



TEKNOLOGISK
INSTITUT

State of the art

Selvflyvende droner på vej mod Danmark

XPONENTS
ALL THINGS UNMANNED

Titel:

State of the art – Selvflyvende droner på vej mod Danmark

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Analyse og Erhvervsfremme
Gregersensvej 1
2630 Taastrup

Juni 2017

Forfatter: Jesper Villadsen

Rapporterne er støttet af Styrelsen for Institutioner og Uddannelsesstøtte under Uddannelses- og Forskningsministeriet.

Indhold

1. Baggrund	4
1.1. Metode.....	4
2. Selvflyvende droner på vej mod Danmark	5
2.1. Droner flyver hurtigere end lovgivningen	5
3. Kan vi stole på automatpiloten?	7
4. BVLOS, energiforbrug, testcentre og databehandling	8
5. Flyvende taxier – teknologiudvikling løber foran lovgivning.....	9
Litteraturliste	10
Bibliografi	10
Interview	10
Kontakt	11

1. Baggrund

Baggrunden for denne rapport er Teknologisk Instituts arbejde med droner i regi af to individuelle resultatkontrakter. Styrelsen for Forskning og Innovation har bidraget med midler til begge resultatkontrakter om professionelle civile droner. Under den første resultatkontrakt er det hensigten at:

"opbygge en dybere forståelse for, hvordan droneteknologi kan udvikles, og hvorledes dette kan åbne op for nye eller mere avancerede anvendelser i eksempelvis store offshore-infrastrukturer, bygge- og anlægsbranchen, fremstillingsindustrien og energisektoren. De understøttende kompetencer til at realisere aktivitetsplanen er effektive energisystemer, sensorer, automationsteknologi, materialeteknologi, 3D-print og analyseteknologier" (Teknologisk Institut, aktivitetsplansbeskrivelse, 2015).

Formålet med resultatkontraktens aktivitetsplan er:

"[at] give danske virksomheder adgang til rådgivning, certificering og standardisering af komponenter, test og afprøvning af nye droneapplikationer samt et indblik i nye teknologiske og forretningsmæssige muligheder sammen med det lovkompleks, som omfatter droner" (Teknologisk Institut, aktivitetsplansbeskrivelse, 2015).

Den anden resultatkontrakt er forankret i AgroTech, der fra 2016 er en del af Teknologisk Institut. Formålet bag denne resultatkontrakt er:

"at understøtte den danske jordbrugs- og fødevarerhverv med nye metoder, viden og dokumentation af præcisionslandbrugets teknologier. Dette gøres ved at opbygge en nødvendig infrastruktur til forsøgsgennemførelse, sensorintegration og dataprocessering der med nye webapplikationer kan bringe sensormålinger frem mod resultater til beslutningsstøtte, dokumentation af performance og nyudvikling af teknologier. Højteknologiske markforsøg udvikler teknologiske serviceydelser til målgruppen som dækker hele jordbrugssektoren, sektorens leverandører og rådgivere." (AgroTech, aktivitetsplansbeskrivelse, 2015)

Teknologisk Institut, Analyse og Erhvervsfremme, udarbejder i regi af disse aktiviteter en serie af korte rapporter, der i takt med fremdriften i de øvrige aktiviteter i resultatkontrakterne vil afdække markedet for droner.

Den globale droneindustri sætter sig selv stævne en gang om året på AUVSI Xponential-messen i Texas. Her præsenteres de nyeste og hotteste bud på fremtidens droneteknologi. På messen i 2017 var flyvning uden visuel kontakt et af hovedtemaerne.

1.1. Metode

Rapporten 'Selvflyvende droner på vej til Danmark' er fremstillet på baggrund af informationsindhentning, interview og fokusgruppearbejde foretaget på AUVSI's dronekonference, All Things Unmanned Xponential, der blev afholdt i Dallas, Texas, i perioden 8.-11. maj 2017.

2. Selvflyvende droner på vej mod Danmark

Droneteknologien udvikler sig hastigt, og nye intelligente teknologier betyder, at droner i dag kan flyve selv uden en menneskelig dronepilot. Det kan udløse et enormt økonomisk potentiale for droneindustrien, når droner på egen hånd kan inspicere kilometervis af højspændingsledninger, store skovområder, havområder eller industrianlæg. Men det kræver, at dronerne kan flyve afsted, uden at et menneske konstant har visuel kontakt.

