

Afdækning af værdien af positioneringstjenester i Danmark

Rapport for Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering

ENDELIG RAPPORT



Marts 2019

Om London Economics

London Economics (LE) er et førende uafhængigt økonomisk konsulenthus med et team af økonomer, der har specialiseret sig inden for alle rumerhvervets dele, fra raketopsending til brugernær anvendelse af rummets tjenester og signaler – og alt derimellem.

Som virksomhed har vi opnået et stærkt renommé ved at levere uafhængige analyser i verdensklasse og akademisk robust forskning, tilpasset kundens behov, i mere end 30 år. Fra hovedkontoret i London og kontorer i fem andre europæiske hovedstæder serviceres vores internationale kundekreds.

Som team har vi udviklet innovative analytiske teknikker for at kunne levere troværdig konsulentbistand til beslutningstagere i rumerhvervet, rumagenturer og regeringer i flere lande siden 2008. Vi har opbygget stor viden inden for rumerhvervets økonomi og har ekspertise i samfunds- og erhvervsøkonomiske analyser. Vi bruger denne viden til at reducere usikkerhed og vejlede beslutningstagere i dette vanskelige miljø.

Vore konsulenter er højtuddannede økonomer med stor erfaring i at anvende en bred vifte af analytiske teknikker specifikt til rumerhvervet, herunder:

- Markedsanalyser og efterspørgselsfremskrivninger;
- Støtte til businesscases (økonomisk og finansiell gennemførlighed);
- Værdi-for-pengene (cost-benefitanalyse, omkostning-effektivitetsanalyse);
- Konsekvensanalyse og politikevaluering (navnlig nytteværdianalyser og afsmittende effekter);
- Sofistikerede statistiske analyser (økonometriske);
- Analyse af erhvervsstrukturer og konkurrencedynamikker;
- Kommerciel due diligence.

Hovedkontor: London Economics, Somerset House (New Wing), Strand, London WC2R 1LA, United Kingdom.

w: londoneconomics.co.uk/space

e: space@londoneconomics.co.uk

t: +44 (0)20 3701 7717

🐦: [@LE_Aerospace](https://twitter.com/LE_Aerospace)

Forfatter

Rasmus Flytkjær Associate Director, Space



Wherever possible London Economics uses paper sourced from sustainably managed forests using production processes that meet the EU Ecolabel requirements.

Copyright © 2019 London Economics. Except for the quotation of short passages for the purposes of criticism or review, no part of this document may be reproduced without permission.

London Economics Ltd is a Limited Company registered in England and Wales with registered number 04083204 and registered offices at Somerset House, New Wing, Strand, London WC2R 1LA. London Economics Ltd's registration number for Value Added Tax in the United Kingdom is GB769529863.

Indhold

Page

Resumé	ii
1 Indledning	1
1.1 Motivation og baggrund	1
1.2 Begrænsninger	1
2 Introduktion til positionering	2
2.1 Relevante parametre for positioneringstjenesterne	2
2.2 GNSS	3
2.3 Andre positioneringstjenester	6
2.4 Teknologisk udvikling på positioneringsområdet	9
3 Samfundsøkonomisk værdi af positioneringstjenester	11
3.1 Anvendelse af positioneringstjenester	11
3.2 Samfundsøkonomiske effekter ved brug af positioneringstjenester	14
3.3 Opregning af tab ved udfald af positioneringstjenesterne	19
4 Erhvervsøkonomisk værdi af positioneringstjenester	23
5 Konklusion	24
Indeks af Tabeller og Figurer	25
BILAG	26
Bilag 1 Forkortelser	27
Bilag 2 Anbefalet læsestof	28

Resumé

Positioneringstjenester dækker et bredt udsnit af teknologier, som særskilt eller i kombination med andre tjenester kan sikre, at brugere kender deres position i to eller tre dimensioner.

Globale Navigations Satellit Systemer (GNSS) er den mest udbredte tjeneste til absolut positionering, som i kraft af sin globale (udendørs) dækning, er blevet en standardteknologi.

GNSS er et sjældent eksempel på et offentligt gode, hvor brugere ikke kan udelukkes, og en brugers anvendelse af godet ikke påvirker andre brugeres adgang til godet eller den kvalitet de opnår. Fordi GNSS er gratis at bruge (men har kostet mange skattekrone at bygge), er det interessant at undersøge om de stater, der har betalt, får valuta for pengene.

Analyser i denne rapport har beregnet, at **23,1% af Danmarks BNP** skabes i brancher, som er afhængige af GNSS til forskellige applikationer.

Baseret på sekundær litteratur vedrørende Storbritannien er nytteværdien af GNSS i Danmark beregnet til **14,3 mia. kr.** i 2019, med anseelige gevinster inden for transport og navigation samt sundhed, sikkerhed og udrykning. Denne værdi er beregnet til at vokse til **19,6 mia. kr.** i 2030 (i faste priser). Det er også beregnet, at Danmark kan påregne et samlet tab ved et fem-dages udfald af GNSS-tjenester på **4,9 mia. kr.**

Resultaterne er baseret på en antagelse om, at Danmarks brug af, og sårbarhed overfor udfald i, GNSS er tilsvarende til Storbritanniens. Som sammenlignelige moderne samfund er dette en rimelig antagelse i udgangspunktet, men visse specifikke implementeringer er forskellige i de to lande.

På trods af disse usikkerheder vurderes de beregnede værdier at give et nogenlunde retvisende estimat efter danske forhold.

1 Indledning

Denne rapport afdækker værdien af positioneringstjenester i Danmark baseret på gennemgang af mange forskellige kilder. Positioneringstjenester er næsten synonymt med Globale Navigations Satellit Systemer (GNSS), men positionering kan opnås med mange andre signaler og systemer.

I kapitel 2 introduceres positionering og forskellige tilgængelige teknologier og systemer, med primært fokus på GNSS. Kapitlet analyserer også den teknologiske udvikling på positioneringsområdet.

I kapitel 3 afdækkes de samfundsøkonomiske gevinster ved GNSS fra tre perspektiver: 1) analyse af statistiske brancher med eksempler på anvendelse af GNSS samt disse branchers bidrag til BNP. 2) nytteværdien ved brug af GNSS i en stor mængde applikationer præsenteret efter de krav der stilles til nøjagtighed. Beregningen af nytteværdien er foretaget for både 2019 og 2030, for at illustrere hvilke områder, der forventes at vokse, og hvilke der er mættet. 3) opregning af tab ved udfald af GNSS, præsenteret efter anvendelsesområde. Kapitel 4 opsummerer eksisterende data om den erhvervsøkonomiske værdi af GNSS.

1.1 Motivation og baggrund

GNSS er et sjældent eksempel på det økonomer kalder *offentlige goder*. Det vil sige, at det ikke er muligt at udelukke brugere fra GNSS (ikke-eksklusivt) og at en brugers anvendelse af systemet ikke påvirker en anden brugers adgang til systemet (ikke-rivaliseret).

GNSS opfylder ikke-eksklusivitetskravet, fordi det er gratis at bruge, og det er meget billigt at købe udstyr. Alle smartphones kan bruge GNSS, og det er rimeligt at antage, at den ekstra pris man betaler for den mulighed er uden betydning for befolkningen. Ikke-rivaliseringskravet opfyldes, fordi GNSS er en passiv teknologi, hvor brugere kun skal bruge et udsendt signal til at beregne position, uden at skulle kontakte satellitten. Der er derfor ingen risiko for, at signalet forringes pga. flere brugere.

GNSS er dog ikke gratis. Tilsammen har de globale konstellationer kostet langt over 100 mia. kr., betalt af skatteydere i USA, Rusland, Europa og Kina, og det er derfor relevant at undersøge, om de er pengene værd. Der er foretaget mange analyser af værdien af GNSS, i både USA og Europa. Denne rapport baseres på beregninger foretaget af London Economics for den britiske regering,¹ suppleret med de markedsudsigter, der er præsenteret i Det Europæiske GNSS Agenturs Markedsrapport,² samt oplysninger fra interessenter i forbindelse med Det Tværministerielle Rumudvalgs Sårbarhedsanalyse, som forventes offentliggjort i marts 2019 af Styrelsen for Forskning og Uddannelse.³

1.2 Begrænsninger

Denne rapport er baseret på sekundær litteratur og selvom alle forholdsregler er taget for at udtrække så akkurat et billede af Danmarks forhold som muligt, er der begrænsninger i resultaterne. Det antages grundlæggende, at brugen af GNSS i Danmark, og den medfølgende sårbarhed er sammenlignelige med Storbritannien, hvor detaljerede analyser foreligger. I udgangspunktet er dette en rimelig antagelse, da moderne samfund kan sammenlignes på denne måde. Dog skal visse delresultater bruges med varsomhed.

¹ London Economics (2017). *The economic impact on the UK of a disruption to GNSS*. <https://www.gov.uk/government/publications/the-economic-impact-on-the-uk-of-a-disruption-to-gnss>

² GSA (2017). *GNSS Market Report Issue 5*. <https://www.gsa.europa.eu/2017-gnss-market-report>

³ *Denmark's economic vulnerability to a loss of satellite-based PNT*.

2 Introduktion til positionering

Positioneringstjenester dækker et bredt udsnit af teknologier, som særskilt eller i kombination med andre tjenester kan sikre, at brugere kender deres position i to eller tre dimensioner.

Der er grundlæggende to typer af positioneringstjenester: **absolutte** og **relative**. Absolutte tjenester gør det muligt for en bruger at beregne en absolut, koordinatbaseret position, hvorimod relativ positionering altid er i forhold til noget andet, evt. en kendt position.

Globale Navigations Satellit Systemer (GNSS) er den mest udbredte type af absolutte positioneringstjenester, som i kraft af sin globale (udendørs) dækning, er blevet en standardteknologi. Grundet teknologiens store udbredelse præsenteres den i flere detaljer i afsnit 2.2.

