eller individuel – offentlig eller privat

- Brugeraccept og brugertillid
- Sameksistens på vejene – selvkørende, selvkørt og bløde trafikanter

Færre ulykker

Hovedparten af alle trafikulykker skyldes menneskelige fejl og sker ofte i kombination med overtrædelse af færdselsregler (Fagnant & Kockelmann, 2015; Havarikommissionen for vejtrafikulykker, 2014).

Automatiserede systemer bliver i modsætning til menneskelige chauffører ikke distraherede, de kører ikke i påvirket tilstand, deres reaktionstid er så kort at den er uden betydning og endelig kan de programmeres til at respektere hastighedsbegrænsninger (ITF, 2018). Det antages på denne baggrund i store dele af litteraturen at den selvkørende befordring vil ende med at være mere sikker end den vejtransport vi har i dag (Sparrow & Howard, 2017).

En forudsætning for at den selvkørende teknologi kommer til at spille en definerede rolle i fremtidens transport er at det lykkes at udvikle systemer, som sikkert kan afkode det omgivende miljø, således at fordelene ved den automatiserede kørsel kan omsættes til færre trafikulykker (Sessa et al., 2016). De fleste af de publikationer, som beskæftiger sig med implementering af selvkørende køretøjer, antager at teknologierne vil opnå en tilstrækkelig evne til at navigere i komplekse trafiksituationer og at potentialet for ulykkesreduktion ved fuld automatisering er stort (Merat et al. 2018; Fagnant & Kockelman, 2015; Spieser et al., 2014).

Myndigheders villighed til at dedikere vejplads og opstille særlig infrastruktur, som forsimples det miljø, som de selvkørende biler skal kunne navigere i, tilskrives af nogen forskere stor betydning for hvor hurtigt selvkørende køretøjer vil kunne operere sikkert og effektivt (Allesandrini et al., 2014; Litman, 2018).

I takt med at selvkørende køretøjer bliver introduceret på vejene er der sket ulykker hvor selvkørende køretøjer har forårsaget eller været involveret i alvorlige ulykker (NYT, 19.03.2018). Sikkerhedsimplicationerne af en dødsulykke i marts 2018, som ifølge den efterfølgende mediedækning var forårsaget af en software-fejl (The Information, 07.05.2018) ses endnu ikke reflekteret i litteraturen.

Der er enkelte forfattere, som peger på, at antagelser om, at færre humane risikofaktorer automatisk vil nedsætte antallet af ulykker, risikerer at undervurdere omfanget af nye risici, som følger af teknologiens sociotekniske umodenhed (Hsu 2017, Noy et a. 2018, Merat et al. 2018), øget risiko for hardware- og softwarefejl (Litman 2018); herunder nedbrud i sensor-integration og signaler (ITF, 2018), risiko for cyber-kriminalitet (Noy, 2018; ITF, 2018; Litman 2018) og som følge af øget risikoadfærd som følge af tillid til teknologien (Millard-Ball, 2016).

Det vil i praksis være urealistisk at udføre tilstrækkelig mange kilometers testkørsel med selvkørende køretøjer til signifikant at kunne konkludere at deres sikkerhed er traditionelle køretøjer overlegen (Kalra&Paddock, 2016), da ulykker statistisk set er en sjælden hændelse relativt til antallet af kørte kilometer.

Mere optimal udnyttelse af vejnettet og mindre trængsel

En af de fordele, som ligger i kortene for den selvkørende teknologi, er muligheden for at udnytte pladsen på vejene bedre, således at den samme mængde asfalt får en større kapacitet i forhold til at bringe køretøjer frem uden trængsel.

Den bedre udnyttelse forudsætter at bilerne kører tættere sammen. Dette muliggøres ved at førerens reaktionstid kan tages ud af ligningen samtidig med at kommunikation køretøjerne imellem (Vehicle-to-vehicle) og mellem vogne og infrastruktur (Vehicle-to-infrastructure) understøtter systemer, som faciliterer en optimeret afvikling af trafikken og dermed et bedre trafikflow (Lee et al., 2016; European Commission, 2014).

En hurtig beregning af scenarier, hvor kæder af digitalt forbundne vogne kører tæt sammen (platooning) over korte strækninger, viser umiddelbart potentiale for at øge kapaciteten med op imod 300% (van Arem, 2016). Beregninger, som benytter mere realistiske modeller for koordineret cruisecontrol (Cooperative adaptive cruise control), lander på knapt en fordobling af vejkapaciteten (Shladover et al., 2012).

I praksis opstår trængsel ofte omkring flaskehalse i netværket, når f.eks. antallet af vejbaner reduceres, ved vigepligt og lignende afvigelser i den almindelige kørsel (van Arem, 2016). For at udnytte potentialet ved automatisering er det derfor nødvendigt at forstå betydningen af automatisering i og omkring flaskehalse. Van Driel og van Arem (2010) studerede muligheden for at introducere en trængselsassistent-funktion, som understøttede mere forudseende kørsel i trængselsituationer. Deres arbejde peger på at selv ved en ret lille markedspenetration (10%) vil sådanne forudseende vogne kunne reducere trængsel, som opstår i forbindelse med reduktion i antallet af vejbaner, med ca. 30%.

Hoogendoorn et al. (2014) peger omvendt på at situationer hvor automatiske digitalt forbundne vogne skal skilles fra manuelt førte vogne, f.eks. således at platooning gøres muligt på egnede strækninger, har hæmmende virkninger på det samlede trafikflow.

Gennemgående konkluderes det at udnyttelsen af potentialet ved automatisering, afhænger af implementering af koordineringsstrategier for selvkørende køretøjer i flaskehalssituationer og i situationer med krydsende trafik (Hoogendoorn et al., 2014).

