
En foranalyse om autonome skibe

Sammenfatning

Søfartsstyrelsen har ønsket DTU's assistance med at samtænke og planlægge en række opgaver i en kommende indsats til belysning af ubemandede skibes betydning for Det Blå Danmark. Søfartsstyrelsen ser teknologiudvikling som centralt i sådanne projekter og har bedt DTU assistere med at afdække, hvilke forsknings- og innovationsaktiviteter der vil være vigtige for at opnå denne indsigt.

Denne rapport er en forundersøgelse, der har til formål at beskrive mulighederne med autonome skibe, og tager udgangspunkt i internationale aktiviteter med direkte relevans for undersøgelsen. Den resumerer kort, hvordan forskellige niveauer af autonomi kan defineres: Fra det laveste niveau med helt manuel operation, hvor navigatøren har informationer fra elektroniske søkort og har informationer om sin egen position, kurs og hastighed samt overblik fra radar med udpegning af andre skibes kurs og fart; over forskellige niveauer af beslutningsstøtte, hvor automatikken varetager flere og flere opgaver; til niveauer af egentlig autonomi.

Rapporten baserer sig på erfaringer og viden opnået i forbindelse med såkaldt selvkørende biler og ubemandede fly og henviser til igangværende overvejelser fra tilsvarende projekter vedrørende skibe. Rapporten munder ud i forslag om konkrete forsknings- og innovationsprojekter, der forventes at ville kunne gavne det danske maritime erhverv og Det Blå Danmark. ¹

Danmarks Tekniske Universitet

Rapportens forfattere er:

Mogens Blanke (MB), professor i automation, Automation and Control Group, DTU Elektro, DTU

Michael Henriques (MH), seniorkonsulent, Sektion for Transport, DTU Management Engineering, DTU

Jakob Bang (JB), nautisk inspektør, Søfartsstyrelsen.

MB har hovedsageligt bidraget med beskrivelse af automatisering, autonomi og sikkerhed.

MH har hovedsagelig bidraget med beskrivelse af transportfaglige og økonomiske forhold.

JB har bidraget til afsnittet om regulering (regler og bestemmelser).

DTU Elektro, Elektrovej 326 og DTU Management Engineering, Produktionstorvet 426
2800 Kongens Lyngby
www.dtu.dk

¹ Undersøgelsen er foretaget med støtte fra Den Danske Maritime Fond.

Autonomi versus automatisering

Begrebet autonomi bruges i flæng i daglig tale og i offentligheden. Derfor resumerer denne rapport indledningsvis, hvordan autonomi og trin på vejen fra manuel styring til fuldautomatisk styring og autonom navigation defineres og opfattes i fagkredse.

Automobiler

Bilindustrien er langt fremme med at implementere og teste selvkørende biler på forskellige niveauer. Udover at være smart og trendy og dermed en salgsfremmende funktionalitet er drivkraften for denne udvikling at kunne øge trafikikkerheden. Samtidig kan afstanden til forankørende mindskes uden at øge risikoen for kollision. Visionerne for autonome køretøjer på vejene er bl.a. at kunne øge serviceringsfrekvensen og fleksibiliteten af kollektiv trafik og af varetransporten på landevej samt at kunne undgå de risici, der er forbundet med en menneskelig fører, og ulykker, som skyldes menneskelige fejl. Et andet argument er reducerede lønomkostninger. For at erhvervet skal have en fælles forståelse af automatiseringsniveauer, har Society of Automotive Engineers beskrevet seks autonomniveauer (AAWA, 2016). Disse er gengivet i Tabel 1.

Tabel 1. SAE-definition af autonomniveau for biler

Grad af autonomi for biler (SAE-definition)
SAE 0: Ingen automatisering. Føreren klarer al styring og navigation uden hjælpemidler.
SAE 1: Køretøjet assisterer føreren: Køretøjet kan holde afstand til andre lignende køretøjer.
SAE 2: Delvis automatisering: Køretøjet kan selv klare simple opgaver såsom kørsel i det vejsystem, bilen befinder sig i.
SAE 3: Betinget automatisering: Køretøjet kan selv køre i bestemte situationer (fx på motorveje). Føreren behøver ikke at styre køretøjet aktivt eller holde udkig, men skal kunne tage over med kort varsel.
SAE 4: Høj automatisering: Køretøjet kan selv køre i bestemte omgivelser, men føreren behøver ikke at være klar til at overtage styringen.
SAE 5: Fuld automatisering: Førerløse køretøjer i alle omgivelser og i alle potentielle situationer.

På SAE-niveau 0-3 er føreren til stede i køretøjet og kan og skal forestå kørslen. På niveau 4 behøver føreren ikke være klar til at overtage føringen, da køretøjet selv kan bringe sig til standsning i uventede situationer eller ved fejlbehæftet udstyr. På niveau SAE 5 kan køretøjet reagere autonomt og i princippet være uden bemanning med en fører.

For biler er omgivelserne på niveau 0-4 defineret af afmærkede vejsider og af trafikafviklingsforholdene. På niveau SAE 5 skal køretøjet kunne færdes i alle omgivelser og kunne håndtere medtrafikanter i komplekse situationer. For et køretøj er det en sikker tilsand at standse i en vejside. I nødstilfælde, for eksempel ved brand, forlader passagererne selv bilen.

Teknologien bag autonomi på et højt niveau inkluderer RADAR og LIDAR² samt computersyn i synlige og infrarøde områder. Informationer fra disse sensorer fortolkes af programmel, der genkender elementer i omgivelserne, kan fortolke en situation og kan overtage køretøjets styring og bremsning. Fra SAE-niveau 3 og derover er automatikken i stand til at gribe ind uden førerens medvirken. Automobiler befinder sig i 2016 på niveau SAE 3.

² Sensorer, der måler afstand og retning til et objekt ved hjælp af elektromagnetiske mikrobølger (RADAR) og laserlys i det nær-infrarøde område (LIDAR).

For så vidt angår skibe, er både navigation og spørgsmålene vedrørende sikkerhed og pålidelighed mere komplicerede.

Skibe

Dette afsnit indledes med en generel indføring i terminologien vedrørende betjening af skibe på forskellige automateringsniveauer. Vi benytter den terminologi, der er sammenfattet i (Lloyds Register, 2016).

Kommercielle skibe er udstyret med elektroniske navigationsinstrumenter, der informerer om skibets position (GPS m.fl.), om afstanden til andre skibe og om disses kurs og fart samt det forudsagte trajektorie (fra ARPA,³ radar og AIS⁴), og der anvendes elektroniske søkort. For skibe kræves der en bemanded bro og i visse situationer også en person til overvågning af det omgivende farvand. Større skibe styres ved at indplotte en rute i det elektroniske søkort. En autopilot holder skibet på dette foruddefinerede spor. Manuel styring af ror og hovedmotor benyttes ved manøvrering eller for at håndtere en fejlsituation.

Tabel 2. Terminologi for skibe

Terminologi vedrørende automatisk styring, fjernbetjening, fjernovervågning og autonomi	
Manuel navigation af handelsskibe	Navigatøren giver kommando om ønsket kurs og fart, enten til en roergænger eller som en indstilling på en autopilot og til brostyring af skibets hovedmotor. Navigatøren har elektroniske søkort og egen position og kurs. Et radarsystem viser andre skibes kurs og fart.
Automatisk kursstyring	Kursstyring foretages mellem indkodede positioner, og skibets autopilot sørger for, at man sejler fra position A til B.
Beslutningsstøtte	Beslutningsstøtte består i at planlægge en rute- og fartprofil for at nå en havn på et givent tidspunkt med en given forudsigelse for sø- og vindforholdene undervejs. Mere vidtgående beslutningsstøtte kunne bestå i at vejlede navigatøren om udførelsen af en undvigemanøvre i et snævert farvand.
Fjernbetjent navigation	Fjernbetjening forstås som muligheden for at fjernstyre et punkt til autopiloten og effekten på fremdrivningsmaskineriet.
Fjernovervågning	Måleværdier fra sensorer i f.eks. maskinrummet om kurs og fart vises i realtid i et operationscenter på land eller om bord på et andet fartøj. Ved fuld overvågning transmitteres TV-overvågningen og radarbilledet, således at operationscentret har tilstrækkelig information om skibet og dets omgivelser til at kunne udføre fjernbetjent navigation.
Delvis autonomi	Skibet har systemer, der foretager en situationsbestemmelse, vurderer konsekvenserne og rådgiver navigatøren om, hvordan der bør reageres. Navigatøren er ikke nødvendigvis fysisk til stede på skibets bro.
Fuld autonomi	Situationen opfattes og vurderes, og der træffes beslutning om, hvilken handling der skal udføres, uden indgriben fra mennesker.

³ ARPA er en forkortelse for *Automatic Radar Plotting Aid*. ARPA funktionen beregner andre skibes kurs og fart og advarer hvis der er risiko for kollision.

⁴ AIS er en forkortelse for *Automatic Identification System*. Skibe med en AIS sender information om skibets identifikation, dets position, kurs og fart.

Sikkerhed

På trods af de ovenfor nævnte informationssystemer og styringsmuligheder forekommer der et stort antal kollisioner og grundstødninger hvert år, og European Maritime Safety Agencys uheldsstatistikker peger på menneskelige fejl som den udløsende årsag i 62% af hændelserne med EU-registrerede skibe i perioden 2011-16 (EMSA, 2016). Statistikken over ulykker med dødelig udgang påpeger, at arbejde på et skibsdæk, f.eks. med fortøjning, er 5 til 16 gange farligere end jobs i land (Primorac & Parunov, 2016), (Roberts, et al., 2014). Fortalere for øget autonomi påpeger, at sikkerheden til søs vil kunne øges væsentligt med højt automatiserede/autonome skibe.