GNSS og andre absolutte tjenester, der er afhængige af radiosignaler, er imidlertid ikke tilstrækkelige for nogle brugere. Et eksempel herpå er inden for bilnavigation, hvor GPS-baserede navigationssystemer i visse tilfælde ikke er i stand til at modtage signal fra satellitterne, eksempelvis i tunneller. Bilnavigationssystemerne fungerer ved at supplere GNSS med inertisystemer, eksempelvis triptællere, og mikroelektroniske systemer (accelerometre, gyroskoper, barometre, magnetometre). Disse sensorer er eksempler på **relativ** positionering, hvor deres bidrag giver navigationssystemet mulighed for at beregne bilens bevægelse i forhold til den sidst kendte, absolutte position.

Positioneringstjenester som fungerer relativt til at andre brugere bliver vigtigere og vigtigere i takt med at transportmidler i stigende grad bliver førerløse. LiDAR, radar, ultralyd og højopløselige kameraer er eksempler på teknologier, hvis brug vinder frem i de førerløse transportmidler.⁴

2.1 Relevante parametre for positioneringstjenesterne

Der er mange måder at vurdere en positioneringstjenestes ydelse. Brugere i forskellige anvendelsesområder stiller forskellige krav afhængig af hvilke parametre, der har størst betydning for de enkelte områder. Positioneringsudstyr optimeres derfor til forskellige opgaver ved at justere de forskellige parametre, som Det Europæiske GNSS Agentur (GSA) klassificerer i ni grupper.⁵

- 1) **Tilgængelighed (availability)**: den del af tiden hvor en positioneringstjeneste er tilgængelig. Opgøres i procent. Der skelnes mellem systemtilgængelighed (dvs. om systemet fungerer) og generel tilgængelighed, som også dækker brugerens udstyr og brugsmiljø.
- 2) **Nøjagtighed (accuracy)**: forskellen mellem faktisk og målt position. Typisk rapporteret efter statistisk metode, og angiver radius på en cirkel (eller kugle), som 95% af observationerne er inden for. Angives ofte som *centimeterniveau (1-10cm)*, *decimeterniveau (10-100cm)* og *meterniveau (1-10m)*.
- 3) **Kontinuitet (continuity)**: systemets evne til at fungere uforstyrret i et givet anvendelsesområde. Angives som sandsynligheden for en diskontinuitet.
- 4) **Integritet (integrity)**: systemets evne til at advare brugere om, at systemet ikke kan bruges på grund af fejl.
- 5) **Robusthed (robustness)**: systemets evne til at håndtere spoofing og jamming. Robusthed er mest en kvalitativ egenskab, som kan forbedres ved brug af autentificerede signaler.

⁴ For mere om positioneringstjenester, se GSA (2018). *GNSS User Technology Report Issue 2, 2018*

⁵ GSA (2018). *GNSS User Technology Report Issue 2, 2018*, side 88.

- 6) **Indendørs dækning (indoor penetration):** tjenestens evne til at dække indendørs (gennem vinduer, vægge og tage). Afhænger af modtagerens⁶ følsomhed samt lokale radiosendere.
- 7) **Tid-Til-Første-Fix (Time-To-First-Fix) – TTFF:** den tid, det tager fra modtageren aktiveres til positionen er beregnet. I udgangspunktet ikke afhængig af den beregnede positions nøjagtighed (men undertiden omtalt som TTFAF, hvor A står for accurate). Der er fire typer af TTFF, afhængig af modtageres status:
 - a) **Kold start (cold start):** hvor modtageren har været slukket i længere tid og derfor skal afsøge hele himmelen og hente al information fra satellitter. Processen kan vare flere minutter.
 - b) **Lun start (warm start):** hvor modtageren har en tidligere position lagret i systemet. Her behøves kun søgning efter satellitter, der kan være i nærheden. Denne proces tager nogle dusin sekunder.
 - c) **Varm start (hot start):** modtageren ved hvor den er og hvor satellitterne er – tager typisk nogle sekunder.
 - d) **Assisteret start (assisted start):** modtageren har adgang til information om, hvor satellitterne er og har derfor en vigtig del af informationen til at beregne position.
- 8) **Latens (latency):** den tid det tager for modtageren at levere tid eller position til brugeren. Har ingen betydning for brugere af selvstændige systemer, men kan have betydning når mange systemer skal kombineres til at levere en position.
- 9) **Strømforbrug (power consumption):** den mængde strøm, der skal bruges til at beregne en position. For smartphone chips helt ned til 10mW.

Herudover er der mange brugere, som har behov for at være forbundet til et kommunikationsnetværk.

Positioneringstjenester kan alle vurderes efter disse 9 parametre, og enhver bruger må foretage en analyse af hvilke parametre, der betyder mest for dem. Generelt gælder for eksempel, at høj nøjagtighed kræver længere konvergeringstid og højere strømforbrug end lav nøjagtighed.

2.2 GNSS

Med mere end 6 mia. modtagere i brug verden over i 2018⁷ er GNSS en meget succesrig teknologi. En position beregnet ved GNSS giver brugerens koordinater, højde samt tid, og GNSS er således en absolut positioneringstjeneste. Systemet fungerer ved, at satellitter udsender præcis tid samt satellittens position og visse andre oplysninger. Med direkte sigte til signaler fra tilstrækkeligt mange satellitter (minimum fire) kan modtageren på jorden beregne hvor længe signalet har været undervejs fra hver satellit og dermed beregne afstanden (idet signalets hastighed er tæt ved lysets hastighed) og trilaterere en position.

Denne procedure bevirker, at der er tre overordnede mål, som kan beregnes ved GNSS. Position, det originale formål med Global **Positioning** System kan let udledes, men ved gentagne beregninger kan man også udregne hastighed og retning, **Velocity**. Endelig kan man bruge GNSS-signalet til at udregne et præcist klokkeslæt, som er synkroniseret på tværs af alle satellitter i den samme konstellation. Denne kilde til **Tid** er den billigste måde at opnå tid med reference til den universelle koordinerede tid, UTC. De tre mål der kan udledes fra GNSS er således: position, hastighed og tid.

⁶ Ved "modtager" forstås det elektroniske udstyr, der kan levere position, hastighed og tid til brugeren.

⁷ GSA (2017). *GNSS Market Report Issue 5*.

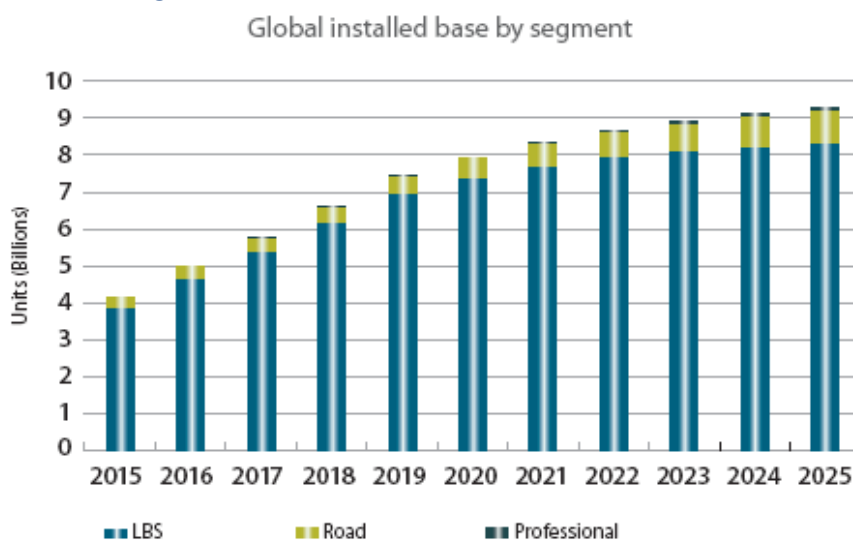
En konstellation af GNSS satellitter består af mindst 24 satellitter (plus et antal i reserve), som er placeret i kredsløb om Jorden omtrent 20 000 km ude. Der er fire globale navigationssatellitssystemer samt et antal regionale systemer, med satellitter i andre typer kredsløb, som er mere velegnede til at dække specifikke områder. Fælles for de fire systemer (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) er, at de alle anvender frekvensen omkring L1 (1559-1610 MHz) til et civilt signal, som kan bruges gratis. Desuden anvendes frekvensen omkring L5 (1164-1215 MHz) af Galileo, BeiDou og GPS, mens GLONASS forventes at udvide til at dække denne frekvens.

GPS var den første konstellation, der blev funktionsdygtig og som følge deraf, er alle masseproducerede modtagere i stand til at bruge GPS-signaler. I dag kan flertallet af modtagere bruge flere konstellationer. GLONASS blev integreret i smartphones fra 2010, Japans regionale system (Quasi-Zenith Satellite System – QZSS) blev integreret i 2011, BeiDou kom med i 2014 og Galileo i 2015.⁸

Brugen af GNSS til forbrugerapplikationer nåede endnu en milepæl i 2018 da Xiaomi Mi8 blev den første smartphone til at kunne bruge L5 (udover L1). Fordelen ved at bruge to frekvenser er, at det bliver muligt at beregne, og se bort fra, den unøjagtighed som kommer fra Jordens ionosfære (som påvirker GNSS-signalerne undervejs fra satellitterne). At alle GNSS anvender de samme frekvenser og har aftaler om interoperabilitet bevirker, at modtagere kan bruge signaler fra fire satellitter uden at skulle sikre, at de kommer fra samme konstellation.

Selvom smartphones udgør langt størstedelen af de modtagere, der er i anvendelse, er de ikke hele historien. Sandheden er, at der på nuværende tidspunkt er få samfundsvigtige funktioner, der er afhængige af GNSS via smartphone – de samfundsvigtige funktioner bruger andet udstyr.