Effekten på vejkapacitet og flow af at selvkørende køretøjer introduceres påvirkes desuden af hvor stor en andel af trafikken, der på et givent tidspunkt er selvkørende og digitalt forbundne samt af i hvilket omfang tilknyttede systemer, ikke mindst trafiklys og ruteplanlægningsværktøjer, bliver

integreret i et samlet system af systemer (van Arem et al., 2016; European Commission, 2014; Lee et al., 2016).

Van Arem et al. (2016) peger på at der forventeligt vil opstå modsætninger mellem hvad der er optimalt for den enkelte vogn og hvad der er optimalt for det samlede system. Da bilproducenterne forventes at lægge størst vægt på udvikling af funktioner, som deres kunder oplever som individuelt attraktive, efterspørges strategier for afstemning af interesser på tværs af interessenter. Tilsvarende overvejelser kan genfindes i tværeuropæiske initiativer og handlingsplaner (European Commission, 2014)

Forbedret mobilitet

Velfungerede transport er en nødvendig forudsætning for et dynamisk samfund og samtidig en ressourcekrævende funktion, som påvirker miljøet negativt og lægger beslag på en stor del af den sparsomme plads i byerne. Selvkørende transport tilskrives i dele af litteraturen en afgørende rolle i forhold til at skabe et mere integreret, tilgængeligt og miljøvenligt persontransportsystem, som udnytter fordelene og minimerer ulemperne for borgere, virksomheder og institutioner.

Den selvkørende teknologi forventes at gøre omkostningerne ved taxilignende forretningsmodeller betragteligt lavere, da der ikke skal betales løn til en chauffør (Fagnant&Kockelman, 2018). Hvis mobilitet ved brug af flåder bliver billigere – enten i form af delbilsordninger, eller som taxilignende korttidsleje – er det sandsynligt at færre vil vælge at eje deres egen bil (Grush et al., 2016), hvilket kan bevirke at der er mindre behov for at bruge den sparsomme plads i byerne på parkering og at der opbygges en større parathed til at kombinere forskellige transportformer, således at den mest hensigtsmæssige transportform eller kombination af rejseformer anvendes til en given rejse (Alessandrini et al., 2014)).

I de mest optimistiske scenarier kombineres elementer fra deleøkonomi, smart cities og Mobility as a Service i et system, som udbyder ubegrænset, gnidningsløs, billig og fleksibel grøn mobilitet (Lee et al., 2016; Alonso-Mora et al, 2017).

En del forsøg er gjort på at modellere effekterne på transportsystemet ved forskellige scenarier især i storbyer. Et 2014 studie (Spieser et al.) vagte opsigst ved at vise at en selvkørende delebilordning ville kunne betjene hele Singapores populationen med en flåde på blot en tredjedel af den mængde biler, som i forvejen opererede i det samme område. Studiet var baseret på data om faktiske rejser og transporttider i Singapore. Præmissen for studiet er at delbilsordningers anvendelsesmuligheder vil blive langt større når de delte biler autonomt kan bevæge sig rundt i trafikken. Den selvkørende delebil skal ikke afleveres af brugeren på bestemte knudepunkter efter endt tur, eftersom bilerne selv kan repositionere sig forhold til den estimerede efterspørgsel i et givent område og autonomt kan afhente næste bruger på dennes position. Denne mobilitetsform beskrives som Autonomous Mobility on Demand (AMoD)).

Spieser et al. (2014) peger på at systemet genererer ekstra kørte kilometer både når bilerne kører med henblik på at balancerer flådens geografiske fordeling i forhold til den forventede efterspørgsel og når vogne kører frem til næste bruger. Der peges ligeledes på at der ikke i studiet tages højde for induceret kørsel som følge af større efterspørgsel.

En række efterfølgende studier bekræfter at selvkørende delte flåder fører til flere kørte kilometer end når samme ture gennemføres med privatejede biler, som parkeres når de ikke er i brug (Fagnant & Kockelman 2018; Meyer et al., 2017). Det estimerede omfang af den ekstra kørsel varierer meget i den gennemgåede litteratur afhængigt af scenarie. Fagnant & Kockelman (2018) finder en forøgelse på 8 % som følge af fremkørsel og balancering.

Den største forøgelse i kørte kilometer ses i scenarier hvor forventelige ændringer i transportadfærd som følge af adgangen til den nye mobilitetsform tages i betragtning. Afhængigt af scenarie og urbanitetsgrad ses i nogle studier en meget stor øgning i antallet af kørte kilometer.

Mayer et al. (2017) estimerer en øget efterspørgsel på 16% fra nye brugergrupper og 53% som følge af tomkørsel hvor køretøjer sendes mellem medlemmer af samme husholdning, bruges til at fragte genstande og køres tom til områder med gratis parkering.

Andre studier viser øget pres på vejene på op mod 100% i scenarier hvor selvkørende deleordninger tænkes at udkonkurrere højkapacitets kollektiv transport i større byer (Basu et al., 2018; Martinez & Viegas, 2017; ITF 2015). Man finder i disse studier at mulighederne for at betjene en befolkning med selvkørende vogne uden brug af højkapacitets kollektiv transport, som f.eks. metro, vil føre til et uholdbart øget pres på vejinfrastruktur og bymiljø.

Omfanget og sammensætningen af den øgede kørsel afhænger af transportmønsteret i det område, som undersøges. Generelt genereres mere tomkørsel i områder med få rejser og lav densitet (Burns et al., 2013; Meyer et al., 2017)). Omvendt vil områder med høj densitet og mange rejser typisk have sværere ved at rumme den ekstra trafik. I områder med lav adgang til mobilitet vil den selvkørende teknologi potentielt kunne øge mobiliteten for store dele af befolkningen uden at kræve mere asfalt (Mayer et al. 2017).