Kollisioner til søs søges undgået ved, at alle skibe følger vedtagne søvejsregler (COLREG) (IMO, 2017 (convention from 1972)). Regelsættet beskriver populært sagt skibsfartens vigepligt og signaler. Under komplicerede forhold kan et regelsæt imidlertid blive komplekst, ligesom misfortolkninger fører til en del kollisioner til søs. Indførelsen af autonom navigation forventes at kunne reducere antallet af sådanne hændelser. Korrekt og pålidelig fortolkning af søfartsreglerne (COLREG) er dog afgørende for at opnå forøget sikkerhed gennem autonomt navigerende fartøjer. Det er vanskeligt at udforme algoritmer for opfyldelse af COLREG-regelsættet, fordi COLREG er situationsbestemt og tilmed åben for fortolkning på visse områder. Behovet for algoritmer har længe været erkendt (Munk, 1989), og der er foretaget en del studier, ligesom algoritmer er blevet foreslået, se (Lazarowska, 2017), (Grinyak, 2016), (Johansen, et al., 2016), (Zhang & Furusho, 2016), (Naeem, et al., 2016) (Li & Ma, 2016), men løsningen af COLREG-algoritmeproblemet befinder sig stadig kun på forskningsniveauet.

En helt væsentlig udfordring i arbejdet med at opnå pålidelig beslutningsstøtte (Kim, et al., 2015) og i sidste ende autonom navigation er valideringen af sikker opførsel i forbindelse med et automatisk COLREG-system. Snævre farvande og fartøjer med begrænset manøvrerevne, f.eks. på grund af størrelse og dybgang, er i særlig grad udfordrende såvel for navigatører som for algoritmer, der skal kunne varetage autonom navigation.

Udkig er et krav i kystnære områder. Forskningsprojektet MUNIN (MUNIN, 2016) har vist, at der opnås en sikrere situationsopfattelse ved hjælp af kamerateknologi kombineret med computersyn i et synligt, infrarødt område, end det er tilfældet med menneskeligt udkig. På helt eller delvist ubemandede fartøjer kan udkig erstattes med en kombination af forskellige sensorer, herunder radar og computersyn i forskellige bølglængdeområder (AAWA, 2016), (Levander, 2017). Eksperimenter med sådanne systemer pågår i flere sammenhænge. I (Herman, et al., 2015) testes sensorfusion med anvendelse af bilradarteknologi og computersyn i det synlige område.

Autonomi har været testet på mindre fartøjer til både civilt og militært brug gennem to årtier (Bertram, 2008), (Manley, et al., 2016). Fra presseklip kender man til planer for større fartøjer til militært brug, men dokumenterne som sådan er klassificerede.

Kommende forsøg i Norge (Kongsberg, 2016) med et offshore fartøj og i Finland med en færge (AAWA, 2016) sigter mod at demonstrere teknologi, hvor fjernovervågning foretages ved hjælp af sensorer og givetvis sensorfusion. Demonstrationsfartøjerne skal vise, at et operationscenter i land ved hjælp af fjernbetjening kan overvåge, at navigation og manøvrering foregår sikkert og pålideligt.

Visionen med fuldt implementeret autonomi er, at skibets systemer selv kan fortolke sin situation i forhold til omgivelserne og selv kan håndtere alle situationer. Nogle er af den opfattelse, at total autonomi ikke nødvendigvis er den mest hensigtsmæssige eller den bedste økonomiske løsning for alle typer overfladeskibe.

Der vil givetvis være en glidende overgang fra den nuværende automatiseringsgrad inden for navigation til det fuldt autonome. Der er et potentiale for forøget sikkerhed, men også debat om, hvorvidt helt ubemandet sejlads vil være løsningen (Bertram, 2016).

Autonominiveaue for bemandede, fjernbetjente, fjernovervågede og ubemandede systemer er defineret af Lloyds Register (Lloyds Register, 2016) som vist i Tabel 3. Disse autonominiveauer omhandler kun aspekter ved navigation.

Tabel 3. Autonomi niveauer (Autonomy Levels (AL)) tilpasset fra Lloyds Register

Beskrivelse	Operatørens rolle
AL 0: Manuel styring. Styreorganer eller setpunkter til kurs m.v. betjenes manuelt.	Operatøren er om bord eller fjernstyrer via radiolink.
AL 1: Beslutningsstøtte om bord. Automatisk styring af kurs og fart i henhold til givne referencer og ruteplan. Kurs og fart måles af sensorer om bord.	Operatøren indtaster ruten som "waypoints" og ønsket fart. Operatøren overvåger og ændrer kurs og fart, hvis det skulle blive nødvendigt.
AL 2: Beslutningsstøtte om bord eller fra land. Styring af rute gennem en sekvens af ønskede positioner. Ruten er beregnet, så en ønsket plan holdes. Et eksternt system kan uploade en ny ruteplan.	Overvåger operation og omgivelser. Ændrer kurs og fart, hvis en situation gør det nødvendigt. Forslag til indgreb kan gives af algoritmer.
AL 3: Eksekvering med menneske, der overvåger og godkender. Beslutninger om navigation foreslås af systemet på baggrund af sensorinformation fra fartøjet og dets omgivelser.	Overvåger systemets funktion og godkender handlinger, inden de eksekveres.
AL 4: Eksekvering med menneske, der overvåger og kan gribe ind. Beslutninger om navigation og operationelle handlinger beregnes af systemet, som selv eksekverer det beregnede efter godkendelse af operatøren.	En operatør overvåger systemets funktion og griber ind, hvis det skønnes nødvendigt. Overvågning kan foregå fra land.
AL 5: Overvåget autonomi. Overordnede beslutninger om navigation og drift beregnes af systemet. Konsekvenser og risici tilgås så vidt muligt. Sensorer opfatter relevante elementer i omgivelserne, og systemet fortolker den situation, det befinder sig i. Systemet beregner egne handlinger og udfører disse. Operatøren kontaktes i tilfælde af usikkerhed i fortolkningen af situationen.	Systemet udfører selv beregnede handlinger. Operatøren kontaktes, medmindre systemet er meget sikker på sin fortolkning af omgivelserne, af sin egen tilstand og af de deraf beregnede handlinger. Overordnede mål er fastlagt af en operatør. Overvågning kan foregå fra land.
AL 6: Fuld autonomi. Overordnede beslutninger om navigation og operation beregnes af systemet. Konsekvenser og risici beregnes. Systemet handler på baggrund af sine analyser og beregninger af egen formåen og omgivelsernes reaktion. Viden om omgivelserne og om tidligere og typiske forløb medtages på et "maskinintelligent" niveau.	Systemet træffer selv afgørelser og afgør sine handlinger. Beregninger af egen formåen og prædiktion af omgivende trafiks forventede reaktion. Operatøren inddrages i beslutninger, hvis systemet er i vildrede. Overordnede mål kan være fastlagt af systemet. Overvågning fra land.

Pålidelighed og driftssikkerhed

Hvor navigation omtales ovenfor, skal skibets maskineri være både pålideligt og driftssikkert, for at der kan opnås et velfungerende, højt automatiseret fartøj. Fremdrivningsmaskineriet er afgørende for et skibs

manøvreevne og dets mulighed for at navigere. Dette afsnit diskuterer derfor, hvilke krav der bør stilles til pålideligheden og driftssikkerheden af det maskineri og de hjælpesystemer, der findes om bord.

Skibes fremdrivningsmaskineri, hjælpemaskiner, elforsyningsgeneratorer, separatorer, pumper, kølesystemer m.v. er komplekse og vedligeholdskrævende. Størstedelen af bemanningen på kommercielle fartøjer udgøres af maskinbesætningen. Ved nedsat eller ingen bemanning er maskinsystemerne om bord helt afgørende for en acceptabel pålidelighed.

I ReVolt-projektet (Adams, 2014) foreslår DNV-GL en metode til opnåelse af pålidelighed, hvor redundant fremdrivningsmaskineri driver to propeller. Projektet kalkulerer med, at tiden mellem fejl på væsentlige komponenter i den elektriske fremdrivning er betydeligt længere og dermed bedre end for konventionelt maskineri.

Tabel 4. Niveauer af fejltolerance og redundans

Fejltolerance og redundans	Funktionalitet
FT 5: Fejloperationel: Ingen enkeltfejl forhindrer navigation, sikker overvågning og fuldstændig normal fremdrivning.	Alle hovedfunktioner er dobbelt- eller tredobbelt-redundante. Alle andre funktioner er fejloperationelle over for enkeltfejl og fejltolerante over for dobbeltfejl. Fejldiagnose og fejlhåndtering er autonom.
FT 4: Fejltolerant: Alle enkeltfejl kan håndteres uden operatørens indgriben, men reduceret ydeevne tillades.	Hovedfunktioner er redundante. Alle funktioner er fejltolerante over for enkeltfejl. Indbygget fejldiagnose og fejlhåndtering sikrer autonom fejlhåndtering.
FT 3: Fejltolerant: Alle enkeltfejl kan håndteres med operatørens hjælp. Reduceret ydeevne kan tillades ved fejl.	Hovedfunktioner er redundante. Alle funktioner, der er nødvendige for at kunne gennemføre en forlægning, er fejltolerante over for enkeltfejl. Indbygget fejldiagnose og fjernkontrol tillader fejlhåndtering via operatør om bord eller fra land.
FT 2: Fremdrivning og styring er redundant. Andre delsystemer er ikke nødvendigvis redundante, men kan omkobles for at håndtere fejl.	Omkobling med henblik på fejlhåndtering foretages om bord eller fjernstyret fra land.
FT 1: Fremdrivning og styring er redundant. Andre delsystemer er ikke nødvendigvis redundante.	Fejldiagnose sikrer information om nødvendige tiltag til fejlhåndtering. Håndteringen foretages af personer om bord eller fra land. Redundans i funktioner til fremdrivning og navigation, men ikke i øvrige hjælpesystemer.
FT 0: Systemer er ikke fejltolerante. Ved fejl skal omkobling/udskiftning foretages af personale om bord.	Ingen redundans.