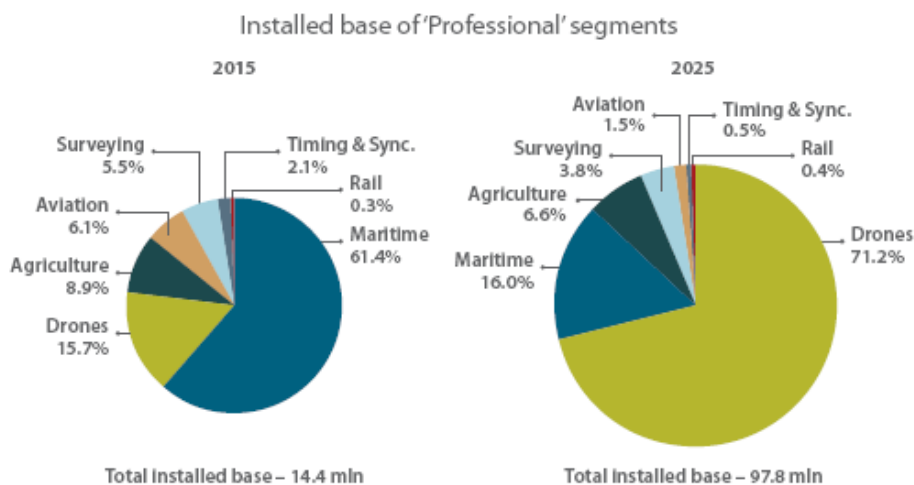
Figur 1 GNSS-modtagere



Kilde: GSA (2017) GNSS Market Report Issue 5

⁸ Frank van Diggelen (2018). *Android Location*, Google. Konferencepræsentation ved International Navigation Conference 2018.

Figur 2 Professionelle GNSS-modtagere



Kilde: GSA (2017) GNSS Market Report Issue 5

Figur 1 og Figur 2 viser antallet af modtagere fordelt på forskellige anvendelsesområder. Det er tydeligt, at LBS er det dominerende markedssegment, og inden for LBS er smartphones den altdominerende applikation. Modtagerne i professionelle segmenter er dog langt vigtigere for samfundet.

2.2.1 Særlige GNSS-tjenester

Alle GNSS har en åben tjeneste, som kan tilgås af alle brugere uden beregning. Derudover har alle GNSS yderligere tjenester, som bruges af specifikke brugere eller til specifikke formål. Galileo er det eneste GNSS, som ikke er ejet og styret af militæret. Det betyder, at alle andre GNSS har en dedikeret, krypteret militær tjeneste, som kun kan bruges af militæret i Rusland (GLONASS), Kina (BeiDou) samt NATO (GPS, ejet af USA).

Galileo får dog også en krypteret tjeneste (**PRS**, Public Regulated Service), som kun er til rådighed for "godkendte brugere." Disse forventes at omfatte den civile ordensmagt, udrykningskøretøjer, og militære formål. Derudover tilbyder Galileo en autentificeret, krypteret tjeneste (CSA), der kan bruges til kritiske applikationer, hvor menneskeliv eller betaling afhænger af, at positionen er korrekt. Krypterede tjenester kan kun åbnes med en dekrypteringsnøgle, som brugere får adgang til ved at blive godkendt af de relevante myndigheder (PRS) eller mod betaling (CSA). Krypteringen betyder desuden, at det ikke er muligt at spoofe signalet.

Derudover tilbyder Galileo en redningstjeneste (Search and Rescue, **SAR**), som bidrager til redningsopgaver ved at positionere den nødstedte hurtigere og med bedre nøjagtighed. Galileo SAR får også en funktion, der giver redningstjenesten mulighed for at sende en besked tilbage om, at hjælpen er på vej. Ydermere har Galileo annonceret, at systemet stiller sin højnøjagtighedstjeneste (High Accuracy Service, **HAS**) til rådighed uden beregning. HAS forventes at opnå nøjagtighed på 20 cm. For alle Galileos særlige tjenester (på nær PRS) gælder, at de forventes klar i 2020.

BeiDou og QZSS har foruden de åbne signaler mulighed for, at udsende alarmer ved hjælp af GNSS, og sikre, at brugere i de relevante områder får besked om en nødsituation.

2.2.2 Augmentationssystemer

Visse anvendelsesområder for GNSS kræver større nøjagtighed, end systemet kan levere på egen hånd. Der er forskellige teknologier til rådighed med varierende nøjagtighed og prisklasse. Satellit-baserede augmentationssystemer (SBAS) er en særlig klasse af systemer, som i Europa tæller EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), en gratis tjeneste udviklet til luftfarten for at skabe integritet, men kan også bruges til at forbedre nøjagtigheden af positionen. EGNOS er gratis at bruge, men er forbundet med betydeligt strømforbrug. EGNOS fungerer ved, at referencestationer (som ikke bevæger sig) beregner positionen baseret på GNSS, observerer unøjagtigheden i positionen og deler den unøjagtighed med brugere i området. Det antages således, at unøjagtigheden er ens for modtagere i samme område. "Satellitbaseret" skyldes, at oplysningerne deles via Inmarsat's geostationære satellitter. EGNOS data er også tilgængelige via en internetforbindelse.

EGNOS er et godt eksempel på en tjeneste, der kræver, at brugere vurderer dens fordele og ulemper. Tjenesten giver integritet og bedre nøjagtighed (ca. 1m), men da tjenesten kun virker, hvis brugeren er konstant forbundet, er strømforbruget ikke ubetydeligt, og EGNOS er derfor bedst egnet til brugere, der har adgang til strømforsyning.

Der er andre augmentationstjenester til rådighed. Maritime brugere anvender således Differentiel GNSS (D-GNSS), som administreres gennem IALA (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities). Der er tre D-GNSS stationer i Danmark og en på Færøerne.

Brugere der kræver bedre nøjagtighed må ty til kommercielle tjenester som RTK (Real Time Kinematic) og PPP (Precise Point Positioning). Begge teknologier giver nøjagtighed på centimeterniveau, og anvendes eksempelvis af landmålere. Grundideen er den samme som EGNOS, idet referencestationer beregner unøjagtigheden i GNSS-målte positioner, og deler denne med brugere i nærområdet. RTK-referencestationer er meget tættere end EGNOS, mens PPP kræver længere konvergenstid.

2.3 Andre positioneringstjenester

Foruden GNSS eksisterer der et voksende antal tjenester, der kan bruges til positionering. Nogle af disse er selvstændige systemer, der kan bruges i stedet for GNSS, men hovedparten bruges sammen med GNSS for at forbedre nøjagtighed eller tilgængelighed. GNSS er eksempelvis utilstrækkeligt for applikationer, der kræver indendørs positionering. GNSS-signalet er meget svagt, og kan ikke trænge igennem tykke vægge eller flere etager. Det kan række igennem vinduer, men så snart modtageren befinder sig længere inde, er det ikke muligt at få direkte sigte til tilstrækkeligt mange satellitter.

Resten af dette delafsnit introducerer de forskellige teknologier, der kan bruges som backup eller som komplement til GNSS.

2.3.1 Absolut positionering

Absolutte positioneringstjenester er karakteriseret ved at være i stand til at levere en position, der er givet ved længdegrad og breddegrad (i to dimensioner), og højde (i tre dimensioner). Absolutte positioneringssystemer er altid baseret på kendte referencepunkter. I GNSS' tilfælde udsender referencepunkterne (satellitterne) deres position ved datatransmissionen.

De absolutte positioneringstjenester, der er relevante for denne rapport, er ligesom GNSS baseret på radiosignaler. Man kan kategorisere absolutte positioneringstjenester i to grupper, dedikerede systemer og opportunistisk positionering fra ikke-dedikerede systemer (signals-of-opportunity), altså radiosignaler, som ikke er designet til positionering, men hvis signaler kan bruges dertil.

Dedikerede systemer

Der er ingen alternative systemer, der kan opfylde de samme krav til alle de samme performance-parametre (se afsnit 2.1) som GNSS, men der er nogen, som kan udføre nogle relevante opgaver.

STL er en kommerciel tjeneste, der er baseret på Iridiums konstellation af satellitter i ca. 800 km's højde. Iridium-satellitterne er således meget tættere på Jorden end GNSS-satellitterne, og bevæger sig meget hurtigere over himlen. STL bruger Doppler til at beregne position, men er ikke særligt præcise til det formål. Til gengæld er signalet meget stærkere end GNSS, og dækker endda inden-dørs. STL's primære marked er inden for tidsstyring og -synkronisering, hvor det stærkere signal kan øge robustheden af en satellitbaseret tidsstyringsløsning.

eLoran er en opgradering af det gamle Loran-C net, som blev brugt af både militære og civile skibe. Loran-C var ikke globalt, men dækkede forskellige nøgleområder. Nordsøen var et af disse områder, hvor et samarbejde mellem Storbritannien, Frankrig, Norge, Tyskland og Danmark (Færøerne) sørgede for, at man havde et radionavigationssystem til Nordsøen. I 2016 blev Loran-C lukket idet Frankrig ikke længere ønskede at betale for systemet. Private aktører forsøger at genskabe nettet som eLoran, som ville kunne tilbyde acceptabel nøjagtighed for maritime applikationer og yde en tidsstyringstjeneste, med anvendelse i den finansielle sektor og andre dele af samfundet.

Derudover eksisterer der systemer, som ikke kan yde positioneringstjenester, men som kan bidrage til robustheden af tidsstyring og synkronisering. **Langbølgesenderen** ved Frankfurt (DCF77) udsender et tidssignal, som bruges til at stille mange vækkeure. Dette er Danmarks anden kilde til UTC-refereret tid foruden GNSS.

Opportunistisk positionering

For systemer, der ikke er defineret med henblik på at levere positioneringstjenester, er der visse parametre, som ikke er direkte tilgængelige. Til udregning af position skal man bruge to oplysninger: 1) hvor signalet kommer fra, og 2) hvor langt/længe signalet har rejst.