Bedre mobilitet for brugergrupper, som ikke i dag kan føre bil

Den selvkørende teknologi kan potentielt give brugergrupper med fysiske eller kognitive begrænsninger adgang til øget mobilitet forudsat at de services, som introduceres, er designet på en sådan måde at de er tilgængelige og sikre at bruge for disse brugergrupper. Siulagi et al. (2016) peger på at der mangler forskning på området.

Rayle et al. (2016) fandt i et studie af smartphone-baserede taxi-lignende ordninger som f.eks. Uber at velhavende, yngre, veluddannede passagerer var overrepræsenterede blandt brugere af denne form for mobilitet.

Yosuf et al. (2016) skitserer et forskningsprogram, som med udgangspunkt i viden om handicap, mobilitetsbehov og hjælpemidler, skal tydeliggøre mulighederne for at danne broer mellem udvikling af digitale hjælpemidler til øget personlig autonomi og selvkørende transport. Involvering af brugergrupper med særlige behov pegede på, at der foruden krav til integration med eksisterende hjælpemidler og anvendelse af principper for handicapvenligt design er typer af information, som er særligt afgørende for disse brugergrupper f.eks. information om adgang til bænke, toiletter og overdækning.

Samkørsel

En måde potentielt at kompensere for de flere kørte kilometer er at benytte de koordinerende egenskaber, som de automatiske delebilssystemer forudsætter, til at udvikle systemer, som understøtter samkørsel; d.v.s. kørsel hvor rejsende, som ikke kender hinanden og som ikke nødvendigvis har fuldstændig overlappende rejser, matches så de køres sammen på hele eller dele af rejsen.

Effekten og gennemførligheden af samkørsel varierer i de undersøgte studier. Fagnant og Kockelman (2018) fandt at ved en markedspenetration på 10% i et område som Austin, Texas, ville mulighed for samkørsel, når der var matchende rejser, ikke udligne den ekstra kørsel, som delebilsoperationen samlet set medførte. Dog så man muligheder for at dette ville ændre sig hvis brugere blev mere fleksible i deres planlægning og hvis delebilsordningen opnåede en højere andel af alle ture, således at mulighederne for at identificere ture, som matcher i tid og geografi blev bedre.

Alonso-Mora et al. (2017) peger på baggrund af en matematisk algoritme, udviklet specifikt til at vurderer potentialet ved samkørsel i stor skala, at en langt mindre flåde af vogne (ca 25 %) potentielt kan betjene det samme antal rejser på Manhattan, New York, som den eksisterende taxiflåde gør i dag, hvis samkørsel, minibusser og busser accepteres af taxibrugerne. Det fremgår ikke entydigt af de præsenterede data hvorledes det samlede antal kørte kilometer påvirkes.

I et casestudie baseret på Lisabon, udført af Martinez & Viegas for International Transport Forum (IFT 2015) findes det tilsvarende at selvkørende delebilsordninger har bedst mulighed for at bidrage positivt til det samlede transportsystem i scenarier hvor der samkøres og hvor den selvkørende service er integreret med højkapacitets kollektiv transport.

Effekter på energiforbruget fra vejtransport

Selvkørende køretøjer har potentiale for enten at øge eller at reducere behovet for energi afhængigt af hvordan køretøjer, transportsystem og anvendelse udvikler sig (Morrow et al. 2014, Fagnant & Kockelman, 2014).

Morrow et al. (2014) peger på at effekterne fra tre forskellige implementeringsniveauer – køretøjer, transportsystem og anvendelse - har forskellig profil i forhold til kompleksitet, usikkerhed og betydning. Forhold, som vedrører bilernes tekniske funktionsmåde, er forholdsvist

nemmere at beregne effekten af end forhold, som vedrører transportsystemets indretning. Mest usikkert er effekten på energiforbruget af den måde hvorpå teknologierne bringes i anvendelse qua de valg, som træffes af forbrugere, virksomheder og lovgivere.

Morrow et al. peger på at meget lavere eller ingen risiko for trafikuheld, kan føre til lettere køretøjer, som kræver mindre energi per kørt kilometer. Da motoren samtidig reguleres automatisk, vil det spild af energi, som forekommer ved at menneskelige chauffører bruger gear, speeder og bremse suboptimalt kunne elimineres. Endelig vil deleordninger kunne facilitere at en flåde bestående af forskellige typer af biler disponeres hensigtsmæssigt, således at små vogne bruges til at fragte enkeltpersoner, mens større biler stilles til rådighed for rejser hvor dette bedst modsvarer behovet.

I forhold til trafiksystemet så peger Morrow et al. på at det automatiske køretøj ikke har de samme begrænsninger i forhold til at håndtere kompleks information, hvorfor viden om kødannelse, optimal ruteplanlægning og hastighed vil kunne udnyttes fuldtud til at begrænse energiforbruget. Tilsvarende foreslås det at vejbaner ville kunne skifte retning afhængt af efterspørgsel, da behovet for hårde opdelinger og synlig og entydig skiltning ikke nødvendigvis vil spille samme rolle for en flåde af fuldt automatiserede køretøjer.

Det sidste niveau, anvendelsen, er den mest usikre og potentielt også den mest afgørende faktor (Morrow et al., 2014; Brown et al., 2014). Ændrede transport- og bosætningsmønstre kan føre til at der rejses færre kilometer, men omvendt kan den selvkørende mulighed føre til at transporttid værdisættes lavere og derfor føre til mere spredt arealanvendelse (urban sprawl) og flere kørte kilometer (Rubin 2016; Mayer et al. 2017).

Som nævnt tidligere vil sammensætningen af de mobilitetstjenester som udbydes, graden af samkørsel og anvendelsen af kollektiv transport have afgørende betydning for antallet af kørte kilometer.