Pålidelighed opnås også ved, at fejl i et delsystem kan erstattes af en redundant funktionalitet. Redundans er enkel og dermed billig at opnå i et skib med elektrisk fremdrivning. Derfor taler meget for at anvende

elektrisk fremdrivning i autonome skibe. Energiforsyningen kan have form af batterikapacitet eller hybride løsninger bestående af en forbrændingsmotor med en generator, der producerer elektricitet til direkte brug og/eller til opladning af batterier.

Pålidelig drift på trods af fejl kan opnås ved hjælp af teknologier og metoder, der bl.a. kendes fra køretøjer på land. En metodisk tilgang til håndteringen af enkeltfejl i elektrisk styring blev vist i (Blanke & Thomsen, 2006) og blev anvendt i industriel sammenhæng.

Det kan være nødvendigt at kategorisere niveauet af funktionel sikkerhed for at kunne identificere, hvilken funktionalitet der kræves for at opnå en fornøden pålidelighed og driftssikkerhed. En sådan kategorisering af redundans- og fejltoleranceniveauer er vist i Tabel 4.

Tabel 5. Overordnet metode til valg af ønsket niveau af autonomi

Overordnet metode til valg af ønsket niveau af autonomi	
A	Beskriv den forretningsmodel, der vil være relevant på kort og på længere sigt. Definer objektive behov få år ude i fremtiden såvel som et tiår eller længere ude i fremtiden. Lad behovsbeskrivelsen indeholde scenarier for, hvordan fartøjet skal bruges med fokus på, hvilke opgaver det skal udføre.
B	Beskriv det niveau af autonomi, det vil være hensigtsmæssigt at implementere for at opnå de ønskede egenskaber. Undersøg økonomi og sikkerhed i forbindelse hermed, og specificer, hvorvidt funktionerne ønskes udført.
C	Evaluer løsningernes teknologiske modenhed (technology readiness level) med henblik på at afgøre, om det endelige niveau af autonomi skal opnås gradvist eller på en gang. Undersøg, hvilken modularitet der skal benyttes for at muliggøre en eventuel udvidelse til et højere autonominiveau. Her bør særligt software modularitet være i fokus, da skibe i handelsflåden og til kommerciel brug kun sjældent bliver forsynet med ny hardware i deres levetid. Undersøg de økonomiske konsekvenser (cost over lifetime) ved forskellige autonominiveauer.

Valg af teknologi og automatiseringsniveau

Valget af teknologiniveau beror først og fremmest på, hvilken forretningsmodel man anlægger, og hvilken funktionel og operationel kapacitet der er brug for. U.S. Navy benytter en tre-niveau-model til at analysere og udvælge fremtidige behov (United States Navy, 2004). Tabel 5 omskriver og tilretter denne metode til kommercielle maritime forhold.

I forbindelse med valget af forretningsmodel og vurderingen af økonomien fremhæver nogle kilder besparelser i udgifterne til sejlene personel som et vigtigt element. Andre fremhæver manglen på kvalificeret personale som en væsentlig risiko. Ulykkesstatistikker (Roberts, et al., 2014) (EMSA, 2016) og en skibsdesignvirksomhed (Allan, 2016) fremhæver, at en minimering af det antal personer, der opholder sig i

farlige arbejdsområder, i sig selv er et væsentligt argument for at indføre fjernbetjente eller autonome arbejdsfartøjer, og henviser til den meget høje ulykkesfrekvens.

Ubemandede fly

Inden for luftbåren teknologi er fjernbetjent teknologi i hastig udvikling, og flere autonomniveauer (Kendoul, 2012) er i brug dagligt (Watts, et al., 2012). Samspelet mellem fjernbetjente eller autonome droner har været genstand for massiv forskning (Dalamagkidis, et al., 2012, 2nd edition), og i civilt luftrum findes der regler for godkendt brug på nogle niveauer, ligesom regler er undervejs for mere vidtgående integration af ubemandede systemer (Unmanned Aerial Systems (UAS)) med bemandede fly i det civile luftrum (Drone Advisory Committee, 2017).

Fly drager nytte af et AIS-lignende system, *traffic collision avoidance system (TCAS)*, som udsender information om position og om planlagt rute. Fly anvender tovejs-TCAS til at undgå kollision med andre fly.

Politiske og konkurrencemæssige overvejelser

Dette afsnit opridser de vigtigste elementer af politisk og konkurrencemæssig karakter, som vi forventer vil ligge til grund for den kommende introduktion af autonome fartøjer inden for forskellige segmenter af maritime opgaver.

Indledning

Autonomi på forskellige niveauer begynder for alvor at vinde indpas i transportsektoren. Skibe og fly har i mange år draget nytte af diverse former for selvstyreteknologier i form af enten autonome eller delvis overvågede systemer. For tog er teknologien kendt fra f.eks. den danske metro, hvor toget er ubemandet, men overvåget fra et kontrolcenter.

På vejsiden er autonome køretøjer begyndt at vinde indpas inden for de seneste år. På lastbilsiden har ikke mindst *platooning*, dvs. kolonnekørsel, været testet gennem en årrække og vil formentlig kunne gå i kommerciel drift inden for en relativt kort periode.

På personbilsiden har de senere år budt på en række hjælpeteknologier i form af advarselssystemer ved baneskift (lane assistant/warning), automatisk afstands- og bremsekontrol og parkeringsassistent. Og på det seneste har Tesla og Mercedes sendt modeller på markedet, der i vid udstrækning kan køre selv, i alle tilfælde på f.eks. motorveje og motorvejslignende strækninger.

Denne udvikling har været stærkt medvirkende til, at Transportministeriet har valgt at gøre Danmark til centrum for test af autonome køretøjer med start fra 1/7 2017. Baggrunden for dette er et ønske om at teste de brugermæssige og kommercielle muligheder ved at åbne for nye teknologier, der kan understøtte autonom kørsel. Forsøgene vil formentlig i mindre grad have fokus på udvikling af nye teknologier, og langt mere på analyser af, hvad brugen af teknologierne kan føre til, og hvor de med fordel kan implementeres. Som en sidegevinst vil analyserne også kunne påvise effekterne på f.eks. trafiksikkerheden og være med til at kortlægge "regimer" for håndtering af ansvarsfordeling mm.

Tiltagene i vejtrafikken har åbnet for de øvrige transportformers fokus på mulighederne i de autonome teknologier, herunder naturligvis de konkurrencemæssige udfordringer denne udvikling vil kunne føre med

sig. I en godstransportmæssig sammenhæng betyder det f.eks., at lastbilens konkurrencekraft vil kunne forbedres markant i forhold til andre transportformer, såfremt behovet for og omkostningerne til en chauffør kan reduceres. I en nutidig sammenhæng, hvor chaufføromkostningerne udgør ca. 1/3 af de samlede omkostninger,⁵ vil en reduktion af disse have en ikke ubetydelig betydning for vejtransportens konkurrencekraft over for de øvrige transportformer.

Den politiske kontekst — herunder EU-politikken

Interessen for autonome transportløsninger påkalder sig ganske betydelig politisk interesse. Ud over en markant omkostningsbesparelse er det en vej mod en løsning af forventelige flaskehalsproblemer på arbejdsmarkedet. Omvendt vil disse omkostningsreduktioner kunne føre til dels mere vejtrafik, dels at der flyttes transport fra især *short sea* til vej. Sidstnævnte gælder naturligvis især for transporter over længere afstande, hvor EU har en målsætning om, at 30% af godstransporter over 300 km i 2030 skal foregå med sø eller bane som hovedtransportform. Og da udviklingen mod en mere udtalt grad af autonome løsninger må forventes at stige, er det med andre ord nødvendigt at introducere disse løsninger på søen og banen.

Konkurrencefladen til lastbilen

Et afgørende element i analysen af autonome skibes egnethed til varetransport er knyttet til konkurrencefladen til lastbiltransporten. Gennem en årrække har ikke mindst den internationale lastbiltransport i Europa gennemgået en relativt stærk udvikling. Der kan anføres en række forklaringer herpå. Blandt de vigtigste skal peges på en markeds- og produktudvikling, hvor fokus oftest er på hurtige leverancer i mindre partier; et marked, der passer rigtig godt til lastbilen.

Samtidig har den teknologiske udvikling af lastbiler og infrastruktur styrket deres pålidelighed. Og i et marked med fokus på hurtighed og fleksibilitet står lastbilen, der kan udføre mange transporter direkte mellem afsender og modtager, stærkt i sammenligning med f.eks. skib. Sidstnævnte kræver mange operationer og omladninger, inkl. en dyr for- og eftertransport. Og hertil kommer en ikke ubetydelig dokumenthåndtering, der langt overgår lastbiltransportens CMR-dokument.