Svaret på **hvor signalet kommer fra** er ikke trivielt. Der er ingen krav om registrering af Wi-Fi hotspots og Bluetooth-sendere så hvis man bruger disse til at udregne en position, er man afhængig af en database over, hvor hotspots er placeret. Software- og chipproducenter til smartphones har interne databaser. Googles database er grundlagt af Google Street Views biler. Når et hotspot flyttes opdateres databasen i takt med, at brugerne beregner en position i nærheden af det flyttede Wi-Fi hotspot. Afhængigheden af, at andre brugere sørger for opdateringer i databasen bevirker, at man skal være varsom med at gøre sig afhængig af Wi-Fi til positionering.

Det er heller ikke oplagt **hvor langt/længe signalet har rejst**. Der er forskellige metoder, som hver især har fordele og ulemper.

- **Received Signal Strength (RSS)** er den simpleste metode, som baseres alene på signalets styrke under antagelse om, at et stærkt signal har rejst kortere end et svagt signal. Dette er i udgangspunktet korrekt, men signalstyrken er afhængig af, hvad signalet skal trænge igennem. Det betyder, at et signal der har rejst igennem mure kommer til at se ud som om det har rejst langt selvom det måske ikke har.
- **Time Of Arrival (TOA)** bruges også af GNSS, men fordi mange signaler er stærkere end GNSS og derfor med besvær kan trænge igennem bygninger, er det ikke så præcist.
- **Time Difference Of Arrival (TDOA)** er en aktiv metode, hvor signalet sendes frem og tilbage mellem det punkt hvor det starter, og brugeren. Det bevirker, at man kan fjerne eventuel

latens i systemet og sikre, at man kun måler den reelle rejsetid mellem to punkter. Selvom de fleste Wi-Fi hotspots på markedet understøtter teknologien, er det endnu ikke den primære metode anvendt af smartphones.

Der er mange forskellige kilder til opportunistisk positionering, herunder Wi-Fi, Bluetooth, mobilmaster, FM radio, digital radio og digital TV.

En interessant udvikling på området vedrører en teknologi med rod i det militære: Simultaneous Localisation And Mapping (SLAM), hvor man skaber et kort over alle radiosignaler i et område. Teknologien kræver en kendt startposition (evt. udledt ved GNSS), men har den fordel, at hvis man en gang har kørt en rute og skabt et lokalt kort over radiosignaler i området, kan dette erstatte GNSS-baseret positionering på næste tur.⁹

2.3.2 Relativ positionering

Relativ positionering kan ikke stå alene for mange navigationsapplikationer, men skal i stedet spille sammen med en absolut position – eksempelvis fra GNSS. Ikke desto mindre er der stor interesse og udvikling inden for relativ positionering, fordi konceptet er helt centralt for førerløse biler.

Som navnet antyder, er udgangspunktet et af de væsentligste input til relativ positionering. Hvis man ved præcis hvor man starter, kan alt udledes derfra. Eksempelvis kan orienteringsløbere altid finde ud af, hvor de er, hvis de ved hvor de starter, og hvor mange skridt de har taget i enhver retning. Positionering relativt til et udgangspunkt baseres på **inertisensorer**, som netop fungerer ved at måle hvor langt man har rejst i alle retninger. Med et godt **kompas, accelerometer, barometer** og **gyroskop** kan man således beregne, hvor man er i forhold til udgangspunktet. Disse sensorer har eksisteret i mange år, og er eksempelvis helt afgørende for (atomdrevne) undervandsbåde, der kan tilbringe mange uger i neddykket tilstand.

Mikroelektromekaniske systemer (MEMS) er den næste generation af sådanne sensorer, og er i modsætning til ubådes og flys udstyr så små, at de er monteret i al forbrugerelektronik. Ulempen ved MEMS er, at de *drifter*. Det vil sige, at målingerne bliver mindre og mindre nøjagtige jo længere tid der går. Med næsten konstant kalibrering ved GNSS er MEMS et særdeles brugbart input i positionering og navigation, men på egen hånd er brugstiden i nutidens udstyr begrænset til ca. 30 minutters operation. Fremskridt inden for kvantemekanikken bevirker imidlertid, at denne brugstid kan forventes at vokse. Fysikkens barrierer er løst, men udstyret er endnu ikke udviklet.

For fast udstyr, som ikke bevæger sig og derfor bruger GNSS til tid, anvendes **oscillatorer** til at holde tid i en periode. En oscillator, som navnet antyder, oscillerer med en kendt frekvens, så med kendskab til tiden ved oscillatorens start kan apparatet "tælle" oscillationer og dermed beregne hvor lang tid der er gået, og dermed klokkeslættet.

Atomurschips (Chip Scale Atomic Clocks – CSAC) kombinerer oscillatorerne i GNSS-ure med MEMS. Det første atomur i chipformat kom på markedet i 2018,¹⁰ og selvom dets nøjagtighed endnu ikke kan måle sig med oscillatorer i GNSS-ure, er det interessant at følge udviklingen.

⁹ GPS World (2018). *Signals of opportunity: Holy Grail or a waste of time?* Tilgængelig her: <https://www.gpsworld.com/signals-of-opportunity-holy-grail-or-a-waste-of-time/> [tilgået 20/11/18]

¹⁰ Microsemi (2018). *Chip Scale Atomic Clock (CSAC) SA.45s*. Tilgængelig her: <https://www.microsemi.com/product-directory/clocks-frequency-references/3824-chip-scale-atomic-clock-csac> [tilgået 20/11/18]

Foruden de systemer, der beregner position relativt til et udgangspunkt, eksisterer en mængde teknologier til at beregne position relativt til noget andet (som måske bevæger sig). Førerløse biler driver en stor del af denne udvikling, idet sektoren har brug for teknologi, der nøjagtigt kan måle afstand til andre trafikanter, fodgængere og vejens udstyr. **Radar, LiDAR, ultralyd og optiske kameraer** er alle eksempler på teknologi, der forventes at blive helt centrale for førerløse biler.

GNSS forventes ikke at komme til at spille en rolle i *relativ positionering* af førerløse biler. Systemet kunne (med det rette kommunikationsnet) bidrage til en netværksløsning, hvor alle biler altid udsender deres position og retning til omkringkørende biler, som så kunne indgå i en samlet trafikstyring. Det vurderes imidlertid, at sikkerheden ved sådan en løsning kunne kompromitteres, fordi systemet ville bruge den samme kilde til for mange dele.

2.4 Teknologisk udvikling på positioneringsområdet

2.4.1 De senere år

En af de vigtigste tendenser i de senere år kaldes **sensor fusion**, og betegner det faktum, at mange apparater bruger mange forskellige kilder til positionering, hastighed og tid. Dette gælder eksempelvis smartphones, som bruger GNSS udendørs, Wi-Fi og Bluetooth, hvis de er tilgængelige (primært i byer), mobilmastens position og signalstyrke hvor andre metoder ikke er til rådighed. Smartphones bruger også MEMS til at holde positionen i korte perioder uden adgang til radiosignalerne – men dette er kun brugbart, hvis telefonen er fastmonteret (eksempelvis i bil) og ikke håndholdt.

En anden nylig udvikling er det Google kalder "Ambient Location". Alle brugere af Google Maps kender konceptet, men ikke nødvendigvis navnet. Konceptet refererer til direkte information om, hvor travlt der er i butikker og seværdigheder på Google Maps. De direkte oplysninger (vist som lyserøde søjler) udledes ved hjælp af smartphonepositionering, og viser hvor travlt, der rent faktisk er. Enhver der har undersøgt på forhånd, og udsat et besøg eller en indkøbstur til et tidspunkt med mindre travlhed har således brugt ambient location. Det er den samme ide, der findes i trafikoplysningerne i GPS'er til navigation og Google Maps i navigationsmode. Man kan forestille sig, at den samme infrastruktur kan blive nyttig for selvkørende biler, som vil kunne anvende oplysninger om hvor andre biler er til at planlægge en bedre rute.

I den teknologiske udvikling for GNSS er det væsentligt, at modtagerne nu bruger to frekvenser. De chips, der sidder i nutidens smartphones er bedre end dem, der blev brugt til professionel landmåling i 90'erne. Med den teknologiske udvikling er det derfor sandsynligt, at man på sigt vil se mobiltelefoner med meget stor nøjagtighed. Den største forhindring på nuværende tidspunkt er antennen, som ikke er designet til højnøjagtighedsmålinger.

2.4.2 På kort sigt

Der forventes store fremskridt inden for positionering i den nære fremtid. Galileo og BeiDou er begge berammet til at opnå fuld funktionsdygtighed i 2020. Når det indtræffer vil der være fire uafhængige GNSS til rådighed og, pga. interoperabilitet, mere end 100 tilgængelige satellitter.

Som beskrevet ovenfor er hovedparten af GNSS-modtagere i stand til at bruge flere konstellationer end GPS, herunder alle smartphones i brug.

Galileos særlige tjeneste, SAR forventes ligeledes at blive klar i 2020 og finde vej ind i nødkaldeudstyret kort tid derefter. Det samme gælder HAS, som vil give nøjagtighed på 20 cm for brugere, der

har disse behov, og har adgang til det nødvendige udstyr (herunder evnen til at modtage signaler på E6-frekvensen).

En tredje innovation i Galileo er ikke en tjeneste i sig selv, men har potentiale til at få stor betydning. Galileo Open Service Navigation Message Authentication (**OS-NMA**) er en funktion, som krypterer det åbne signal således, at det er muligt for modtageren at bestemme, om signalet er kommet fra en satellit i kredsløb om Jorden, eller er blevet dannet af en spoofer på Jorden. Der er ikke en funktion til at afhjælpe spoofing, men det gælder, at et spoofingangreb kun lykkes, såfremt den spoofede bruger ikke opdager hændelsen. Allerede i 2016 udtalte Google, at OS-NMA er det vigtigste bidrag Galileo kan bringe til det internationale GNSS-miljø.¹¹

Foruden Galileo og BeiDou vil GPS forsætte moderniseringen til GPS III og GLONASS opsende flere GLONASS K satellitter.