Meyer (2016) argumenterer for at der er adskillige potentielle synergieffekter når elektrificering, automatisering og kommunikativ forbindelse gennemføres i koordination. Hvis automatisering og elektrificering kommer til gensidigt at understøtte hinanden vil det potentielt fremme omstilling af transporten fra fossile brændstoffer til andre energikilder (Meyer, 2016; Brown et al., 2014). Generelt forudsættes det ikke i litteraturen at automatisering automatisk vil føre til en større andel af elektriske køretøjer.

Afhængigt af hvor mange af de faktorer, som begrænser energiforbruget, der realiseres, vil betydningen af ekstra kilometer have en større eller mindre direkte effekt på det samlede energiforbrug.

Brown et al. (2014) har estimeret de maksimale effekter på energiforbruget af automatiseret vejtransport baseret på eksisterende viden om energieffekten af de forskellige mulige kilder til

henholdsvis energibesparelser og øget efterspørgsel. I det bedste scenarie, hvor alle besparende initiativer udnyttes fuldt ud, opnås en energibesparelse på omkring 90%. I det værste scenarie hvor kun den øgede kørsel aktualiseres øges energiforbruget med 150%. Hvis begge typer af effekter ses aktualiseret ses en markant reduktion i energiforbruget, da reduktionen i energibehovet per kørt kilometer mere end kompenserer for de ekstra kilometer. Det forudsættes i beregningen at trængsel helt kan elimineres pga. bedre koordination af køretøjer, hvilket, som beskrevet i et tidligere afsnit ikke nødvendigvis er realistisk ved markant øget trafik i områder med høj densitet.

Implikationer for planlægning

I de senere år er der udkommet en række artikler, som retter opmærksomheden mod myndighedernes rolle i forhold til at regulere og/eller understøtte udviklingen af selvkørende transport. Gennemgående peges der på, at effekten af selvkørende transport afhænger af hvordan den bliver implementeret og af hvordan de disruptive effekter, som man forventer, bliver håndteret af politikere og embedsfolk (Fagnant & Kockelman, 2015; Litman, 2018; Srinivasan et al. 2016; Isac, 2016; Grush et al., 2016).

Der efterspørges i denne litteratur mere overordnede og strategiske tilgange, som kan etablere et sammenhængende om end foreløbigt vidensgrundlag, som kan understøtte gennemtænkte og rettidige politiske og administrative beslutninger i et felt, som er både komplekst og behæftet med høj usikkerhed.

Fagnant & Kockelman (2015) gør et sådant forsøg på at formidle et samlet overblik over den eksisterende viden i en ofte citeret artikel: *Preparing af nation for autonomous vehicles*. Artiklen opsummerer de forventede socio-økonomiske konsekvenser ved indførelse af selvkørende transport i en amerikansk kontekst. De peger på et stort økonomisk potentiale for både myndigheder og borgere, til trods for at de forventer flere kørte kilometer og potentielt øgede udledninger af CO₂. De peger samtidig på en række barrierer, ikke mindst de initiale omkostninger og risici omkring persondatasikkerhed.

Andre forfattere anlægger en mere stringent planlægningsfaglig vinkel i forhold til at tydeliggøre myndighedernes centrale rolle i forhold til at afværge utilsigtede skadesvirkninger. Isaac (2016) redegør i den sammenhæng for behovet for regulering på forskellige forvaltningsniveauer. Hendes reference er det amerikanske samfund, men hendes overvejelser synes generelt relevante. Hun peger især på behovet for overordnede regler omkring standarder og åbne data, således at markederne holdes åbne og således at politikere og befolkninger har adgang til at forstå hvordan transportsystemet er indrettet og hvordan det udvikler sig. Isaac peger yderligere på nødvendigheden af tidligt at overveje hvordan forskellige scenarier for implementering vil påvirke offentlige indtægter både nationalt og regionalt, således at der tidligt kan etableres relevante måder at kompensere for tabte indtægter og svækkede reguleringsmekanismer (færdselsbøder, parkeringsafgifter mm.), som kan forventes at indtræde samtidig med at presset på vejinfrastrukturen kan forventes at stige.

Srinivasan et al. (2016) argumenterer for at opstilling af scenarier er en særligt egnet metode til at håndtere den usikkerhed, som opstår når krav til infrastrukturen potentielt vil ændre sig disruptivt og udfordre den tidsmæssige og konceptuelle planlægningshorisont, som transportplanlægning og infrastrukturinvesteringer traditionelt opererer i. Med udgangspunkt i scenarier kan forskellige typer af forudsætninger og interaktioner undersøges på en måde, som adresserer kompleksiteten og gør det muligt at identificere centrale indikatorer og fastlægge operationaliserbare kriterier for planlægning og regulering.

Sessa et al. (2016) rapporterer fra et stort europæisk projekt hvor et stort antal internationale eksperter fra industri, forskning og offentlig administration bidrog til en undersøgelse af deres syn på hvordan selvkørende køretøjer vil påvirke transport og samfund. Artiklen anskueliggør hvordan forskellige typer af geografi påvirker potentialet for den selvkørende befordring og rummer grafiske visualiseringer af bindinger mellem geografi, byudvikling og forretningsmodeller i implementeringen af selvkørende køretøjer i specifikke urbane og non-urbane kontekster. Artiklen søger ikke at opstille generaliserbare regler for disse sammenhænge, dog synes der at være generel konsensus omkring af geografi og densitet har afgørende betydning for hvordan selvkørende teknologier forventes at påvirke transportsystemet.

I en omfattende rapport målrettet beslutningstagere i Ontario, Canada, opererer Grush et al. med begrebet transit leap, som bruges til at beskrive en situation hvor et offentligt tilgængeligt, automatiseret og samkørende mobilitetssystem udvikler sig i takt med stigende efterspørgsel og etablerer sig som en bæredygtig arvtager efter det eksisterende mobilitetssystem. Forfatterens pointe er at et sådant koordineret system ikke vil kunne etablere sig uden strategiske politiske beslutninger vedrørende regulering, ejerskabsmodeller og offentlig-private samarbejdsmodeller. Det er beslutninger, som samtidig har betydning for hvordan eksisterende kollektiv transport kan udvikles og hvordan offentlige investeringer skal prioriteres.