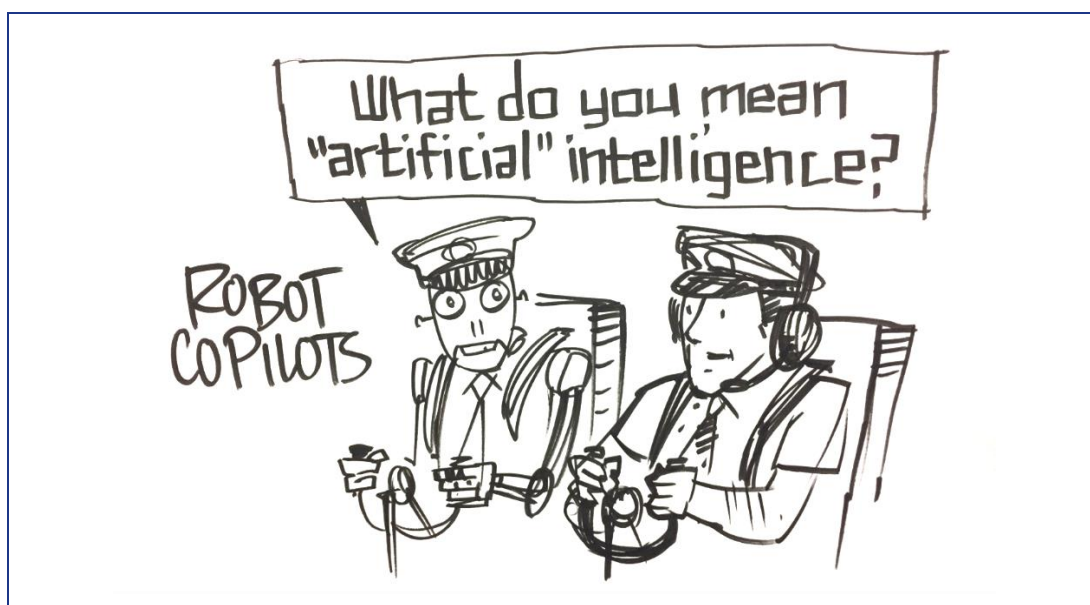
2.1. Droner flyver hurtigere end lovgivningen

Den teknologi, der holder droner i luften, er nu så fremskreden, og de økonomiske potentialer er så store, at forbud mod droneflyvning uden for visuel rækkevidde af piloten kan blive en hæmsko for droneindustriens vækstmuligheder.

Forkortelsen BVLOS (Beyond Visual Line of Sight) beskriver den droneflyvning, der sker uden for visuel rækkevidde af en pilot.

I Danmark er det – som i mange andre vestlige lande – forbudt at flyve en drone, uden at piloten til alle tider har dronen inden for visuel rækkevidde. Det er en stor udfordring, hvis man som virksomhed vil anvende droner i sin forretningsmodel. Skal man inspicere højspændingsledninger, havvindmøller, solcelleparker eller marker i landbruget, er det – som lovgivningen foreskriver – nødvendigt, at dronepiloten vandrer rundt i terrænet og følger med dronen på sin flyvetur.

Der findes dog teknologier og værktøjer, som en dronepilot kan anvende til at orientere sig forsvarligt med i luftrummet omkring dronen. Et godt eksempel på det er simple kameraer monteret på dronen, som forlænger pilotens visuelle rækkevidde (Extended Visual Line of Sight – EVLOS). Med hjælp fra sensorer og automatpilotsoftware kan droner i dag flyve sikkert uden menneskelig indblanding. Forskere ved Carnegie Mellon Universitetet i Pittsburgh, USA, har endda fået en drone til at lære sig selv [at flyve indendørs](#).



Artwork: Jim Nuttle

Udfordringen er at finde den rigtige blanding mellem den menneskelige pilot og den computerstyrede co-pilot. SAE International¹ har beskrevet seks autonomi-niveauer for automatisering, hvor forholdet mellem menneske og automatik ændrer sig. I figur 1.1 nedenfor er der illustreret de seks gældende standarddefinitioner på autonomi, som ifølge SAE findes i den kommercielle luftfart.