Inden for augmentationssystemer repræsenterer **Sapcorda** (Safe And Precise CORrection DATA) en interessant udvikling. Sapcorda er et joint-venture mellem u-blox, Bosch, Mitsubishi Electric og Geo++, og er udviklet til at give selvkørende biler en sikker højnøjagtighedstjeneste.

At selvkørende biler kræver høj nøjagtighed er ikke overraskende. Det relaterede anvendelsesområde, droner, viser, at der er et marked for høj nøjagtighed. DJI, som er den største droneproducent, har således udviklet RTK-baserede navigationssystemer til droner netop for at sikre så høj nøjagtighed som muligt.

2.4.3 På længere sigt (til 2030)

Der er to store udviklingsområder mellem i dag og 2030. En er de teknologiske muligheder, der åbnes ved udviklingen og udrulningen af 5G, og den anden er de krav, der forventes at komme fra brugere i førerløs transport, og som er nævnt ovenfor.

Den femte generation af mobiltelefoni, **5G**, er forudsagt til at blive et stort teknologisk spring. Hvor 4G kan levere hurtigt internet og mange forbindelser pr. mast vil 5G levere superhurtigt internet (ca. 200 gange hurtigere), og kunne klare ca. 1000 gange så mange forbindelser. 5G bliver den bærende kommunikationsteknologi fra midten af næste årti og fundamental for Internet of Things.¹²

Fra et positioneringsperspektiv er den lave latens i 5G den mest interessante udvikling. Den lave latens (1ms) gør det sandsynligt, at positionering ved 5G kan anvende TDOA til positioneringstjenester. Derudover er antennernes geometri sådan, at det er muligt at beregne den vinkel, som signalet ankommer fra. Med tilstrækkelig mange målinger kan denne metode bruges til at beregne hvor brugeren er. De to funktioner i kombination forventes at bibringe bedre nøjagtighed end 5cm.¹³

Der er dog væsentlige barrierer, der skal overvindes, før 5G kan bruges som en pålidelig kilde til positionering. Alle tre eksisterende 4G netværk i Danmark har områder uden dækning, og det vil derfor kræve betydelige investeringer at opnå fuldkommen dækning for 5G.¹⁴

¹¹ Frank van Diggelen (2018). *Afsluttende plenarsession International Navigation Conference 2016*. Glasgow, november 2016.

¹² Computerworld (2017). *Super-teknologien 5G vil (sikkert) forandre alt – vi mangler de geniale idéer og gyldne business cases*. samt Computerworld (2018). *TDC melder ud: Her er køreplanen for Danmarks kommende 5G-supernet*. Tilgængelige her: <https://www.computerworld.dk/art/240122/super-teknologien-5g-vil-sikkert-forandre-alt-vi-mangler-de-geniale-id-er-og-gyldne-business-cases> og her: <https://www.computerworld.dk/art/243810/tdc-melder-ud-her-er-koereplanen-for-danmarks-kommende-5g-supernet#eezHJq4pypf46cZa.99> [begge tilgået 20/11/18]

¹³ Klaus Witrissal, Stefan Hinteregger, Josef Kulmer, Erik Leitinger, and Paul Meissner (2016). *High-accuracy Positioning for Indoor Applications: RFID, UWB, 5G, and beyond*. 2016 IEEE International Conference on RFID (RFID), 3-5 marts 2016.

¹⁴ Mobil-Dækning. *4G dækning*. Tilgængelig her: <http://mobil-daekning.dk/4g-daekningskort/> [tilgået 20/11/18]

3 Samfundsøkonomisk værdi af positioneringstjenester

Resultaterne i dette afsnit er baseret på analyser af sekundær litteratur, med justeringer til danske forhold. Afsnittet beskriver resultaterne fra tre separate, men forbundne, områder.

- Anvendelse af positioneringstjenester;
- Samfundsøkonomisk værdi af anvendelse af GNSS; og
- Opregning af tab ved udfald af GNSS.

Afsnittet er struktureret efter de tre områder, og i hvert delafsnit redegøres for den anvendte metode samt resultaterne af analysen.

Selvom resultaterne er tæt forbundne, er det vigtigt at understrege, at de præsenterer forskellige analyser. Anvendelse af GNSS og samfundsøkonomisk værdi af brug af GNSS vurderes i en situation, hvor GNSS er tilgængelig, og er den bedste tilgængelige løsning for positioneringstjenester. Opregningen af tab redegør derimod for hvad der sker, hvis GNSS forsvinder og brugere, der er tilvænnet brug af GNSS pludselig skal finde alternative metoder.

3.1 Anvendelse af positioneringstjenester

Formålet med dette afsnit er at undersøge hvilken del af Danmarks BNP, der afhænger af GNSS.

3.1.1 Metode

BNP findes i Danmarks Statistiks data over produktion, bruttoværditilvækst og indkomstdannelse for 117 forskellige brancher.¹⁵ Data er for 2015, da dette er det seneste år med flest forskellige brancher. Der eksisterer data for 2017, men disse er på 69-brancheniveau. Disse data anvendes til en sensitivitetanalyse.

Afhængighed af GNSS er baseret på en analyse af hver enkelt branche. En branche er vurderet til at være afhængig af GNSS, hvis der eksisterer eksempler på, hvordan virksomheder i branchen bruger GNSS i højere grad end en tilfældig borger. Oplysninger om branchers brug af rummet er tilgængelige i Styrelsen for Forskning og Uddannelses Rumstatistik,¹⁶ og selvom denne kilde ikke differentierer mellem rumtjenester, er det muligt at bestemme nogle anvendelser, der er GNSS-specifikke.

Yderligere oplysninger om GNSS-afhængighed hentes i Det Tværministerielle Rumudvalgs kommende *Sårbarhedsanalyse*,¹⁷ konsultationer i forbindelse med en tilsvarende analyse for UK Space Agency til *Size and Health of the UK Space Industry 2016* samt GSA's *GNSS Market Report*.

Bemærk at det kun er branchens primære anvendelse af GNSS, der analyseres. Det vil sige, en virksomhed, som er afhængig af logistik og distribution, men har udliciteret denne opgave til en specialiseret leverandør, er ikke vurderet afhængig af GNSS. Denne sondring betyder specielt, at fremstillingssektoren og detailhandlen ikke er vurderet til at afhænge af GNSS.

¹⁵ Danmarks Statistik (2018). *NABP117: 1-2.1.1 Produktion, Bvt Og Indkomstdannelse (117-Gruppering) Efter Transaktion, Branche Og Prisenhed*. Tilgængelig her: www.statistikbanken.dk/NABP117

¹⁶ Styrelsen for Forskning og Uddannelse (2018). *Rumstatistik – Rumområdets betydning for den danske økonomi i tal*. Vi takker Styrelsen for Forskning og Uddannelse for at have stillet mere detaljerede data til rådighed for denne analyse.

¹⁷ London Economics (2019). *Denmark's economic vulnerability to a loss of satellite-based PNT*. Forventes offentliggjort i marts 2019 af Styrelsen for Forskning og Uddannelse.

Resultaterne af analysen skal forstås som *andelen af Danmarks BNP, der skabes i brancher, der er afhængige af GNSS i større grad end den gennemsnitlige borger*. Det er dog ikke nødvendigvis alle aktiviteter i branchen, der bruger GNSS.

Analysen foretages på årligt basis for de seneste tilgængelige – detaljerede – data.

3.1.2 Resultater

Styrelsen for Forskning og Uddannelses Rumstatistik,¹⁸ som blev udgivet i begyndelsen af 2018 viser, at 15% af danske virksomheder i de private, ikke-finansielle byerhverv anvender en eller flere satellitbaserede tjenester. Rumstatistikken differentierer ikke mellem de forskellige typer af rumdata, men det er muligt at identificere visse anvendelser som værende GNSS-baserede, nemlig “logistik og distribution” og “tidsstyring og -synkronisering”. Af de 15% af virksomheder, der bruger rummet, er det for 67% med henblik på logistik og distribution, mens 15% bruger rummet til tidsstyring og -synkronisering.

Der er imidlertid risiko for, at denne opgørelse undervurderer den reelle betydning rummet og specielt GNSS har for økonomien. Det er næppe sandsynligt, for eksempel, at det kun er 10% (15% * 67%) af virksomhederne i Danmark, der er afhængige af logistik og distribution, så mange flere er afhængige af GNSS gennem leverandører.

Tabel 1 viser, at de brancher, der tilsammen skaber **23,1%** af Danmarks samlede bruttonationalprodukt (BNP) bruger GNSS til en eller flere arbejds gange i 2015.¹⁹ Tabellen angiver branchens samlede størrelse ved bruttoværditilvækst (BVTV²⁰), hvor alle branchers BVTV aggregerer til BNP, og giver endvidere eksempler på hvordan de forskellige brancher bruger GNSS.

Det er ikke muligt at fremskrive hvilken del af Danmarks BNP, der er afhængigt af GNSS i fremtiden uden kendskab til, hvordan økonomien udvikler sig. Hvis sektorer med stor afhængighed bliver relativt vigtigere (eksempelvis finanssektoren, som i dag kun kan få tilstrækkeligt nøjagtig tid fra GNSS) vil økonomiens afhængighed stige. Fremstillingssektoren, detailhandlen og tjenesteydelser er ikke afhængige af GNSS i samme grad, så hvis disse sektorer får større betydning for den samlede økonomi, kan afhængigheden falde.

¹⁸ Styrelsen for Forskning og Uddannelse (2018). *Rumstatistik – Rumområdets betydning for den danske økonomi i tal*. Vi takker Styrelsen for Forskning og Uddannelse for at have stillet mere detaljerede data til rådighed for denne analyse.