Grush et al. specificerer tre veje for politikere at gå: 1) Man kan afvente og lade det private initiativ råde, med risiko for etablering af forretningsmodeller og services, som er uholdbare for det samlede transportsystem og som underminerer den kollektiv transport. 2) Man kan gå i gang med en omfattende omkalfatring af den kollektive transport ud fra digitalisering og automatisering, med risiko for fejlinvesteringer, forvirring og endeløs debat. 3) Man kan begynde at arbejde langsigtet på at involvere og regulere private investeringer, teknologier og driftsselskaber for transport af mennesker og gods i 2020-2050. Forfatterne ser en risiko for at polarisering mellem grupper som favoriserer henholdsvis 2) og 3) vil føre til at man ender med mulighed 1) som utilsigtet konsekvens. Rapporten trækker på erfaringer fra store dele af verden og de resulterende overordnede overvejelser forekommer at have en relevans, som overskrider den canadiske kontekst.

Delt eller individuel – offentlig eller privat

Udsigten til at en større del af den personlige mobilitet vil kunne løftes af delebilsordninger eller taxi-lignende services gør at traditionelle skel mellem offentlig og privat transport udviskes. Liu et al. (2016) gennemgår egenskaberne ved forskellige typer af eksisterende automatiseret og semiautomatiseret kollektiv transport med henblik på at etablere begreber, som er anvendelige i forhold til at analysere markeder og potentialer for automatiseret kollektiv mobilitet.

Diskussioner omkring arbejdsdelingen mellem private virksomheder og offentlige myndigheder har betydning for hvordan mobilitetssystemet kan finansieres og reguleres samt for hvilke krav der kan stilles vedrørende offentlig adgang, social inklusion og geografisk udbredelse (Grush et al. 2016). Liu et al. (2016) peger på at den kollektive transport historisk har været førende inden for automatisering af transport, men at det ikke i øjeblikket er tilfældet med selvkørende køretøjer, som i højere grad drives frem af private virksomheder og forretningsmodeller, som ikke i udgangspunktet har de samme incitamenter for at etablerer et åbent multimodalt system med generel offentlig adgang.

Et multimodalt kollektivt mobilitetssystem baseret på softwareplatforme, mobilteknologi, automatisering og tværgående integration forudsætter, ligesom det er tilfældet for den kollektive transport i dag, at de services som udbydes er acceptable og anvendelige for tilstrækkeligt mange til en pris, som er tilstrækkeligt konkurrencedygtig. Den traditionelle kollektive transport er et område hvor forskellige former for ejerskab, offentlig-private kontrakter og udbud længe har udgjort en central del. Ubers forsøg på at gøre op med de lovgivninger, som regulerer adgang til at udbyde befordring i mange lande, og de evige kontroverser omkring taxilovgivning, som ligeledes kan genfindes på tværs af landegrænser, kan ses som illustrative eksempler på de kampe, som kan forventes at opstå i skæringsfladerne mellem forskellige forretningsmodeller og forhandlingskulturer og reguleringsregimer når selvkørende flåder skal integreres.

Brugeraccept og brugertillid

En række forfattere har undersøgt brugere og potentielle brugeres holdninger til hvilke typer af selvkørende mobilitetsteknologier og services de kunne tænke sig at købe eller købe sig adgang til (Zmud & Sener, 2017; Bansal et al., 2016; Piao et al., 2016). Merat et al. (2017) har en gennemgang af denne litteratur, men peger samtidig på at det er tvivlsomt hvor meget man bør lægge i de konkrete resultater, da svarene i sagens natur er baseret på hypotetiske spørgsmål til respondenter, som har ingen eller begrænset erfaring med disse teknologier. Svar på hypotetiske spørgsmål er erfaringsmæssigt usikre kilder til at forudsige fremtidig adfærd (Kraus, 1995).

Generelt viser undersøgelserne blandede holdninger til hvilken grad af automatisering brugere ønsker og generelt falder svarene forskelligt afhængigt af hvor megen praktisk erfaring respondenterne har med selvkørende transport (Merat et al., 2017). Demografiske parametre som alder og køn synes at have mindre indvirkning i studier hvor respondenterne har brugt/afprøvet selvkørende køretøjer (Madigan et al., 2017). Gennemgående er der flere, som ønsker at eje en selvkørende bil fremfor at dele (Zmud & Sener, 2017; Bansal et al., 2016); Zmud et al. (2016) finder

at individers tidligere valg omkring mobilitet, brug af kollektiv transport og privatbilisme gentager sig i deres holdninger til henholdsvis kollektiv og privatejet automatiseret befordring.

Merat et al. (2017) peger på relevansen af at orientere sig imod eksisterende viden om hvad der former tillid til automatiserede systemer herunder selvkørende køretøjer. Denne forskning peger på, at brud mellem hvad brugere forventer at systemet vil gøre i en given situation og systemets faktiske funktion fører til fald i tillid til systemet, som igen kan føre til at brugere undgår at bruge systemet (Schaefer et al., 2014). Et relateret forhold, som har betydning for tillid og accept, er graden af overensstemmelse mellem det som stilles i udsigt og det som systemet kan levere (Merat et al., 2017). Generelt betones det at accept og tillid til mobilitetsteknologier forudsætter omhyggelig tilpasning til kontekstuelle og kulturelle forhold (Grush et al., 2016; Hoff & Bashir, 2015).