Figur 1.1 - Autonominiveauer i dronflyvning

Autonomi-niveau	Navn	Definition	Styring og bevægelse	Monitering af luftrummet	Fallback-procedure	Automatiserede flyvekonfigurationer	
Mennesket monitorerer luftrummet	0	Ingen automatisering	100 % menneskelig pilot, også selvom denne assisteres af advarsler og interventionssystemer.	M	M	M	-
	1	Pilotassisterende systemer	Et enkelt system, der assisterer en menneskelig pilot med enten acceleration/deceleration eller med styring af en UAV.	M + S	M	M	Enkelte
	2	Delvis automatisering	Et eller flere systemer, der assisterer en menneskelig pilot med enten acceleration/deceleration eller med styring af en UAV.	S	M	M	Enkelte
Systemet monitorerer luftrummet	3	Betinget automatisering	En automatpilot, der assisteres af en menneskelig pilot, hvor mennesket forventes at intervenere med acceleration/deceleration og styring, når systemet beder om det.	S	S	M	Enkelte
	4	Høj automatisering	En automatpilot, der assisteres af en menneskelig pilot, men som intervenserer med acceleration/deceleration og styring i tilfælde, hvor den menneskelige pilot ikke intervenserer.	S	S	S + M	Næsten alle
	5	Fuld automatisering	Fuldt automatiseret pilot. Ingen menneskelig indblanding.	S	S	S	Alle

Note: Figuren viser de seks standardniveauer for autonomi i droner.

M = menneskepilot, S = Systempilot.

Kilde: SAE International.

Med rødt er markeret de to niveauer, der i dag er oplagte at anvende til BVLOS-flyvninger. På begge niveauer er mennesket involveret som en ekstra procedure, hvor mennesker tager over, hvis der skulle gå noget galt, eller hvis automatpiloten vurderer, at et menneske må overtage styringen for at lave en kritisk prioritering eller en manøvrering.

¹Society of Automotive Engineers, SAE, er en amerikansk baseret global standardiseringsorganisation.

Dét, der for alvor holder BVLOS-lovgivningen tilbage i dag, findes i det afgørende spørgsmål: Skal det være et menneske eller en maskine, der er ansvarlig for at monitorere luftrummet omkring dronen?

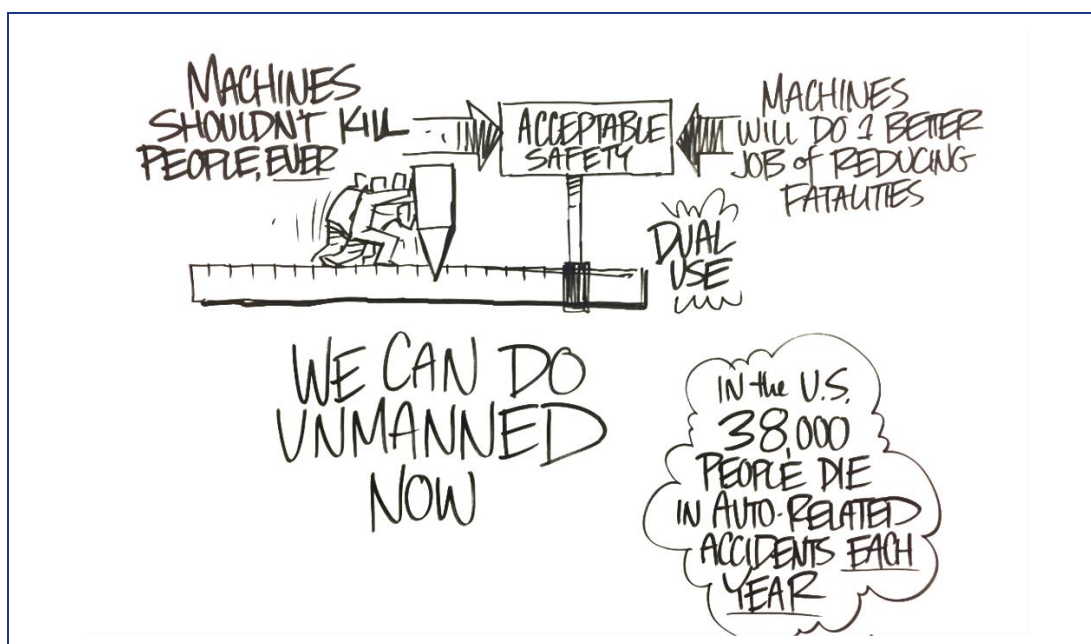
For dronen er det fuldt ud muligt. Et avanceret sense-and-avoid²-system vejer i dag kun 350 gram, så der er intet teknisk i vejen for, at eks. droner på mellem 7 og 25 kg kan flyve BVLOS, hvis de har det rette udstyr. Som lovgivningen er i dag, er det kun mennesker, der må overvåge, om luftrummet omkring dronen er sikkert nok, selvom dronen er udstyret med sense-and-avoid-teknologi, der endda klarer opgaven bedre end mennesket.

3. Kan vi stole på automatpiloten?

Kan vi så stole på autonomi og kunstig intelligens til at flyve dronerne sikkert i havn og styre uden om elmast og mennesker? Eller kan vi tillade os at stole *nok* på dronens automatpilot til at flyve sikrere, end hvad mennesker i dag kan?