¹⁹ De seneste tal fra Danmarks Statistik omhandler 2017. Hvor tallene for 2015 opdeler økonomien i 117 grupper er der kun 69 grupper for 2017 tallene. Under antagelse om, at undergrupperne (de 117) udgør samme procentdel af de større grupper (69) beregnes, at 22,7% af Danmarks BNP i 2017 blev skabt i brancher, der bruger GNSS til en eller flere arbejds gange.

²⁰ En virksomheds eller branches bidrag til BNP kaldes bruttoværditilvækst og er givet ved forskellen på samlet omsætning og indkøb af input (råmaterialer og halvfabrikata).

Tabel 1 Anvendelse af positioneringstjenester efter statistisk branche

Branche	BTVV (mio. kr.)	% BNP 2015	Eksempler på GNSS-anvendelse
Landbrug og gartneri	15 057	0,9%	De 19% af danske landmænd, der dyrker 51% af agerjorden, anvender RTK-GPS til mere præcis kørsel af traktorer, sektionsstyring af sprøjter til bedre spredning af gødning og pesticider samt sensorer, der kan måle afgrøders afkast. ²¹
Skovbrug	1 937	0,1%	I skovbruget anvendes præcisions-GNSS til logning af mobil inspektion, planlægning og styring af fældningsmaskiner samt transport af tømmer.
Fiskerit†	2 506	0,1%	Fiskeriet anvender GNSS til overvågning og til navigation.
Olie og gas udvinding	20 967	1,2%	Olie- og gasindustrien bruger GNSS til seismiske undersøgelser og placering af forboringer og platforme.
Grus og sten udvinding	1 000	0,1%	Grusgrave anvender GNSS til maskinstyring.
Elforsyning†	16 726	0,9%	Elforsyningen bruger GNSS til synkronisering af Phasor Measurement Units og SCADA systemet på netværket. Nettet er ikke kritisk afhængigt af GNSS.
Gasforsyning	4 048	0,2%	Foruden elforsyning anvender den brede energiforsyningssektor GNSS til logistik og distribution og fysisk præcisionsarbejde. Mere end halvdelen af virksomhederne i branchen anvender rumtjenester, herunder GNSS.
Varmeforsyning	7 455	0,4%	
Vandforsyning	3 104	0,2%	Vandforsyning og renovations bruger GNSS til logistik og distribution og fysisk præcisionsarbejde. 43% af virksomheder anvender rumtjenester, også GNSS. ²²
Renovation, genbrug mv.	6 612	0,4%	
Nybyggeri	23 549	1,3%	GNSS anvendes ved nybyggeri og anlæg til landmålingsaktiviteter og præcis maskinstyring. Evt. drone-baserede observationer er også afhængige af GNSS.
Anlægsvirksomhed	21 621	1,2%	
Regional- og fjerntog	3 438	0,2%	GNSS anvendes blandt andet til Driver Advisory Systems, som hjælper togførerne med at spare brændstof og slid uden at kompromittere punktligheden.
Lokaltog, bus og taxi mv.†	11 837	0,7%	Lokaltog og busser spores ved GPS så passagererne kan se, hvornår det næste køretøj ankommer og planlægge ruten derefter. ²³ Taxabranchen bruger GNSS til navigation og flådestyring samt til at afgøre tvister i forbindelse med ture.
Fragtvognmænd og rør	17 142	1,0%	Fragtvognmænd og rørtransport bruger GNSS til navigation og flådestyring.
Skibsfart	35 718	2,0%	GNSS giver skibet det bedste mål for hastighed og position på åbent hav uden pejlemærker. Satellitkommunikation ved geostationære satellitter anvender GNSS til at fokusere kommunikationsforbindelsen til skibet.
Luftfart	4 520	0,3%	Luftfarten anvender GNSS til landingsprocedurer. I fremtiden forventes luftfarten at skifte fra radar til ADS-B baseret overvågning, som også bruger GNSS.
Hjælpevirksomhed til transport	24 615	1,4%	GNSS er afgørende for logistik og distributionsbranchens optimering af fragtens fordeling fra en transportform til en anden.
Post og kurertjeneste	6 965	0,4%	GNSS bruges til navigation, sporing af køretøjer og flådestyring.
Radio- og tv-stationer	3 501	0,2%	Radio- og tv-stationer bruger GNSS til synkronisering af digital transmission således, at alle master udsender det samme indhold på samme tid.
Telekommunikation	18 700	1,1%	Mobil- og fastnettelefonien bruger GNSS til synkronisering af digitale netværk så flere pakker kan sendes på samme net ved opdeling af datastrømmen. Synkronisering kræves også til overlevering af mobilopkald mellem master.
Pengeinstitutter†	48 221	2,7%	
Kreditforeninger mv.†	30 780	1,7%	
Forsikring og pension†	15 934	0,9%	
Finansiell service†	11 184	0,6%	Finanssektoren anvender GNSS til tidsstempling og netværkssynkronisering. Da Danmark ikke har andre kilder til præcis tid end GNSS, er sektoren afhængig af tjenesten for at opfylde kravene i EU's MIFID II.
Udlejning og leasing af materiel	11 300	0,6%	Udlejningsbiler og aktiver til udlejning og leasing har GNSS-sporingsenheder for at ejeren kan holde styr på hvor de er, og om de bliver behandlet efter aftale.
Vagt og sikkerhedstjeneste	2 527	0,1%	GNSS bruges til at sporing af vagter i udsatte områder. Overvågningskammersystemer kan endvidere anvende GNSS til tidsstempling af videoerne.
Forsvar, politi og retsvæsen mv., ikke-markeds-mæssig†	27 510	1,6%	Forsvaret er den klassiske og originale bruger af GNSS, og har mange aktiviteter hvor det er nyttigt at vide, hvor personel eller materiel befinder sig. Politiet bruger GNSS til flådestyring, navigation og ved løsning af opgaver.
Redningskorps mv.†	4 030	0,2%	Redningstjenesterne bruger GNSS til flådestyring og navigation.
Sport, marked	2 400	0,1%	Både professionelle og amatørsportsfolk bruger GNSS til at måle tider, ruter og mange andre sportslige aktiviteter.
Sport, ikke-marked	2 741	0,2%	
I alt	407 645	23,1%	

Note: Celler markeret med † indikerer, at et case-studie om branchens brug af GNSS kan findes i DTR's rapport, marts 2019.

Kilde: *London Economics viden og citerede kilder. For yderligere oplysninger anbefales GSA (2017). GNSS Market Report Issue 5.*

²¹ Danmarks Statistik (2018). *Avanceret teknologi indtager de danske marker*. <https://dst.dk/da/Statistik/nyt/NytHtml?cid=30775>

²² Særudtræk fra Danmarks Statistik til Styrelsen for Forskning og Uddannelse (gælder gas, varme, vand og renovation).

²³ Se evt. <https://dinoffentligetransport.dk/trafikinformation/nu-og-her/livekort-med-bus-tog-og-metro/>.

3.2 Samfundsøkonomiske effekter ved brug af positioneringstjenester

Dette delafsnit behandler de samfundsøkonomiske effekter ved brug af positioneringstjenester, som er givet ved to mål. Det første mål er forbrugeroverskuddet, som er forskellen mellem den pris en økonomisk agent (eksempelvis forbruger) er villig til at betale, og den pris agenten faktisk skal betale. Det andet mål er producentoverskuddet, som er givet ved forskellen mellem den pris, producenten får for sit produkt eller sin tjeneste, og den laveste pris producenten ville acceptere. Idet de fleste positioneringstjenester (navnlig GNSS) er gratis at bruge,²⁴ er forbrugeroverskuddet det dominerende mål.

Ved en analyse af samfundsøkonomisk værdi er det vigtigt, at gøre det "kontrafaktiske scenarium" klart. Det kontrafaktiske scenarium er den version af verden, hvor den analyserede politik eller teknologi ikke eksisterer. For samfundsøkonomiske effekter af GNSS er det kontrafaktiske scenarium således defineret ved en verden, hvor der ikke er udviklet et globalt system, som kan give brugere adgang til position, hastighed og tid. Det betyder, at gevinsterne er værdiansat i forhold til en verden, hvor alle brugere af GNSS i stedet anvender den næstbedste løsning. Det antages således, at brugere ville være villige til at betale for den næstbedste løsning, og dermed, at forbrugeroverskuddet er givet ved de besparelser, man opnår vha. GNSS. Fundamentalt antages det således, at GNSS bruges fordi det er den mest økonomiske løsning.

Det er nyttigt at illustrere ideen gennem et eksempel. Inden for landbruget anvendes GPS-RTK af de 19% af landmænd, som dyrker 51% af jorden.²⁵ Landmændene har anskaffet GNSS-udstyr fordi der er operationelle gevinster derved. SEGES²⁶ har beregnet, at landmænd, der bruger GPS-RTK sparer 4-9% af alle input i forhold til ikke-brugere. Den opnåede gevinst er beregnet i forhold til en landmand, som ikke bruger GNSS.

3.2.1 Metode

Den samfundsøkonomiske værdi ved brug af GNSS er baseret på sekundær litteratur med analyser for Storbritannien og EU som helhed, som er konverteret til danske forhold med de mest relevante parametre. Der er således tre relevante metoder at være opmærksom på, beskrevet i de følgende underafsnit. Resultaterne af hele afsnittet sammenfattes i Tabel 3 på side 19.

Det grundlæggende estimat

To typer af samfundsøkonomisk værdi er beregnet. Den første, **bidrag til BNP**,²⁷ er besparelser, der tilfalder virksomheder og kan sammenfattes som reducerede input. Dette omfatter eksempelvis de besparelser transportvirksomheder kan opnå på brændstof som følge af bedre rutevejledninger. Ved at bruge GNSS kan transportvirksomheder således opnå det samme ved at bruge færre input.