Logistik og dokumenthåndtering indgår i de forretningsmodeller, der bør overvejes som en del af indførelsen af autonomi på et givet niveau.

Udviklingen i lastbilteknologien

American Transportation Research Institute (ATRI) har i deres rapport (Shoer & Murray, 2016) peget på følgende helt afgørende forhold af betydning for brug af og fordele ved autonome lastbiler:

- Forøget produktivitet, da køre-/hviletidsforhold lettes.
- Forøget sikkerhed.
- Reduceret chaufførmangel (da antallet af nødvendige chauffører mindskes).
- Fastholdelse af chauffører i autonome enheder, da jobindholdet forbedres.
- Reduceret behov for rasteplasser samt reduceret fravær fra hjemmet på sigt.
- Forbedret helbred hos chauffører, da det vil være muligt at reducere stillesiddende, monotont arbejde.
- Forbedret økonomi for lastbiloperatører (flere km og færre chaufføromkostninger).

⁵ Gælder for en typisk national transport, som vi anser for at være det mest relevante sammenligningsgrundlag her.

- Reduceret lastbilbestemt trængsel på grund af mere kørsel i ydretimer.
- Forbedret sikkerhed, da distraktion af chauffører ikke får samme konsekvens som i dag.

Bundlinjen er, at lastbilens konkurrencekraft vil blive forbedret markant på kort sigt. Nogle af disse overvejelser af de driftsmæssige og økonomiske fordele kunne overføres til delvist bemandede skibe.

Trængsel

Selvkørende lastbiler (og personbiler) vil kunne sikre en mere smidig trafikafvikling, især når den samlede bestand er udskiftet til selvkørende enheder. Dette forventes dog først at være tilendebragt om 20-30 år. Samtidig er det forventeligt, at selvkørende enheder på både niveau SAE 4 og 5 vil åbne op for en langt større individuel mobilitet, hvilket i sidste instans vil føre til mere trafik og følgelig mere trængsel.

Miljø

Nye drivmidler, herunder el, vil have en klart positiv indflydelse på såvel lastbilers som skibes energiforbrug. I vejtransportsektoren er el allerede introduceret på varebiler, hvor det med fornuft kan anvendes på biler med et behov for en aktionsradius på 100-150 km. For lastbiler er batteriteknologi og vægt en højt prioriteret udfordring.

Eldrevne færger er tættere på, hvilket de kommende fartøjer på Helsingør–Helsingborg-overfarten og til Ærø forventes at vise. En overgang til elektrisk fremdrivning af skibe vil medføre en radikal reduktion i behovet for overvågning af maskineriet kombineret med en forventelig større driftssikkerhed og følgelig lavere driftsomkostninger.

Øvrige analyser

Autonome skibe er i nogen udstrækning blevet analyseret i en række projekter, bl.a. i EU sammenhæng. Et hovedprojekt er MUNIN (*Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks*), som er et EU-finansieret studie. Studiet fokuserer på at afdække potentialer og muligheder i anvendelsen af autonome skibe; i første omgang til transport i bulk over lange afstande (handymax dry bulker på 75.000 dødvægttons). Begrundelsen for dette valg er, at det er på den lange, frie afstand, at den autonome teknologi for alvor kan udfoldes og give størst gevinst. Gevinsten kan især hentes gennem færre besætningsomkostninger og bedre brændstoføkonomi, som skal opveje højere byggeomkostninger.

Som udgangspunkt viser MUNIN-analysen, at det vil være muligt at indsætte autonome skibe i en række trafikfaser, f.eks. med autonom sejlads om natten. Der peges også på løsninger, hvor overvågningsystemer kan monitorere maskineri og andre dele af skibet.

Regulering og juridiske forhold

Analysen peger på, at der set over en bred kam ikke synes at være markante udfordringer med at håndtere et autonomt fartøj. Der vil – naturligvis – være en række forhold i relation til det juridiske ansvar ved brugen af autonome fartøjer, der skal afklares. Ud fra en sikkerhedsmæssig betragtning synes udfordringerne at være overskuelige, da f.eks. antallet af kollisioner og grundstødninger med autonome fartøjer vil blive stærkt reduceret sammenholdt med konventionelle fartøjer. I en længere overgangsfase vil der dog kunne opstå problemer, når autonome skibe sejler "side om side" med "ikke-autonome" skibe. Her må man forvente, at de to skibstyper reagerer forskelligt, og specielt de autonome fartøjer skal derfor have navigationsrutiner, der kan kompensere for disse forskelle.

De juridiske spørgsmål er derfor især knyttet til den mere klassiske ansvarsfordeling, herunder mellem operatører og skibsførere i det såkaldte "shore control center" (SCC). Lignende problemstillinger analyseres pt. i tilknytning til test af autonome køretøjer, hvorfor der muligvis kan hentes inspiration fra dette arbejde. En helt grundlæggende problemstilling, der forekommer såvel til lands som til vands, vil dog være sameksistensen af autonome og manuelle enheder i det samme miljø. Dette forhold skal underkastes nærmere undersøgelser. Det må dog forventes, at kommende forsøg med delvist autonome køretøjer, der kan påbegyndes fra sommeren 2017, vil bringe værdifulde informationer til torvs.

Autonome skibe omtales ikke i de internationale koder og konventioner, der er blevet udarbejdet i løbet af de seneste 200 år, fordi det har været antaget, at alle skibe altid er bemandede, og netop dette faktum stiller os over for en stor udfordring. Det kan medføre, at de juridiske rammer halter bagefter den tekniske udvikling og således kan udelukke nogle af de måder, hvorpå autonome skibe kan operere internationalt. På den anden side er den indledende konklusion, at det ikke er nødvendigt at vente på FN's internationale søfartsorganisation (IMO), fordi national regulering tillader autonome skibe i nationale farvande.

Der er dog et tvingende behov for, at IMO engagerer sig i arbejdet med at fremme fjernbetjente og autonome skibe. Udfordringen består i at sikre, at de juridiske udfordringer håndteres omhyggeligt, således at emnet nyder fremdrift i IMO på lang sigt.

Vi har i de seneste år kunnet iagttage en tendens i IMO til ikke længere at vedtage særligt detaljeret regulering, der angiver nøjagtige tekniske løsninger baseret på traditioner og erfaringer. I dag har IMO en ambition om at vedtage regulering, der bl.a. er baseret på forskning og fysiske principper, og som gør det muligt at konstruere nye løsninger, der ikke er set tidligere.

Søfartsstyrelsen er på linje med IMO og arbejder aktivt på at gøre regler målbaserede og funktionsbaserede, således at Det Blå Danmark får de bedste muligheder for at anvende sine kompetencer i den globale konkurrence – også når det drejer sig om autonome skibe.

Den internationale organisation for navigation og farvandsafmærkning (IALA) forbereder sig ligeledes på det fremtidige arbejde med autonome skibe og vil i dette indtænke autonome skibes effekt på bestemmelser og tjenester relateret til navigationshjælpemidler.

Kommunikation med fartøjet

Et andet aspekt knyttet til håndteringen og styringen af autonome fartøjer er data- og kommunikationssikkerhed, herunder sikkerhed i relation til cyberangreb- og hacking. MUNIN-studiet tillægger ikke dette aspekt større betydning og vurderer, at det er muligt at sikre sig mod denne type af angreb. Endvidere er det usikkert, hvorvidt disse skibe overhovedet er attraktive, når det drejer sig om denne type overfald.

Her må vi erkende, at vi ikke deler MUNIN's vurdering, idet vi ligesom Lloyds Register lægger betydelig vægt på cybersikkerhedsaspekter. Hvorvidt fartøjer er attraktive mål vil afhænge både af, hvilken last der sejles med, som hvilket formål der er med angrebet (løsepenge, anvendelse af skibet til fjendtlige handlinger eller noget helt tredje). Der er et direkte behov for at indtænke cyberrisici i designet af autonome systemer.

MUNIN's analyseelementer

MUNIN-projektet har fokuseret nærmere på følgende elementer og teknologier:

- "Advanced sensor module" omfatter infrarøde og "visual spectrum"-kameraer suppleret med radar og AIS, som alle leverer data til navigationsbrug. Disse data leveres med henblik på at kunne udføre de bedst mulige handlinger under de givne forudsætninger (p. 8).
- "Deep sea navigation systems" sikrer data til håndtering af skibets overordnede adfærd og fremfærd. Dette sker ved at fastlægge "COLREG"-betingelser i forhold til andre skibe og sikre, at de autonome fartøjer navigerer i overensstemmelse med disse regler. Derudover sikres følgende:
 - At meteorologiske informationer anvendes til at optimere trans-ocean-rejser.
 - At skibet håndteres sikkert under de givne vejrforhold i overensstemmelse med IMO-vejrstandarder.

Systemerne kan fungere fuldstændigt autonomt, men kan også tillade, at operatøren hos "shore control center" tager over og hjælper med navigationen gennem fjernstyring af fartøjet. Sidstnævnte kræver naturligvis, at det er muligt at oprette sikker elektronisk kontakt med fartøjet.