Flere studier baseret på praktiske forsøg med selvkørende minibusser peger på at det er vigtigt at være opmærksom på at oplevelsen af sikkerhed (Madigan et al. 2017) herunder oplevelsen af personlig sikkerhed inde i bussen (Salonen, 2018; Piao et al. 2016) som har betydning for om brugerne indikerer at ville anvende selvkørende kollektiv transport i fremtiden.

Salonen (2018) fandt at 60 % af brugerne ved en test af en automatisk minibus i Finland, oplevede deres personlige sikkerhed inde i busserne som værre eller meget værre end i en konventionel bus. Også risiko for f.eks. brand og defekter blev oplevet som problematisk. Generelt oplevede brugerne trafiksikkerheden som et mindre problem idet ca. 25% oplevede den som værre eller meget værre, mens 75% oplevede den som tilsvarende eller bedre end i en konventionel bus under samme betingelser. Salonen peger derfor på betydningen af at skelne mellem oplevelsen af personlig sikkerhed inde i bussen og trafiksikkerhed. Oplevelsen af personlige sikkerhed er en kendt parameter for villighed til at anvende kollektiv transport (Transport for London, 2011). Oplevelsen af ringere personlig sikkerhed var mere udtalt blandt kvinder end blandt mænd.

I en spørgeskemaundersøgelse baseret på 315 respondenter, som havde benyttet en selvkørende minibus med en operatør ombord, fandt Madigan et al. (2017) at underholdningsværdien spiller en stor rolle for brugerne i de første forsøg med selvkørende køretøjer, men at de øvrige svar i undersøgelsen tyder på at automatiseret offentlig transport i senere faser vil blive vurderet og valgt ud fra kriterier, som også former valget af den konventionelle kollektive transport: effektivitet, påregnelighed, anvendelighed og pris. Man fandt i denne undersøgelse ikke at demografiske variable som alder og køn havde en selvstændig betydning for intensionen om at benytte selvkørende offentlig transport. Forskelle i intension syntes at udspringe af den oplevede grad af underholdningsværdi, brugervenlighed, anvendelighed og social accept.

Sameksistens på vejene – selvkørende, selvkørt og bløde trafikanter

Når selvkørende biler introduceres i trafikken, vil de ikke bare skulle interagere med andre motorkøretøjer, men også med andre brugere af veje, stier og pladser. Trafiksystemet bliver aldrig fuldt automatiseret, da fodgængere, barnevogne, cyklister, hunde og andre stadig vil befolke

gaderne, selv hvis alle motoriserede køretøjer er automatiske. Hvis selvkørende køretøjer skal kunne anvendes sikkert og effektivt i åben trafik, er det er således nødvendigt at de kan indgå i det mix af formelle og uformelle regler, som eksisterer mellem forskellige vejbrugere (Millard-Ball, 2018).

Merat et al. (2018) gennemførte en undersøgelse af bløde trafikanters oplevelse af at interagere med selvkørende busser i en række europæiske byer. Busserne kørte langsomt (op til 25 km/t) og stoppede konsekvent når deres bane blev blokeret af genstande eller vejbrugere. De bløde trafikanter udtrykte trods disse vanskeligheder med at afkode bussernes intentioner, da de typer af signaler, som normalt ville regulere samspillet, var fraværende eller ikke opførte sig som ventet. I tvivlsituationer var der ikke mulighed for at anvende øjenkontakt, hånd- eller hovedsignaler til at afklare vigepligt og bekræfte at den bløde trafikant var detekteret af køretøjet. Studiet viste at brugerne efterspurgte nye former for tegngivning specifikt udviklet til selvkørende køretøjer og at de fortrak visuelle og auditive signaler frem for tekst og tale. Det fremgår samtidig at entydige løsninger ikke synes færdigudviklede på dette stade.

En dansksproget rapport udarbejdet for Vejdirektoratet (Buch, 2018) opsummerer erfaringerne fra disse og andre europæiske demonstrationsforsøg og kommer frem til tilsvarende konklusioner vedrørende interaktionen og den aktuelle umodenhed af de tekniske og adfærdsmæssige systemer, som skal understøtte den.

Millard-Ball (2018) viser ved hjælp af en spilteoretisk metodologi hvordan den konservative sikkerhedsadfærd, som busserne er programmeret til at opererer efter, ændrer grundlæggende ved den måde bløde og hårde trafikanter forhandler retten til rummet f.eks. når fodgængere krydser en vej. Han foreslår at bløde trafikkanter i stigende grad vil indtage trafikrummene efterhånden som de oplever at køretøjerne konsekvent holder tilbage i tvivlsituationer.

Sammenfatning

Litteraturen omkring selvkørende køretøjer vokser i disse år og mærkbart fra måned til måned. Vi får et stadig bedre grundlag for at forstå de mange uvisheder, muligheder og konflikter, som vil opstå omkring implementeringen af selvkørende teknologier afhængigt af hvordan myndigheder rundt omkring i verden vælger at forvalte mulighederne og af hvilke strategier investorer, industri og mobilitetsudbydere anlægger i de kommende år.

Der er meget få faste holdepunkter i litteraturen i forhold til at angive hvordan trafiksystemet specifikt forventes at udvikle sig i lyset af selvkørende køretøjer. På alle de centrale parametre – vejkapacitet, energiforbrug, bedre mobilitet og større trafikikkerhed – lægger litteraturen op til at der både er betydelige potentialer og betydelige risici.

I en dansk sammenhæng vil det i de kommende år forventeligt især være i forhold til anvendelsesmuligheder i den kollektive transportsektor og i samspillet med andre vejbrugere at erfaringer kan høstes. Samtidig vil aktiviteterne i LINC-projektet og i andre forsøgsprojekter rundt

omkring i landet kunne bidrage til, at overvejelser omkring udnyttelsen af denne nye transportform forbliver på dagsordenen og understøttes af ekspertise og konkrete erfaringer fra en dansk kontekst.