Den anden type af værdi kaldes **nytteværdi**, og er et mål for individers og befolkningens velbefindende. Begrænsning af negativ miljøpåvirkning hører til i denne kategori ligesom tidsbesparelser (for borgere) og reddede liv (som værdiansættes ved den statistiske værdi af et liv, defineret af Europa-Kommissionen).

²⁴ Men betalt af skatteydere i USA, EU, Kina og Rusland.

²⁵ Danmarks Statistik (2018). *Avanceret teknologi indtager de danske marker*. <https://dst.dk/da/Statistik/nyt/NytHtmI?cid=30775>

²⁶ Højholdt, M. (2015). *Reduktion af brændstofforbruget med RTK-GPS*. Tilgængelig her: https://www.landbrugsinfo.dk/Maskiner-markteknik/Traktorer/Sider/reduktion-af-brændstofforbruget-med-rtk-gps_pl_15_2194_2439.aspx [tilgået 28/09/2018]

²⁷ En virksomheds bidrag til BNP kaldes bruttoværditilvækst og er givet ved forskellen på samlet omsætning og indkøb af input (råmaterialer og halvfabrikata).

Det grundlæggende estimat for værdien af brug af GNSS i Storbritannien er beregnet på detaljeret niveau for mere end 60 specifikke anvendelsesområder for positioneringstjenester.

Konvertering til Danmark

Konvertering til danske forhold foretages med udgangspunkt i, hvad GNSS anvendes til. Eksempelvis konverteres gevinster på vejene fra britiske til danske forhold baseret på antallet af kilometer, der køres på de respektive veje. Denne tilgang antager, at danske brugere får samme procentvise gevinst som de britiske, at GNSS anvendes til samme andel af aktiviteterne, samt at prisen på brændstof er sammenlignelig. Det er vigtigt at være opmærksom på disse implicite antagelser, men det vurderes, at estimaterne giver et retvisende billede for Danmark.

I alt bruges mere end 40 specifikke konverteringsfaktorer, men i visse tilfælde er BNP eller befolkning de mest relevante.

Tabel 2 viser eksempler på de konverteringsfaktorer, der bruges til at "oversætte" fra britiske til danske forhold.

Tabel 2 **Eksempler på konverteringsfaktorer**

Nødopkald	Fiskebåde
Banker	Demenspatienter
Droner	Mængden af farligt gods
Matrikler	Antal PLB, EPIRB
Landbrugsareal	Antal børn
Fangst (fiskeri)	Bruttovækst i fast realkapital
Bil-km	Antal handelsskibe
Tog-km	Fitnessure
Køretøjer	Smartphones
BNP	Befolkning

Fremskrivning til 2030

Fremskrivningen til 2030 tager udgangspunkt i GSA (2017) *GNSS Market Report Issue 5*, som er den autoritative kilde til udviklingen inden for GNSS. Analysen er således baseret på en fremskrivning af markedet for GNSS udstyr. Her findes oplysninger om, hvordan antallet af brugere forventes at udvikle sig over tid og dermed hvilken andel af de samlede udgifter, der er potentiale for at spare.

3.2.2 Resultater

Der er mange anvendelsesområder for positioneringstjenester, herunder GNSS, i Danmark. Resultaterne i denne rapport er baseret på 65 anvendelsesområder, der spænder fra navigation ved hjælp af smartphone, over professionel brug i den maritime verden, til tidsstyring og -synkronisering i samfundsvigtige funktioner (finanssektoren og el-transmission). Afrapportering af analysen risikerer således hurtigt at blive meget detaljeret på bekostning af overblik.

Resultaterne præsenteres på årlig basis nedenfor baseret på de krav, de forskellige applikationer stiller til positionens nøjagtighed efter konventionen i afsnit 2.1: *centimeterniveau (1-10cm)*, *decimeterniveau (10-100cm)*, *meterniveau (1-10m)* og *ringere (>10m)*. De applikationer, der stiller krav til tid snarere end position, præsenteres separat.²⁸

Meget høj nøjagtighed, centimeterniveau

Få applikationer stiller så store krav, at de er at finde i denne kategori. Landmåling og landbrug er de største brancher på nuværende tidspunkt. Det beregnede årlige **bidrag til BNP i 2019 er 80 mio. kr.** Den tilsvarende nytteværdi er **160 mio. kr.** Værdien skabes ved at GNSS har erstattet traditionelle

²⁸ Klassificeringen er baseret på det Europæiske GNSS Agenturs brugerkrav, der kan findes her: <https://www.gsa.europa.eu/news-room/news/just-published-first-report-series-user-needs-and-requirements-position-navigation-and>.

metoder til både landmåling og landbrug. Landmålere skulle tidligere sikre, at de kunne se et referencepunkt, men vha. GNSS kan de i stedet tage målinger med reference til den beregnede position. Dette betyder, at landmålere kan spare tid og nå mere på samme tid. Bygge- og anlæg bruger også applikationer med disse krav til nøjagtighed, og kan spare mange input i forhold til manuelle løsninger ved at lade en præcis maskine lægge asfalt.

I landbruget har udviklingen af variabel applikation af pesticider og gødning bevirket, at man kan optimere afkastet på marken og sikre, at man kun sprøjter de planter der har behov for det (pesticider hvis der er infektioner, gødning hvis planten er for lille). Værdien af at begrænse input og samtidig øge afkastet tilfalder oplagt landmænd, men derudover er der en gevinst for den brede befolkning, som har glæde af mindre miljøbelastning.

Den helt store udvikling i højnøjagtighedsapplikationer findes i førerløse køretøjer, som stiller store krav til positionens nøjagtighed foruden krav til robusthed og integritet. Det er endnu uklart hvor stor en rolle GNSS kommer til at spille i førerløse køretøjer. Det skyldes dels, at der er kendte begrænsninger ved GNSS (eksempelvis ingen dækning i tunneller), dels krav om at sikre, at man ikke gør sig for afhængig af en sensor på bilen. For ikke at overestimere værdien af GNSS antages det, at teknologien kommer til at spille samme rolle for en førerløs bil, som det gør for en bil med fører.²⁹

Fælles for alle applikationer i denne kategori er, at de ikke kan eksistere ved GNSS alene. Det betyder, at de er afhængige augmentationssystemer som RTK, PPP eller D-GNSS.

Frem mod 2030 forventes GNSS at spille en stadig større rolle i disse applikationer. I dag er det eksempelvis 51% af landbrugsarealet, der er dyrket vha. af GNSS, men over det næste årti kan man forvente, at den andel stiger.

Det beregnede bidrag til **BNP i 2030**³⁰ er **260 mio. kr.** og nytteværdien er beregnet til **460 mio. kr.** Gevinsterne ved selvkørende biler manifesterer sig ved, at brugere kan spare tid, som værdiansættes ved gennemsnitlig løn.

Høj nøjagtighed, decimeter-niveau

Der er endnu ikke mange applikationer, der kræver nøjagtighed på decimeter-niveau, men enkelte landmålingsapplikationer i forbindelse med kortlægning og grusgrave kan nøjes med det niveau. Brug af GNSS inden for meteorologi er også i denne gruppe. En vigtig gruppe af aktiviteter udføres vha. droner, som bruges til en bred vifte af applikationer såsom filmoptagelser (eksempelvis bruges droner af ejendomsmæglere til at præsentere huse), inspicering af svært tilgængelig infrastruktur som el-ledninger og broer, m.v. At dronere stiller store krav til nøjagtighed, ses ved, at den største droneproducent, DJI, har udviklet RTK-baserede navigationssystemer til droner. Det beregnede årlige **bidrag til BNP i 2019 er 60 mio. kr.** Den tilsvarende nytteværdi er **10 mio. kr.**

Det beregnede bidrag til **BNP i 2030** er **70 mio. kr.** og nytteværdien er beregnet til **10 mio. kr.**

For at opnå en nøjagtighed, der er bedre end en meter kræves augmentationssystemer som D-GNSS eller EGNOS. Om få år, når Galileos højnøjagtighedstjeneste (HAS) bliver tilgængelig, vil brugere, der

²⁹ Der er andre uafklarede roller, som GNSS måske kan spille i forbindelse med førerløse køretøjer. Eksempelvis forventes det, at tidsstemping får en væsentlig rolle, og GNSS er en meget attraktiv kilde til tidsstemping grundet dets globale dækning og lave pris. Hvis akkurat absolut tidsstemping bliver et krav, og synkronisering på tværs af køretøjer en nødvendighed, er det muligt, at GNSS kommer til at spille denne vigtige rolle. Udviklingen på området er afhængig af, om førerløse biler bliver implementeret som et netværk hvor køretøjerne kommunikerer med hinanden eller en anden løsning foretrækkes.

³⁰ Beregningerne for 2030 anvender samme 2018-priser som beregningerne for 2019 og er derfor sammenlignelige.

kræver decimeternøjagtighed få endnu en mulighed. At Galileos tjeneste bliver frit tilgængelig nedbryder en vigtig barriere til udvikling nye anvendelsesområder der kræver høj nøjagtighed.

Middel nøjagtighed, meter-niveau

Det er ikke overraskende, at mange af de analyserede applikationer er i denne gruppe, som også skaber mere end 90% af værdien. Det skyldes, at de eksisterende GNSS er i stand til at levere denne nøjagtighed uden brug af augmentationsystemer. Der er således mange applikationer, som er defineret til at drage fordel af GNSS.

I bred forstand kan alle applikationer i denne gruppe klassificeres enten under *transport og navigation* eller *sundhed, sikkerhed og udrykning*. Inden for transport og navigation findes skibsfarten, hvis brug af GNSS er beregnet til årligt at bidrage med mere end 4.200 mio. kr. til BNP.³¹ En anden svær vægtsapplikation er navigation, på vej og til fods, som skaber nytteværdi for over 3 200 mio. kr.