Spørgsmålet blev diskuteret på AUVSI XPOntential-messen, og Michael Huerta – direktør for den amerikanske luftfartsorganisation FAA – påpegede, at "spørgsmålet *ikke* er, om teknologien kan sikre pålidelige droner – det kan den. Spørgsmålet er derimod, om vi kan forene holdningen om, at en maskine *aldrig* må være ansvarlig for en trafikulykke, med det faktum, at maskiner i dag formår at redde flere menneskeliv, end mennesket selv kan".

Man taler derfor om et 'acceptabelt niveau' af sikkerhed, der er foreneligt med sandsynligheden for, at en droneulykke sker, og som er proportionalt med den relativt beskedne skade, en drone kan forvolde.



Artwork: Jim Nuttle

² Sense-and-avoid er teknologier, der sikrer, at dronen kan registrere sine omgivelser og undgå forhindringer – fx andre flyvende objekter, skorstene, master, træer og andet, der rager op i luften.

Forskningsleder Mark Skoog fra NASA's Armstrong Flight Research Center forsker i øjeblikket i, hvordan autonomi kan indlejres mere systematisk i den nuværende luftfartskontrol. For ham drejer det sig ikke om at regulere den 'gode' adfærd, som selvstyrende droner udviser i dag, men derimod om, hvordan man håndterer de få gange, hvor autopiloten udviser uhensigtsmæssig adfærd – dvs. flyver ind i en flyveforbudszone, fordi den undviger en menneskemængde, eller flyver ind i en parkeret bil for at undgå et træ:

"Det handler om at skabe en troværdig autonomi, og det skaber vi dels ved at levere en autonomiarkitektur, der kan udvides til flere systemer, og dels ved at forsøge at kvantificere tilliden og levere dronen et 'moralsk' kompas".

4. BVLOS, energiforbrug, testcentre og databehandling

Danmark er med fremme i allerforreste led i den globale droneforskning med udvalgte forskningsaktiviteter.

Et dansk bidrag er muligheden for at teste droner. Fredag den 6. maj i år åbnede Odense Kommune et nationalt testcenter for dronetrykning, hvor man bl.a. har fået tilladelse til at teste BVLOS-flyvninger. **UAS Test Center Danmark** ligger i Odense H.C.A. Lufthavn, og ud over faciliteterne på jorden følger et 35 km bredt og 19.000 fod højt luftrum over Nordfyn og det nordfynske hav, hvor virksomheder og forskningsinstitutioner kan afprøve og demonstrere den mere højtflyvende teknologi, der tillader BVLOS-flyvninger.

Med Danmarks Nationale Dronestrategi, der blev offentliggjort i september 2016, blev der investeret 64 millioner kroner i aktiviteter i **dronecenteret på Syddansk Universitet**. Det har blandt andet resulteret i en 3D-radar og i to nye dronelaboratorier ved UAS Test Center Danmark i Odense Lufthavn.

Teknologisk Institut investerer også i droneteknologi. Teknologisk Institut forsker i avancerede sensorer, i robotteknologi, i anvendelse af 3D-print og i energisystemer, der skal kunne holde dronerne i luften i dagevis. Energisystemer, der giver droner mulighed for at operere over længere tid og større afstande, er helt afgørende for dronerne. Michael Blades, analytiker hos Frost & Sullivan, er én af de førende eksperter på dronemarkedet. Han bekræftede på konferencen, at flyvetiden er vigtig: "Hvis der er nogen derude, der kan finde på en løsning, der øger den gennemsnitlige flyvetid for droner fra den nuværende 1 time til et niveau på bare 2-3 timer, vil droneindustrien skyde afsted som aldrig før".

Særligt software og sensorer nyder ifølge Michael Blades stor interesse fra investorer og venture kapital i dronemarkedet i øjeblikket. Der er eksempelvis stor interesse i styringssoftware, lokaliserings- og navigationsteknologier, flyve- og baneplanlægningssoftware og *machine learning* og kunstig intelligens i behandling af de store mængder data, der fanges og nedtages af droner i eksempelvis *search and rescue*, inspektion, byggeri eller landbrug.

Det er med andre ord både længere flyvetid og BVLOS, der skal med i ligningen, før droneindustrien for alvor vil opleve økonomisk vækst.