Litteratur

- Alessandrini, A., Holguín, C. & Stam, D., 2015. *Automated Road Transport Systems (ARTS) – The Safe Way to Integrate Automated Road Transport in Urban Areas*. I G. Mayer og S. Baker (Red.), *Road Vehicle Automation 2. Lecture Notes in Mobility*, Springer International Publishing Switzerland.
- Alessandrini, A., Cattivera, A., Holguín, C. & Stam, D., 2014. *CityMobil2: Challenges and Opportunities of Fully Automated Mobility*. I G. Mayer og S. Baker (Red.), *Road Vehicle Automation. Lecture Notes in Mobility*, Springer International Publishing Switzerland.
- Alonso-Mora, J., Samaranayake, S., Wallar, A., Frazzoli, E. & Rus, D., 2017. *On-demand high-capacity ride-sharing via dynamic trip-vehicle assignment*. PNAS, vol. 114, no.3.
- Bansal, P., Kockelman, K. M. & Singh, A., 2016. *Assessing public opinions and interest in new vehicle technologies: An Austin Perspective*. Transportation Research Part C, Vol 67.
- Basu, R., Araldo, A., Akkinipally, A. P., Biran, B. H. N., Basak, K., Seshadri, R., Deshmukh, N., Kumar, N., Azevedo & Ben-Akiva, M., 2018. *Automated Mobility-on-Demand vs. Mass Transit: A Multi-Modal Activity-Driven Agent-Based Simulation Approach*. Transportation Research Record.
- Brown, A., Gonder, J. & Repac, B., 2014. *An Analysis of Possible Energy Impacts of Automated Vehicles*. I G. Mayer og S. Baker (Red.), *Road Vehicle Automation. Lecture Notes in Mobility*, Springer International Publishing Switzerland.
- Buch, T. S., 2017. *Samspil mellem automatiske køretøjer, cyklister og fodgængere – erfaringer fra europæiske forsøg*. Trafitec – rapport udarbejdet for vejdirektoratet.
- Christie, D., Koymans, A., Chanard, T., Lasgouttes, J. & Kaufmann, V., 2016. *Pioneering driverless electric vehicles in Europe: The City Automated Transport System (CATS)*. Transportation Research Procedia. Vol 16.
- European Commission, 2014. Progress Report and review of the ITS action plan. Commission staff working document.
- The Information, 2018. The Information, Amir Efrati, May 07, 2018: *Uber Finds Deadly Accident Likely Caused By Software Set to Ignore Objects On Road*. Avisartikel.
- Fagnant, D. J. & Kockelman, K. M., 2018. *Dynamic ride-sharing and fleet sizing for a system of shared autonomous vehicles in Austin, Texas*. Transportation. Vol. 45.
- Fagnant, D. J. & Kockelman, K. M., 2015. *Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations*. Transportation Research Part A. Vol 77.
- Fagnant, D. J. & Kockelman, K. M., 2014. *The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios*. Transportation Research Part C. Vol. 40.

- Grush, B., Niles, J., Baum, E., 2016. *Ontario Must Prepare for Vehicle Automation*. Independent research study prepared for the Residential and Civil Construction Alliance of Ontario (RCCAO).
- Havarikommissionen for vejtrafikulykker, 2014. *Hvorfor sker trafikulykkerne?* Tværanalyse.
- Hoff, K. A. & Bashir, M., 2015. *Trust in automation: Integrating empirical evidence on factors that influence trust*. Human Factors. Vol 27.
- Hoogedorn, R. G., van Arem, B. & Hoogedoorn S. P., 2014. *Automated driving, traffic flow efficiency and human factors: Litterature review*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.
- Isaac, L., 2016. *How Local Governments Can Plan for Autonomous Vehicles. Automated Road Transport Systems (ARTS) – The Safe Way to Integrate Automated Road Transport in Urban Areas*. I G. Mayer og S. Baker (Red.), *Road Vehicle Automation 3*. Lecture Notes in Mobility, Springer International Publishing Switzerland.
- International Transport Forum (ITF), 2018. *Safer roads with Automated Vehicles?* ITF-OECD report.
- International Transport Forum (ITF), 2015. *Urban Mobility System Upgrade – How shared self-driving cars could change city traffic*. ITF-OECD report.
- Kalra, N., Paddock S. M., 2016. *Driving to safety – How Many Miles of Driving Would it take to Demonstrate Autonomous Vehicle Reliability?* Report RAND Corporation.
- Lee, E., Gerla, M., Pau, G., Lee, U. & Lim, J., 2016. *Internet of Vehicles: From intelligent grid to autonomous cars and vehicular fogs*. Distributed Sensor Networks. Vol. 12.
- Litman, T., 2018. *Autonomous Vehicles Implementation Predictions – Implications for Transport Planning*. Victoria Transport Policy Institute.
- Liu, R., Fagnant, D. J., Zhang, W., 2016. *Beyond Single Occupancy Vehicles: Automated Transit and Shared Mobility*. I G. Mayer og S. Baker (Red.), *Road Vehicle Automation 3*. Lecture Notes in Mobility, Springer International Publishing Switzerland.
- NYT, 2018. The New York Times, Wakabayashi, March 19, 2018: *Self-Driving Uber Car Kills Pedestrian in Arizona, Where Robots Roam*. Avisartikel.
- Madigan, R., Louw, T., Wilbring, M., Schieben, A. & Merat, N., 2017. *What influences the decision to use automated public transport? Using UTAUT to understand public acceptance of automated road transport systems*. Transportation Research Part F. Vol. 50.
- Martinez, L. M. & Viegas, J. M., 2017. *Assessing the impacts of deploying a shared self-driving urban mobility system: An agent-based model applied to the city of Lisbon, Portugal*. International Journal of Transportation Science and Technology. Vol 6.
- Merat, N., Louw, T., Madigan, R., Wilbrink, M. & Schieben, A., 2018. *What externally presented information do VRUs require when interacting with fully Automated Road Transport Systems in shared space?* Accident Analysis and Prevention. Article in Press.
- Merat, N., Madigan, R. & Nordhodd, S., 2017. *Human Factors, User Requirements, and User Acceptance of Ride-Sharing in Automated Vehicles*. International Transport Forum (ITF) Discussion Paper. OECD.
- Meyer, G., 2016. *Synergies of Connectivity, Automation and Electrification of Road Vehicles*. I G. Mayer og S. Baker (Red.), *Road Vehicle Automation 3*. Lecture Notes in Mobility, Springer International Publishing Switzerland.