- "Remote Manoeuvring Support System" består af hjælpesystemer, der hjælper med at manøvrere skibet under svære forhold/i smalle stræder mm. på baggrund af indsamling og analyse af data fra tidligere, tilsvarende manøvrer. Skibet kan derfor godt være autonomt; systemet understøtter manøvreringsrutiner, som skibet ellers ville udføre ud fra tilgængelige "her-og-nu" data.
- "Engine monitoring systems" sikrer kontinuerlig overvågning af skibets maskineri. Ud over at hindre nedbrud kan systemet sikre en bedre vedligeholdelsesplanlægning. Skibets egne systemer håndterer data, men derudover er der kontakt til et "shore control centre", som kan justere informationsniveauet.⁶
- "Maintenance Interaction system" ligner meget ovenstående med fokus på vedligehold. Og vel at mærke vedligehold, der sikrer, at maskineri mm. ikke bryder ned.
- "Energy efficiency System" sikrer, at skibet sejler energieffektivt. Det forventes, at skibet er langt mere automatiseret end i dag, at der sejles med to maskiner, og at alle vitale systemer er duplikeret, herunder med diesel-elektrisk udstyr.
- "Shore control center" supplerer skibets automatiske/autonome systemer og kan gribe ind ved større hændelser, herunder sikre en vis grad af "supervision" i forhold til bl.a. juridiske problemstillinger, der normalt håndteres af kaptajn og maskinmester. Systemet kan også sætte skibet i et såkaldt "fail to safe" mode, såfremt kommunikationen svigter. Shore Control Center kan gribe ind i komplekse situationer, som det autonome system ikke kan håndtere. Hermed balancerer projektet mellem teknologisk kompleksitet og økonomisk rationalitet.

AAWA-konsortiets analyser

AAWA-konsortiet (*Advanced Autonomous Waterborne Applications*) er et nationalt finsk projekt.

Hvidbogen (AAWA, 2016) gennemgår resultater fra projektets første år:

- Vision for fjernbetjent/autonom drift.

⁶ Konceptet minder umiddelbart meget om Rolls Royce-konceptet, hvor der på en række områder sker løbende monitorering. Det skal bemærkes, at fartøjet er forudsat udstyret med to maskiner.

- Teknologier for situationsopfattelse og autonom navigation.
- Juridiske forhold og konsekvenser.
- Sikkerhed og tryghed ved autonom skibsfart.
- Fra innovation til marked – skibsfart redefineret.

Det er de deltagende virksomheders mål at udbrede fjernovervåget og fjernbetjent teknologi til markedet og at fortsætte til højere niveauer af autonomi inden for en årrække (Levander, 2017).

Projektet planlægger at demonstrere forskellige niveauer af autonom teknologi på en finsk færge omkring 2020.

Skibstyper til videre analyse i projekt om autonome skibe

Valg af skibstype til fortsatte analyser og undersøgelser anser vi for afgørende for at nå gode resultater, herunder at identificere indsatsområder, der kan medvirke til at bringe Danmark i en førerposition. Analyseområderne kan derfor med god fornuft tilpasses områder, hvor der også på en relativ kort bane kan forventes at være efterspørgsel efter ny tonnage eller ønsker om tilpasning af bestående.

Rolls Royce har i deres præsentationsvideo fokuseret på en mellemstor bulkcarrier bl.a. i fart på Atlanten og/eller Stillehavet. Denne skibstype er kendetegnet ved i forvejen at have en forholdsvis beskedne besætning, hvoraf en del arbejder i maskinrummet. Dette forhold forventer vi ikke umiddelbart vil kunne ændre sig markant, så længe skibet er udstyret med en konventionel forbrændingsmotor. Desuden vurderer vi, at omkostningsbesparelserne ved en reduceret besætning vil være ret beskedne for denne skibstype.

Vi har derfor vurderet, at en indsats på andre og især mindre skibstyper i nærtrafik vil være langt mere relevant; ikke mindst fordi der her vil være mulighed for at kombinere autonomi med elektrisk fremdrift, hvilket kan reducere bemandskravene markant. Blandt de oplagte tonnagetyper skal der især peges på følgende:

- Små/mindre ø-færger
- Slæbebåde
- Pramme
- Forsynings-/serviceskibe til boreplatforme, vindmøller mm.
- Autonome overfladefartøjer til servicering af undervands- og droneenheder til offshore-inspektion.

Disse skibstyper udmærker sig ved at være oplagte emner for udviklingen af såvel autonome systemer som elfremdrevne systemer og evt. andre, alternative energiformer.

Og hvorfor så lige disse anbefalinger? Taget en for en er argumenterne følgende:

Ø-færger: Små færger til mange danske øer er disse samfunds livsnerve og eneste reelle forbindelse til omverdenen. Omkostningerne ved at drive disse oftest kommunale færger er relativt høje. De udsættes derfor ofte for besparelser – eller forsøg på dette. Besparelserne vil ofte føre til en negativ spiral, hvor folk fraflytter øerne og derfor yderligere driver disse i en udkantsretning. Derfor er løsninger, der kan reducere omkostningerne ved betjeningen (sejladsen), i høj kurs, idet reducerede omkostninger vil kunne resultere i

forbedret tilgængelighed til øerne; noget der både privat- og samfundsøkonomisk vil have positiv betydning. Der ser derfor ud til at være muligheder for at kombinere elektrisk fremdrift (som vil indgå i de kommende Ærø-færger) med en større eller mindre grad af autonomi.

"Større eller mindre grad af autonomi" dækker over det forhold, at færgers besætninger dels håndterer de tekniske og navigationsmæssige forhold i forbindelse med færgens drift, dels udfylder en sikkerhedsmæssig rolle i relation til passagererne. Så et afgørende spørgsmål er, hvorledes dette forhold kan håndteres, såfremt besætningen reduceres eller helt forsvinder fra færgen. En simpel løsning kunne være at bibeholde besætningen i dagtimerne, hvor passagertallet må antages at være højest, for derefter at reducere eller helt fjerne besætningen på tidspunkter, hvor passagertallet er meget beskedent.

Der kan f.eks. peges på mulighederne for at udstyre beboere på øerne med et certifikat eller duelighedsbevis, som gør det muligt for dem at betjene færgen under bestemte forhold. Dette kan gøre det muligt for beboerne at passe jobs på skæve tidspunkter. Certifikatet kan også gives til f.eks. ambulanceførere og andre, således at en ambulancefører kan sejle en ambulance mellem fastlandet og øsamfundet alene og dermed sikre et langt bedre og billige sikkerhedsmæssigt beredskab til en række øsamfund. Modellen kan naturligvis udbredes til andre transportformer, hvor antallet af personer er begrænset.

Slæbebåde: Disse fartøjer er ofte indsat i begrænsede tidsrum i specifikke geografiske områder og ville kunne være autonome eller fjernstyrede (Allan, 2016). Med udgangspunkt i argumenterne for de canadiske design kunne der være markedsmæssige muligheder for danske virksomheder og værfter her.

Pramme og lægtene mm: Med udgangspunkt i det norske design (Adams, 2014) kan selvfremdrevne pramme til brug ved "short sea shipping" eller anden gods- og materialetransport ligeledes vise sig at være et interessant udviklingsområde.

Forsyningsskibe: Mindre forsyningsskibe, der sejler forsyninger og mandskab/montører ud til boreplatforme og vindmølleparker, kan formentlig gøres autonome og udstyres med eldrevne fremdrift (Kongsberg, 2016).

Økonomien i autonome løsninger

Et meget vigtigt argument for at arbejde med autonome skibe er de omkostningsbesparelser denne teknologi på sigt vil kunne føre med sig. Omkostningsbesparelserne skal ses i et generelt perspektiv, hvor fokus er på at reducere omkostningerne i alle dele af produktionskæden, herunder transporten.

Derudover skal det understreges, at fremkomsten af autonome køretøjer, herunder autonome lastbiler, i væsentlig grad øger konkurrencefladen over mod søtransporten. Der er derfor også her en vægtig grund til at arbejde med den autonome teknologi inden for søtransporten for ikke at blive "agterudsejlet".

Omkostningsreduktionerne ved autonome skibe sammenlignet med traditionelle fartøjer kan ikke opgøres med sikkerhed. Det er dog klart, at besætningsomkostninger udgør en relativt stor andel af de samlede omkostninger på passagerskibe sammenholdt med de tilsvarende tal for fragtskibe. Forklaringen er den simple, at passagerfartøjer i dag kræver betydelige mandskabsressourcer til passagervendte opgaver. Det drejer sig bl.a. om anvisning og støtte til passagererne, men naturligvis også om service om bord. Indledningsvis vil reduktionerne omfatte den del af besætningen, der udfører opgaver i tilknytning til

færgens navigation. På sigt vil dette også kunne udvides til besætningsmedlemmer med sikkerhedsrelaterede opgaver, såfremt dette kan kombineres med automatisering af service på færgen.

Løseligt anslået udgør personaleomkostningerne på færge og i land mellem 50 og 65% af de samlede omkostninger ved en ø-færge. Hvis ny teknologi i form af autonome løsninger på sigt kan fjerne nogle af disse omkostninger, ville det være meget relevant at se på dette. Høje personaleomkostninger er den vigtigste faktor bag denne interesse.

Det er ikke ualmindeligt, at bruttoomkostningerne pr. ansat løber op i 1 mio. kr. på årsbasis, hvilket er et betydeligt beløb. Vi vurderer derfor, at autonome løsninger vil kunne nedbringe disse omkostninger betydeligt og dermed åbne for mere omkostningseffektive nye løsninger og nye markeder. Autonomiteten vil derfor omfatte både fastholdelse og udvikling af eksisterende betjening samt muligheder for at udvikle et marked, herunder internationalt, for nye løsninger og teknologier. Dette vil være af stor interesse for diverse producenter og Danske Maritime som organisation.