5. Flyvende taxier – teknologiudvikling løber foran lovgivning

Hvor hurtigt droneindustrien udvikler sig i øjeblikket illustreres af overskrifterne fra møderne i den amerikanske luftfartsorganisation Federal Aviation Administration (FAA). For bare få år siden diskuterede direktør i FAA, Michael Huerta, på møder, hvordan man langt ude i fremtiden kan forestille sig, at pakkeomdeling med droner kan blive en realitet, og hvordan man evt. kan regulere det. Men allerede i år blev der på AUVSI XPOntial-messen gennemført [en 157 km lang pakkeomdeling](#) ved hjælp af en fastvinget drone. Den blev sikkert styret ved hjælp af den samme type signaler, der bruges til mobiltelefoni.

US Federal Aviation Administration (FAA) har det lange lys på og er i dialog med Airbus, Boeing og firmaet Uber, der har [annonceret](#), at de i 2021 har planer om at lancere ubemandede flyvende taxier i luftrummet over de større amerikanske byer. Den flyvende taxi vil være et e-VTOL-fly, der er baseret på el som drivkraft. Den vil kunne samle en person op i midten af downtown og transportere personen sikkert og hurtigt til rette destination et stykke uden for byen. Vel at mærke til en forventet pris på omkring 10 kr. pr. km. En pris, der gradvist vil blive billigere, i takt med at den teknologiske udvikling skrider frem.

Konkrete planer om flyvende taxier illustrerer den udfordring, lovgivningen står overfor, når den teknologiske udvikling ruller sig ud. Lovgivningen skal på den ene side sikre borgernes sikkerhed, og på den anden side skal den ikke forhindre virksomheder i at udnytte det vækstpotentiale, som ny teknologi kan levere. Lovgiverne har næsten ikke en chance for at være på forkant med teknologien, men dronelovgivningen vil givetvis skulle tages op igen i løbet af få år.

Tekstboks – AUVSI XPOntial

Association for Unmanned Vehicle Systems International (AUVSI) er verdens største non-profit organisation inden for ubemandede systemer og robotter. Deres medlemsskare inkluderer mere end 7.500 organisationer, virksomheder og forskningsinstitutioner fra lande i hele verden. Foreningen er dedikeret til at fordre, udvikle og øge interessen for ubemandede systemer og robotteknologier – herunder særligt droner (UAV).

Foreningen AUVSI afholder flere industrirettede arrangementer, hvoraf den årlige All Things Unmanned XPOntial-konference repræsenterer den største globale samling af den private industri, forskningsinstitutioner, offentlige organisationer og droneentusiaster i verden.

I 2017 afholdte AUVSI dronekonferencen i Dallas, Texas, fra den 8.-11. maj, hvor flere end 7.000 gæster deltog, og 300+ private virksomheder og organisationer præsenterede deres arbejde. Seks nationaliteter var officielt repræsenteret som bidragydere: Kina, Canada, Spanien, Storbritannien, Frankrig og Danmark. Teknologisk Institut deltog også.

Litteraturliste

Bibliografi

- **Skoog, Mark A, Less, James L. (2014)** "Development and Flight Demonstration of a Variable Autonomy Ground Collision Avoidance System" Presented at the annual meeting of the American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), Atlanta, Georgia, June 16–20, 2014. https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/-DR-0005-DRC-012-033_iGCAS-paper_2014-06-28.pdf
- **Holden, J. & Goel, N. (2016)** "Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation", published by Uber Technologies, October, 2016, available at: <https://www.uber.com/elevate.pdf>
- **Jenkins, D.; Vasigh, B.; Oster, C. & Larsen, T. (2017)** "Forecast of the Commercial UAS Package Delivery Market" available at: <https://news.erau.edu/-/media/files/news/-forecast-commercial-uas-package-delivery-market.pdf?la=en>
- **Gandhi, D. Pinto, L. Gupta, A (2017)** *Learning to Fly by Crashing*, published by The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, available at: <https://arxiv.org/pdf/1704.05588.pdf>

Interview

- Mark Skoog, Project Manager & Principle Investigator, Automatic Systems Project Office, NASA's Armstrong Flight Research Center
- Michael Huerta, Administrator, Federal Aviation Association
- Michael Blades, Research Analyst – Aerospace, Defence & Security, Frost & Sullivan
- Mark Moore, NASA Langley Research Center, (representing Uber Technologies).

Kontakt

Teknologisk Institut er din kilde til information om dronemarkedet. Vi rådgiver vores kunder med strategisk forskning og udvikling, afdækker kommercielle markeder for virksomheders droneprodukter og giver jer det seneste nye om mulighederne i ny teknologi.



Jesper Villadsen

Business & Policy Consultant
M.Sc. Copenhagen Business School
T: 72 20 10 76
E: jevi@teknologisk.dk



Stig Yding Sørensen

Centerchef
Analyse & Erhvervsfremme
T: 72 20 10 76
E: stys@teknologisk.dk