- Meyer, J., Becker, H., Bösch, P. M. & Axhausen, K. W., 2017. *Autonomous vehicles: The next jump in accessibilities?* Research in Transportation Economics. Vol 63.
- Millard-Ball, A., 2018. *Pedestrians, Autonomous Vehicles, and Cities*. Journal of Planning and Research. Vol. 38.
- Morrow III, W. R., Greenblatt, J. B., Strurges, A., Saxena, S., Gopal, A., Millstein, D. & Saha, N., 2014. *Key Factors Influencing Autonomous Vehicles' Energy and Environmental Outcome*. I G. Mayer og S. Baker (Red.), *Road Vehicle Automation*. Lecture Notes in Mobility, Springer International Publishing Switzerland.
- Noy, I. Y., Shinar, D., Horrey, W. J., 2018. *Automated driving: Safety blind spots*. Safety Science. Vol. 102.
- Piao, J., McDonald, M., Hounsell, N., Graindorge, M., Graindorge, T. & Malhene, N., 2016. *Public views towards implementation of automated vehicles in urban areas*. Transportation Research Procedia. Vol 14.
- Rayle, L., Dai, D., Chan, N. Cervero, R. Shaheen, S., 2016. *Just a better taxi? A survey-based comparison of taxies, transit, and ridesourcing services in San Francisco*. Transport Policy. Vol 45.
- Rubin, J., 2016. *Connected Autonomous Vehicles: Travel Behavior and Energy Use*. I G. Mayer og S. Baker (Red.), *Road Vehicle Automation 3*. Lecture Notes in Mobility, Springer International Publishing Switzerland.
- Salonen, A. O., 2018. *Passenger's subjective traffic safety, in-vehicle security and emergency management in the driverless shuttle bus in Finland*. Transport Policy. Vol 61.
- Sessa, C., Alessandrini, A., Flament, M., Hoadley, S., Pietroni, F. & Stam, D., 2016. *The Socio-Economic Impact of Urban Road Automation Scenarios: CityMobil2 Participatory Appraisal Exercise*. I G. Mayer og S. Baker (Red.), *Road Vehicle Automation 3*. Lecture Notes in Mobility, Springer International Publishing Switzerland.
- Siulagi, A., Antin, J. F., Molnar, L. J., Bai, S., Reynolds, S., Carsten, O. & Greene-Roesel, R., 2016. *Vulnerable Road Users: How Can Automated Vehicle Systems Help to Keep Them Safe and Mobile?* I G. Mayer og S. Baker (Red.), *Road Vehicle Automation 3*. Lecture Notes in Mobility, Springer International Publishing Switzerland.
- Shladover, S. E., Su, D. & Lu, X., 2012. *Highway capacity increases from cooperative adaptive cruise control*. Proceedings of ITS World Congress 2012.
- Sparrow, R. & Howard, M., 2017. *When human beings are like drunk robots: Driverless vehicles, ethics, and the future of transport*. Transportation Research Part C. Vol 80.
- Spieser, K., Treleaven, K., Zhang, R., Frazzoli, E., Morton, D. & Pavone, M., 2014. *Toward a Systematic Approach to the Design and Evaluation of Automated Mobility-on-Demand Systems: A Case Study in Singapore*. I G. Mayer og S. Baker (Red.), *Road Vehicle Automation*. Lecture Notes in Mobility, Springer International Publishing Switzerland.
- Srinivasan, S., Smith, S. & Milakis, D., 2016. *Implications of Vehicle Automation for Planning*. I G. Mayer og S. Baker (Red.), *Road Vehicle Automation 3*. Lecture Notes in Mobility, Springer International Publishing Switzerland.
- van Arem, B., Abbas, M. M., Li, X., Head, H., Zhou, X., Chen, D., Bertini, R., Mattingly, S. P., Wang, H. & Orosz, G., 2016. *Integrated Traffic Flow Models and Analysis for Automated Vehicles*. I

G. Mayer og S. Baker (Red.), *Road Vehicle Automation 3*. Lecture Notes in Mobility, Springer International Publishing Switzerland.

Van Driel, C. J. G. & van Arem, B., 2010. *The impacts of a congestion assistant in traffic flow efficiency and safety in congested traffic caused by a lane drop*. Journal of Intelligent Transportation Systems. Vol 14.

Yousuf, M., Spencer, J., Sheehan, R. & Armendariz, L., 2016. *Accessible Transportation Technologies Research Initiative (ATTRI) – Advancing Mobility Solutions for All*. I G. Mayer og S. Baker (Red.), *Road Vehicle Automation 3*. Lecture Notes in Mobility, Springer International Publishing Switzerland.

Zmud, J. P. & Sener, I. N., 2017. *Towards an Understanding of the Travel Behavior Impact of Autonomous Vehicles*. Transportation Research Procedia. Vol. 25.

Zmud, J., Sener, I. N. & Wagner, J., 2016. *Consumer acceptance and travel behaviour impacts of automated vehicles*. Texas A&M Transportation Institute.