Der vil naturligvis være tale om gradvise indfasninger, der tager højde for opgavernes karakter, besætningens gøremål ud over det rent navigationsmæssige, aftaleforhold samt ikke mindst den teknologiske udvikling. Men der hersker næppe tvivl om, at autonome teknologier vil kunne anvendes til at udvikle nye færgetyper på betryggende og omkostningsmæssig god vis.

I forbindelse med ø-færger er det vigtigt at holde sig for øje, at disse dækker et bredt spektrum, for så vidt angår geografi, sejladsafstande og færgestørrelser. Færgesekretariatet dækker ca. 30 ruter med færger, der har en overfartstid på mellem 2 minutter og 3 timer. Der er dermed tale om et bredt spænd af typer og ydelser. En væsentlig del af færgerne besejler dog ruter med en overfartstid på mellem 4 og 12 minutter.

Ø-færgemarkedet udmærker sig samtidig ved, at en betragtelig del af færgerne står over for en relativt snarlig udskiftning. Samtidig bliver der arbejdet med at indføre el-fremdrivning på disse færger, ligesom der vil være en mulighed for at kombinere autonomi med el-fremdrift og/eller hybrid teknologi.

Autonome skibe og grænsefladen til andre transportformer

En væsentlig bevæggrund for at arbejde med autonome teknologier er naturligvis fremvæksten af disse. Der findes nu en række muligheder, der vil styrke søtransporten, hvilket i sig selv er af stor relevans.

Hertil skal tilføjes, at de autonome teknologier styrker andre transportformers konkurrencekraft betragteligt. Droner vil i fremtiden kunne udføre en række opgaver, som hidtil er blevet udført af mindre skibe, herunder i nogen udstrækning af f.eks. feeder-skibe. Ikke mindst en styrkelse af landtransporten vil kunne medføre den ikke ønskede "modality swing back" effekt, dvs. at gods, der er flyttet fra vej til sø, rykker tilbage til landjorden. Dette vil på den korte bane kunne være situationen, når platooning af lastbiler med overvejende sandsynlighed bliver introduceret i løbet af de kommende år.

Aktiviteter vedrørende ubemandet sejlads

Dette kapitel oplister en række aktiviteter, der kunne være ønskelige skridt på vejen mod ubemandet sejlads. Nogle af aktiviteterne vil kunne opbygge den viden og erfaring, der er nødvendig for en sikkerhedsvurdering og godkendelse af autonome fartøjer til søs; andre vil kunne bidrage til

vidensopbygning i Danmark på områder, der er helt centrale for autonomi til søs; og endelig oplistes forslag til demo-projekter. Nogle af de skitserede projekter er baseret på gradvis indførelse af høj automatisering, hvor forsøg vil kunne iværksættes inden for en forholdsvis kort tidshorizont. De mest visionære projekter er baseret på fuldstændigt autonome enheder og vil kræve teknologi, der først skal modnes gennem forskning og afprøvning i lille skala.

Idekataloget indeholder følgende emner, hvor 1-3 omfatter forskning og opbygning af viden, og 4-6 omhandler demonstration og opbygning af erfaring med anvendelsen af autonom teknologi.

1. Elektronisk udkig – hvordan kan sensorteknologi og computergenkendelse af objekter til søs anvendes til at opnå korrekt erkendelse af et skibs omgivelser?
2. Situationsfortolkning og antikollision – hvordan kan information fra sensorer om bord fusioneres og fortolkes, så der opbygges et maskinforståeligt billede af situationen for ens eget og omgivende fartøjer? Hvordan kan der manøvreres, så søvejsreglerne overholdes, og kollision undgås, også selvom et fartøj i omgivelserne ikke overholder søvejsreglerne?
3. Design, overvågning og validering af systemer til autonom navigation – hvordan kan et autonomt navigationssystem testes og valideres, så det kan certificeres som værende sikkert og pålideligt?
4. Autonome ø-færger – hvordan kan autonom teknologi tænkes anvendt til at forbedre transportbetjeningen af befolkningen på små øer?
5. Autonome service- og arbejdsfartøjer.
6. Autonome servicefartøjer til undervands- og drone-inspektion.

Elektronisk udkig

Ide

Sensorteknologi kan gøre det muligt at ændre procedurerne for udkig på skibe. Et sådant paradigmeskift kunne åbne op for muligheder for at ændre skibes design, indretning og operationsmåde radikalt, og vil også kunne påvirke driftsøkonomien.

Et fartøj med sensorbaseret udkig ville ikke nødvendigvis kræve en kommandobro, hvorimod designet af skibets aptering kunne optimeres med udgangspunkt i behovet for last og lasthåndtering snarere end efter behovet for udkig fra en bro.

Driftsmåden kunne potentielt ændres, så udkig ikke foretages ved fysisk tilstedeværelse på skibet, men via datalink til land, hvorfra overvågning og eventuelt fjernstyring kunne finde sted.

Reduceret bemanning med navigatører ville kunne opnås med elektronisk udkig som et grundelement med henblik på at få en ubemandet brofunktion, hvor computerfortolkning af skibets situation og af dets omgivelser skal håndtere den autonome navigation, undtagen i komplekse situationer, hvor en navigatør ville være påkrævet for at tage beslutninger og styre skibet.

Sikkerhed

På vejen mod ubemandede skibe vil indførelsen af autonom navigation, suppleret med avanceret automatisering, kræve ekstremt pålidelig sensorinformation om skibets omgivelser, for at navigationen skal kunne udføres sikkert og pålideligt.

Søfartsstyrelsen vil få behov for at kunne opstille krav vedrørende funktionalitet, pålidelighed, redundansniveau og fejlhåndtering.

Forskning inden for sensorfusion, maskinel genkendelse og klassifikation af objekter i omgivelserne er centrale elementer, når der skal opnås det nødvendige niveau af pålidelighed og sikkerhed. Et autonomt system skal kunne fungere, uanset at en enkelt sensor måtte svigte, og det skal kunne fungere under alle vejrforhold.

Metode

Praktisk afprøvning af sensortyper og sensorfusionsteknologier under alle relevante vejrforhold.

Vurdering af navigatørens rolle og det autonome systems funktionalitet på forskellige automatiseringsniveauer:

- Til beslutningsstøtte og til brug ved tilkald af navigatør (AL 1-3).
- Til beslutningstagning med overvågning (AL 2-4).
- Overvåget autonomi (AL 5).

Simulering af system-operatør-interaktion i normale og i specielle situationer.

Overvågning og validering af systemer til autonom navigation

Ide

Situationsopfattelse og fortolkning er afgørende for, hvordan et automatisk antikollisionssystem kan og skal fungere. Hittidige forskningsmæssige tiltag har fokuseret meget på, hvordan COLREG-regelsættet kan overholdes, og dette problem skaber i sig selv betydelige udfordringer. I forbindelse med automobiler anvendes der teknikker fra "Deep Learning" for at få en algoritme til at lære af egne situationer og opdatere den med situationer fra andre tilsvarende enheder, så man opnår en kollektiv læring af bedste praksis.

For at man fra offentlig side kan have tillid til, at en sådan COLREG-algoritme altid opfører sig forudsigeligt og pålideligt, vil følgende tiltag være hensigtsmæssige:

- At COLREG-algoritmer bliver certificerede for korrekt funktion, når de er fabriksnye.
- At disse algoritmer vedbliver at opføre sig korrekt; med andre ord at de ikke navigerer i modstrid med regler eller undtagelser, heller ikke når de lærer undervejs af egne eller af andre enheders situation.
- At der etableres monitorering af testfartøjers opførsel, og at AIS-data og andet benyttes til at beregne kollisionsrisici i forbindelse med bemandet og autonom skibstrafik.

Den risiko-orienterede tilgang vil kunne anvendes til at udarbejde regulering på området.

Metode

I designfasen indeholder valideringen af et lærende system *monte carlo*-simuleringer, hvor situationsparametre varieres over et område, og resultater analyseres. Korrekt og forudsigelig opførsel

indebærer, at de resulterende manøvrer holder sig inden for normalområdet, når inputsituationen perturberes.

Designet af de fleste af de COLREG-algoritmer, der omtales i litteraturen, anvender situationsbilleder fra radar og AIS sammen med information fra søkort til at beregne afvigelser fra den planlagte rute med henblik på at undgå kollisioner. Overvågningen af, om andre fartøjer navigerer korrekt ud fra deres lokale situation, kunne være en nøgle til længerevarende manøvreplanlægning og til fælles beslutningstagen af autonome enheder. Udgangspunktet skulle være et sæt normale adfærdsmønstre for alle enkeltfartøjer inden for relevant afstand, og algoritmer kunne detektere, om hvert enkelt fartøj opfører sig korrekt og hensigtsmæssigt. Fartøjer med afvigende adfærd kunne identificeres tidligt, således at der kunne holdes afstand til fartøjer med tekniske problemer eller med manglende navigationskvalitet af andre årsager. En sådan overvågningsmetode kunne implementeres både i land og på det autonome fartøj.

Risikoen for kollision og grundstødning kan vurderes ud fra eksisterende AIS-data. For så vidt angår biler, består tilgangen i at beregne en ekstremfordeling af afstand ud fra et stort antal målinger af afstande, hvor der ikke er sket uheld. En ekstremfordeling kan anvendes til at estimere det sandsynlige antal kollisioner, og data for antallet af faktiske kollisioner benyttes til at validere kvaliteten af ekstremfordelingsestimater. Tilsvarende metoder kunne benyttes til vurdering af risici i alle faser af udvikling, implementering og drift af autonomt navigerende fartøjer.

Små/mindre ø-færger

Ide: Danske øsamfund har udfordringer på grund af deres afsondrethed. En af hovedårsagerne er manglen på hyppige transportmuligheder. I et samfund, hvor nem transport af både personer og varer er en del af vores infrastruktur og levevis, er der behov for billig og hyppig transport til øer. Autonom teknologi kunne gøre det muligt at booke en eldrevet færge efter behov. Færgen kunne selv optimere sin sejlplan og give passagererne besked om afhentningstidspunktet.

Færgen ville foretage prioriteringen af ture. Hvis en ambulance med udrykning er undervejs fra fastlandet til øen, kunne færgen ligge klar i fastlandshavnen, når ambulancen ankommer til havnen. Den autonome løsning skal kunne konkurrere på tid og pris med helikopterassistance. Helikopterredning har begrænset kapacitet, og hvis der sker samtidige hændelser forskellige steder i landet, kan ventetiden for en ø-afhentning være så lang, at en sygdom kan kompliceres, eller det der er værre.

Autonome færger kan være små. De mindste behøver kun at kunne fragte et enkelt køretøj, og så kan en større autonom færge indsættes i perioder, hvor intensiveret trafik forudses.

Sikkerhed og pålidelighed

Færgens navigation og manøvrering klares sikkert af den autonome autopilot, der benytter supervision baseret på radar, lidar og kamera til overvågning af det omgivende farvand. Systemet fortolker færgens situation og omgivelser baseret på sensorinformation, på elektroniske søkort og på opdatering fra land med forhold af vigtighed.

Intelligent overvågning af forholdene ombord vil kunne alarmere lokalt samt alarmere et overvågningscenter i land. Live-video og lyd understøtter overvågningscentret i dets beslutningstagen. Det landbaserede center har mulighed for at fjernbetjene færgen, hvis det skulle vise sig at være nødvendigt.

Teknisk sikkerhed og pålidelighed opnås gennem indbygget fejltolerance af maskineri og automatisering og understøttes af intelligent supervision med mulighed for opkald til et operationscenter i land.

Personsikkerheden om bord på et skib udgør en særlig udfordring. Man kunne overveje at tillade ubemandet sejlads, hvis én eller flere passagerer om bord har gennemført et særligt sikkerhedskursus. Denne information kunne være indkodet i den pågældendes "rejsekort". Hvis en børnehaveklasse skal med færgen, hidkalder den autonome færge eller dens støttesystem i land professionel assistance fra besætningsperson(er), som er sikkerhedsuddannet, og færgen sejler ikke, før den eller disse personer har checket ind.

Metode

De ruter, der bør indgå i analysen, vil passende kunne udvælges i et tæt samarbejde mellem Søfartsstyrelsen og Færgesekretariatet. Erfaringerne fra arbejdet med den eldrevne ø-færge til Ærø, der er under bygning (2017), kan med fordel inddrages. Det gælder også for erfaringerne med at søge støttemidler til demonstrationsprojekter (EU-midler fra Horizon 2020).

Det skal afdækkes, hvilke færgetyper det ville være relevant at lade omfatte af autonome løsninger. Færgesekretariatet har udviklet en erstatningsfærge, der kan anvendes på et bredt udsnit af ruter, og eventuelle nye løsninger ville formentlig med fordel kunne tage afsæt i dette skib.

Potentiale ud over et demonstrationsprojekt

Nye og/eller eksisterende færger: Fordelene/ulemperne/mulighederne ved ombygning af eksisterende færger til autonom drift fremfor nybygning af færger skal afdækkes. I samarbejde med værftsindustrien, udstyrsproducenterne samt kunderne skal dette område afdækkes, og vi foreslår, at der etableres en arbejdsgruppe med deltagelse fra Søfartsstyrelsen til at varetage dette arbejde.

Kobling mellem autonomi og el: Mulighederne for at sammenkoble de to teknologier bør analyseres. Vurderingen er, at el for øjeblikket primært egner sig til kortere ruter; og måske i første omgang som en del af en hybridløsning, dvs. en løsning, hvor el er forbeholdt hjælpemaskineri. Nærværende projekt går ikke nærmere ind i sammenhængen mellem el til fremdrift og autonomi. Dette bør gøres til genstand for et selvstændigt projekt.

Udskiftningspotentiale: Det er vanskeligt at fastlægge det præcise potentiale for udskiftning af dieseldrevne færger med eldrevne færger; og i tilknytning hertil installation af autonome manøvreteknologier. Færgerne er bygget i perioden fra 1956 til 2006, og en betydelig andel af dem har en alder på mellem 20 og 30 år, ligesom en del står foran udskiftning. Der er med andre ord basis for handling her. En mulig løsning kunne være at bygge og indsætte mere standardiserede færger, evt. udviklet i forskellige størrelser. Disse færger kan så udvikles såvel med forskellige el-driftsteknologier som med forskellige grader af autonomi. Specielt for autonomien gælder det, at den formentlig i en række situationer vil kunne efterinstalleres på allerede bestående færger med en (betydelig) restlevetid.

Projektforslag: Med afsæt i de ovenfor skitserede forhold vedrørende antal, type og aldersfordeling af ø-færgerne foreslår vi et projekt for en færge, der besejler en kort rute (4-12 minutter) i et område, hvor de navigationsmæssige udfordringer er relativt beskedne, og hvor befolkningstætheden og den nuværende overfartsfrekvens stiller mindre krav til en 100 % systemmæssig opetid for færgen. Om muligt kombineres dette med en overfart, hvor det er let at tilkalde back-up i tilfælde af tekniske problemer, og hvor der er reel opbakning til et forsøg af denne karakter.

Hvad angår selve færgen, bør denne være af en standard, der muliggør en sådan opdatering, herunder at det vil være muligt at erstatte færgen med reservefærgen under ombygningsprocessen og ved eventuelle udfald. Derfor bør projektet udføres i et tæt samarbejde ned Færgesekretariatet.

Et afgørende spørgsmål er naturligvis knyttet til omkostningsbesparelserne ved brug af en autonom færge sammenholdt med en traditionel færge. Besparelsen vil primært bestå i reducerede mandskabsløbninger. Denne besparelse skal sammenholdes med de investeringer i ny teknologi, der skal gennemføres for at opnå det ønskede autonominiveau. Der fastsættes en tilbagebetalingstid for projektet, og der gennemføres en analyse af, hvorvidt dette kan realiseres. Som udgangspunkt udføres analysen som en ren finansiel analyse, men hvis det er ønsket, kan der kobles eventuelle samfundsøkonomiske elementer hertil (sikkerhed, miljø, pålidelighed og andet).

Autonome arbejds- og servicefartøjer

Ide

Der er forskellige arbejdsfartøjer, hvor autonom teknologi kunne være nyttig:

- Servicefartøjer til offshore-vindparker og olie-/gasproduktion.
- Motorpramme og lægtere til transport af varer og materiale.
- Slæbebåde.
- Ubemandede fartøjer, som Søværnet benytter til øvelsesbrug.

Et canadisk projekt vurderer, at mandskabsomkostningerne udgør en betydelig del af driften for slæbebåde, og foreslår et design baseret på en høj automatiseringsgrad (Allan, 2016). Der kunne være driftsmæssige fordele og bedre logistiksupport offshore, hvis håndteringen af reservedele og offshore sted-til-sted-persontransport kunne varetages af et eller flere autonome fartøjer. De kunne opholde sig i området, således at land-til-offshore-transport kunne undgås, medmindre sejlads til land var påkrævet.

Visse typer motorpramme foretager mange sejlads mellem givne positioner. DNV-GL ser i ReVolt-projektet på kystnær varetransport mellem havne. Dette vil være relativt komplicerede sejlads med havneanløb, hvorimod andre fartøjer udfører mere simple sejlads.

Til sømilitær anvendelse benytter man ubemandede fartøjer til øvelsesbrug, minerydning, opmåling og muligvis også ubådsjagt, og fartøjer er ligeledes blevet omtalt som værende ubemandede forsyningskibe. Detaljerne om de ubemandede militære fartøjer er ikke offentligt tilgængelige.

Sikkerhed og pålidelighed

Sikkerheds- og pålidelighedsaspekterne ved de nævnte arbejdsfartøjer vil følge dem, der generelt gælder for tilsvarende autonominiveauer, og det tekniske udstyr til situationsovervågning ville modsvare, hvad der allerede er beskrevet. Valget af sensorsystemer kan afhænge af fartøjets konkrete opgaver og af de omgivelser, hvori fartøjet skal operere.

Ligesom det er tilfældet med andre fartøjer, er pålideligheden og tilgængeligheden af maskineri til fremdrivning og manøvrering afgørende for sikkerheden og tilgængeligheden. DNV-GL konkluderer i ReVolt-projektet, at motorpramme til "short sea shipping" bedst opnår den pålidelighed og tilgængelighed, der er nødvendig for fuld autonomi, ved elektrisk fremdrivning.

Metode

Et projekt skal analysere de sejladsmanøvrer, et fartøj af denne type udfører i dag, og hvilke navigationsmæssige og andre styringsmæssige udfordringer der er forbundet hermed. I samarbejde med et eller flere specialrederier beskrives et relevant projekt, hvor fokus er på de omkostningsmæssige besparelser ved et autonomt fartøj, på omkostningerne til bygning/tilpasning af et sådant sammenholdt med et traditionelt fartøj samt endelig på et autonomt fartøjs performance sammenholdt med et bemandede fartøj.

Autonomt servicefartøj med kombineret undervands- og droneinspektion

Ide

Offshore-installationer gennemgår følgende faser: opbygning, løbende inspektion, løbende vedligehold, dekommissionering.

I vedligeholdelsesfasen af autonom teknologi, vil der kunne tilbydes priseffektiv og regelmæssig inspektion uden tilstedeværelse af personer. Undervandsinspektioner samt inspektioner udført fra luften er nødvendige elementer. Autonome undervandsrobotter kunne udføre regelmæssig inspektion og derefter svømme til et ubemandet moderskib for at aflevere video og andre sensorsignaler fra inspektionen og blive forsynet med energi til genoptagelse af inspektionsrunden. Modulær robotteknologi kunne foretage vedligehold på enheds-/ komponentudskiftningsniveau ved behov. Flyvende enheder kunne lande på moderfartøjet for på tilsvarende vis at blive forsynet med energi til fortsat operation.

En sådan autonom klynge ville opholde sig i lange perioder uden anden kontakt med mennesker end den, der udgøres af rapportering af inspektionsdata til land og eventuel modtagelse af instruktioner om den overordnede inspektionsplan.

En autonom klynge som den nævnte ville indrapportere data, ikke blot om de tekniske installationers tilstand, men også om det omgivende havmiljø. Eventuelle udslip kunne detekteres meget hurtigt, og biosfærens økosystemer kunne overvåges løbende og intensivt.

I forbindelse med dekommissionering af offshore-anlæg er der væsentlige inspektionsopgaver. På en offshore-vindmølle kan nacellens fastgørelsesbolte være rustet så godt fast, at der kræves specialudstyr for at adskille nacellen fra tårnet. Præcis viden om enhedens tilstand, som er opnået gennem autonom

inspektion fra luften og under vandet, kunne hjælpe med at allokere det nødvendige kranudstyr til nedtagningen. Omkostningerne til transport af unødigt udstyr ville kunne spares.

I en vedligeholdelsesfase skal der inspiceres for tæring i den zone, hvor bølger brydes mod strukturen, og det er både over og under vandet.

Sikkerhed

Sikkerheden for ubemandede enheder indebærer først og fremmest, at de ikke må påføre personer eller vitalt udstyr skade, når de anvendes i et offshore-felt. Vægtreduktion er et meget væsentligt element, når man forsøger at opnå denne type sikkerhed, men det er ikke tilstrækkeligt.

For så vidt angår flyvende enheder, kan man henholde sig til den type certificering, som FAA vil anviser i den ventede regulering, som også vil indeholde krav om certificering af udstyr (Drone Advisory Committee, 2017).

Der findes ikke tilsvarende regulering for undervandsenheder, men de operationelle krav og sikkerhedsprocedurerne skal tilpasses de gældende krav for operation af ROV-undervandsenheder (Remotely Operated Vehicles).

Det autonome overfladefartøj vil skulle udformes og opereres i overensstemmelse med kommende regulering for mindre ubemandede fartøjer.

Metode

Et autonomt servicefartøj opholder sig permanent i et område og fungerer som et moderskib, hvorfra autonome undervandsfartøjer og flyvende enheder kan tanke energi og aflevere data fra inspektion af et område. Flyvende og neddykkede enheder har relativt begrænset operationstid på grund af energiforsyningsproblematikken. Mulighed for hyppig optankning/opladning ville minimere konsekvensen af dette problem og gøre de flyvende/neddykkede enheder væsentligt billigere.

Den enkelte autonome enhed medbringer dedikeret udstyr (en sensorpakke) til monitorering af de dele, der har behov herfor.

Tilstedeværelsen af en sværm af billige autonome enheder til brug under og over havoverfladen og i luften sikrer, at inspektion og monitorering kan foregå løbende. Data analyseres maskinelt, og et operationscenter i land adviseres, når der er tegn på ændringer, som kræver en menneskelig eksperts vurdering.

Sam-operationen med land og den autonome supervision vil derfor ligne den løsning, som vil blive implementeret på ubemandede skibe, således at forskning og udvikling vil have synergi i begge typer anvendelser.

Teknologien og metoderne kendes allerede i en vis grad fra UAS (Unmanned Aerial System) teknologien, så det er ikke nødvendigt at starte udviklingen fra bunden.

Forretningsideen skal udarbejdes af eller i samarbejde med offshore-operatører og ejere inden for områderne havvindparker og olie-/gasudvinding.

Referencer

- Adams, S. D., 2014. *ReVolt – next generation short sea shipping*. [Online]
Available at: <https://www.dnvgl.com/news/revolt-next-generation-short-sea-shipping-7279>
[Senest hentet eller vist den 05 January 2017].
- Allan, R., 2016. *the Ramora tugboat design*. [Online]
Available at: <http://www.ral.ca/designs/tugboats>.
[Senest hentet eller vist den 12 Feb 2017].
- Bertram, V., 2008. *Unmanned Surface Vehicles a Survey*. s.l., s.n.
- Bertram, V., 2016. *Autonomous ship technology - Smart for sure, unmanned maybe*. London, RINA, Royal Institution of Naval Architects.
- Blanke, M. & Thomsen, J. S., 2006. Blanke, M. and J. S. Thomsen: Electrical steering of vehicles - fault-tolerant analysis and design.. *Microelectronics Reliability*, Årgang 46, pp. 1415-1420.
- Dalamagkidis, K., Valavanis, K. & Piegł, L. A., 2012, 2nd edition. *On integrating unmanned aircraft systems into the national airspace: Issues, challenges, operational restrictions, certifications and recommendations*. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer.
- Drone Advisory Committee, 2017. *Drone Advisory Committee Builds Consensus*. [Online]
Available at: <https://www.faa.gov/news/updates/?newsId=87465>
- EMSA, 2016. *Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2016*, s.l.: European Maritime Safety Agency.
- Grinyak, V., 2016. Fuzzy collision avoidance system for ships. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 55(2), pp. 249-259.
- Herman, D., Galeazzi, R., Andersen, J. C. & Blanke, M., 2015. Smart Sensor Based Obstacle Detection for High-Speed Unmanned Surface Vehicle. *IFAC-Papers Online*, 48(16), pp. 190-197.
- IMO, 2017 (convention from 1972). *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972 (COLREGs)*. [Online]
Available at: <http://www.imo.org/en/About/conventions/listofconventions/pages/colreg.aspx>
[Senest hentet eller vist den 10 February 2017].
- Johansen, T. A., Cristofaro, A. & Perez, T., 2016. Ship Collision Avoidance Using Scenario-Based Model Predictive Control. *IFAC-PapersOnLine*, Årgang 49, pp. 14-21.
- Kendoul, F., 2012. Survey of Advances in Guidance, Navigation, and Control of Unmanned Rotorcraft Systems. *Journal of Field Robotics*, 29(2), pp. 315-378.
- Kim, D. et al., 2015. *A study on the verification of collision avoidance support system in real voyages*. s.l., s.n.

Kongsberg, 2016. *Automated Ships Ltd and KONGSBERG to build first unmanned and fully-automated vessel for offshore operations*. [Online]

Available at:

<https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0238.nsf/AllWeb/65865972888D25FAC125805E00281D50?OpenDocument>

[Senest hentet eller vist den 10 February 2017].

Lazarowska, A., 2017. A new deterministic approach in a decision support system for ship's trajectory planning. *Expert Systems with Applications*, Årgang 71, pp. 469-478.

Levander, O., 2017. Autonomous Ships on the High Seas. *IEEE Spectrum*, Issue February.

Li, W. & Ma, W., 2016. Simulation on Vessel Intelligent Collision Avoidance Based on Artificial Fish Swarm Algorithm. *Polish Maritime Research*, 23(s1), pp. 138-143.

Lloyds Register, 2016. *Cyber-enabled ships: Deploying information and communications technology in shipping - Lloyd's Register's approach to assurance*, London: Lloyds Register.

Manley, J. E., Leonardi, A. & Beaverson, C., 2016. Research to operations: Evaluating unmanned surface vehicles.. *IEEE explore*.

MUNIN, 2016. *Marine Unmanned Navigation through Intelligence in Networks*. [Online]

Available at: <http://www.unmanned-ship.org/munin/>

[Senest hentet eller vist den 2017].

Munk, T., 1989. *Damage prevention and control - Obvious areas for marine expert systems*. Lyngby, s.n.

Naeem, W., Henrique, S. C. & Hu, L., 2016. A Reactive COLREGs-Compliant Navigation Strategy for Autonomous Maritime Navigation. *IFAC-PapersOnLine*, 49(23), pp. 207-213.

Primorac, B. B. & Parunov, J., 2016. Review of statistical data on ship accidents. I: G. S. & Santos, red. *Marine Technology and Engineering 3*. London: Taylor & Francis Group.

Roberts, S. E., Nielsen, D., Kotlowski, A. & Jaremin, B., 2014. Fatal accidents and injuries among merchant seafarers worldwide. *Occupational Medicine*, 64(4), pp. 259-266.

Shoer, J. & Murray, D., 2016. *Identifying Autonomous Vehicle Technology Impacts on the Trucking Industry*, Arlington: ATARI.

United States Navy, 2004. *The Navy Unmanned Underwater Vehicle (UUV) Master Plan*, s.l.: United States Navy.

Watts, A. C., Ambrosia, V. G. & Hinkley, E. A., 2012. Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use. *Remote Sensing*, Årgang 4, pp. 1571-1692.

Zhang, R. & Furusho, M., 2016. Constructing a decision-support system for safe ship-navigation using a Bayesian network. I: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. s.l.:s.n., pp. 616-628.

AAWA, 2016. *Remote and autonomous ships: the next steps.*, London: Rolls-Royce.