Andre applikationer inden for *transport og navigation* er fiskeriet, hvor brugen af GNSS øger effektiviteten, luftfarten, hvor GNSS endnu spiller en mindre rolle, samt visse applikationer inden for jernbanedriften. Det samlede årlige **bidrag til BNP i transport og navigation i 2019 er 8 120 mio. kr.** Den tilsvarende nytteværdi er **310 mio. kr.**

Sundhed, sikkerhed og udrykning omfatter mange forskellige applikationer, som alle har betydning for sundhed og sikkerhed. Den største applikation er en ny udvikling inden for alarmcentraler. Med udgangen af 2018 er Advanced Mobile Location (AML) implementeret i Danmark, hvilket betyder, at smartphones der laver opkald til alarmcentralen medsender en sms-besked med den position, som telefonen har udregnet. Der er store gevinster at hente ved at sikre, at alarmcentralen har den rette position på en nødstedt inden udrykning. Besparelsen pr. opkald er 27 sekunder,³² som er den tid et mobilopkald varer længere end et fastnetopkald før ambulancetjenesten ved *hvem, hvad og hvor* den skal rykke ud til. Tid er meget vigtig ved udrykning og værdisat til 10 000 kr. i minuttet.³³ Den samlede gevinst fra AML i 2019 er beregnet til mere end 4 000 mio. kr.

Andre applikationer inden for *sundhed, sikkerhed og udrykning* tæller sporing af børn, demenspatienter og enearbejdere, fitnessure og nødradiobøjler. eCall er et fælleseuropæisk system, som bevirker, at biler hvis airbag udløses, laver nødopkald til alarmcentralen og sender oplysninger om bilen (antal passagerer, hastighed, og position), som bruges af alarmcentralen til hurtigere udrykning. eCall er i alle biler i Europa, der er typegodkendt efter 1. april 2018. Det samlede årlige **bidrag til BNP i Sundhed, sikkerhed og udrykning i 2019 er 560 mio. kr.** Den tilsvarende nyttegevinst er **4 800 mio. kr.** primært skabt pga. hurtigere udrykning og deraf følgende reddede liv og reducerede skader.

Frem mod 2030 forventes AML at spille en stadig større rolle, idet en stadigt stigende andel af nødopkald forventes at komme fra smartphones. Det samme gælder eCall, som vil være at finde i næsten alle biler til den tid. Flådestyringssystemer der forbedrer effektiviteten i logistikbranchen forventes også at vinde større udbredelse.

Endvidere forventes det, at store potentielle gevinster kan opnås inden for togdrift, hvor GNSS-baserede signaler kan erstatte en del af den fysiske infrastruktur langs skinnerne. Det betyder ikke

³¹ Skibsfartens gevinster ved brug af GNSS er et ivrigt debatteret emne i GNSS-miljøet fordi kaptajner som udgangspunkt ikke behøver GNSS. Ikke desto mindre har brugen af GNSS øget effektiviteten af sektoren fordi planlægning og navigation er blevet bedre. Det er antaget, at 10% af sektorens bruttoværditilvækst skabes fordi GNSS reducerer input- og tidsforbrug.

³² London Ambulance Service (2014). *Saving Lives: Using improved Mobile Phone Technology*. Præsentation.

³³ Jaldell, Henrik (2004) *Cost-benefit analysis and life-saving operations*, Karlstad Universitet.

bare en reduktion i vedligeholdelsesomkostninger, men muliggør også såkaldt moving-block signaling, hvor tog ikke længere behøver at passere et signal, men trafikken kan reguleres baseret på togets position. Ved implementering af dette system kan man øge kapaciteten på det eksisterende skinnenet.

Det samlede årlige bidrag til BNP for applikationer, der kræver middel nøjagtighed, er beregnet til **11 600 mio. kr. i 2030** og nytteværdien er beregnet til **6 890 mio. kr.**

Som nævnt er denne middelnøjagtighed tilpasset den faktiske service, der er til rådighed fra GNSS. Brugernes krav er således konsistente med det, der er til rådighed. Med udvikling inden for brug af to frekvenser i forbrugerudstyr og HAS inden for de kommende år kan man forestille sig, at dette *teknologiske skub* over tid kan ændre de krav, der stilles og dermed de samfundsøkonomiske effekter, der skabes i brugerområder med middel nøjagtighed. Navigationsgevinster i biler er en oplagt kandidat, idet selvkørende biler stiller højere krav, end når der er et menneske bag rattet. Selvom den rolle GNSS spiller er uændret, er det rimeligt at antage, at visse gevinster ved navigation, over tid, vil skulle tilskrives en gruppe, der kræver højere nøjagtighed.

Lav nøjagtighed, mere end 10 meter

Der er ikke mange analyserede applikationer, der kan klare sig med nøjagtigheder på dette lave niveau. En af dem er den fælleseuropæiske tachograf, som er en lastvognsskriver der baseres på periodiske GNSS-målinger. En anden applikation er bredbånd til fly, hvor satellitbaseret internet bruges på fly på længere ruter. Det beregnede årlige **bidrag til BNP i 2019 er 60 mio. kr.** Den tilsvarende nytteværdi er mindre end **10 mio. kr.**

Frem mod 2030 forventes udvikling inden for bekæmpelse af onlinesvindler med betalingskort, som kan forbindes til brugerens smartphone og sikre, at korttransaktioner kun gennemføres i nærheden af denne. Det samlede bidrag til BNP for applikationer, der kræver lav nøjagtighed er beregnet til **200 mio. kr. i 2030** og nytteværdien er mindre end **10 mio. kr.**

Tidsstyring og -synkronisering

Brugen af GNSS til tidsstyring og -synkronisering erstatter brugen af atomure. GNSS-ure har længere levetid, og netværksoperatører kan derfor reducere omkostninger ved at bruge GNSS. Derudover har GNSS den store fordel, at man ikke behøver anden infrastruktur end et GPS-ur. Alternative tids-distributionssystemer ville være afhængige af et fibernet til distribution af kalibreringsmeddelelser.

Banker, el-transmission og kommunikationsnetværk bruger alle GNSS i større eller mindre omfang, og den anvendelse bidrager **120 mio. kr. til BNP i 2019**. Udviklingen inden for 5G forventes at øge kravene til synkronisering, så disse applikationer i **2030** bidrager med **150 mio. kr. til BNP**.

Sammendrag

Den samlede beregnede værdi af brugen af GNSS-tjenester er **14 280 mio. kr.** fordelt mellem 9 000 mio. kr. i BNP bidrag og 5 280 mio. kr. i nytte i **2019**. De tilsvarende tal for **2030** er **19 640 mio. kr.** totalt, med 12 280 mio. kr. i BNP bidrag og 7 360 mio. kr. i nytte.

Tabel 3 Resultater, samfundsøkonomiske gevinster

Gruppe	2019		2030	
	BNP-bidrag	Nytte	BNP-bidrag	Nytte
Centimeterniveau	80 mio. kr.	160 mio. kr.	260 mio. kr.	460 mio. kr.
Decimeterniveau	60 mio. kr.	10 mio. kr.	70 mio. kr.	10 mio. kr.
Meterniveau, heraf	8 680 mio. kr.	5 110 mio. kr.	11 600 mio. kr.	6 890 mio. kr.
<i>transport og navigation</i>	8 120 mio. kr.	310 mio. kr.	10 770 mio. kr.	380 mio. kr.
<i>sundhed, sikkerhed og udrykning</i>	560 mio. kr.	4 800 mio. kr.	810 mio. kr.	6 510 mio. kr.
Mere end 10 meterniveau	60 mio. kr.	<10 mio. kr.	200 mio. kr.	<10 mio. kr.
Tidsstyring	120 mio. kr.		150 mio. kr.	
I alt	9 000 mio. kr.	5 280 mio. kr.	12 280 mio. kr.	7 360 mio. kr.

Som nævnt er disse beregninger baseret på antagelser, der er udviklet til Storbritannien, hvor de samlede samfundsøkonomiske effekter blev beregnet til 6,6 mia. pund pr. år. Det er rimeligt at antage, at anvendelsen af GNSS er sammenlignelig på tværs af det to lande, men specifikke egenskaber ved den danske økonomi gør, at det samlede tal er forskellige.

Eksempelvis er skibsfarten en langt vigtigere del af den danske økonomi end den britiske, så en betydelig effektivitetsforbedring pga. GNSS bidrager langt mere til Danmarks BNP end det britiske. Det bør også nævnes, at beregningerne af Storbritannien gevinster inden for nødopkald var baseret på en (dengang gældende) antagelse om, at det kun var Androidtelefoner, der kunne deltage i AML. Efter Apple bekræftede, at AML er tilgængelig i iPhones opdateret efter foråret 2018, er tallet i dag utvivlsomt langt større.

3.3 Opregning af tab ved udfald af positioneringstjenesterne

I de senere år er sårbarheden ved GNSS kommet på dagsordenen i flere lande, herunder Storbritannien, USA, Korea og Danmark. Det Tværministerielle Rumudvalg (DTR)³⁴ forventes at offentliggøre sin analyse af Danmarks sårbarhed overfor et udfald i satellitbaserede positioneringstjenester i marts 2019. DTR's rapport indeholder case-studier af otte områder i det danske samfund og er baseret på interviews med interessenter. For flere oplysninger om GNSS-sårbarheder henvises til DTR's rapport, som dog ikke beregner et samlet tab for det danske samfund.

Ved opregning af tab ved udfald af positioneringstjenesterne, er det kontrafaktiske scenarium anderledes end for de samfundsøkonomiske effekter, og vanskeligere at definere. Det kontrafaktiske scenarium i denne analyse er, at positioneringstjenesterne ikke har udfald. Det betyder, at man skal overveje, hvordan brugen af positioneringstjenesterne har påvirket de økonomiske agents evner.

Eksemplet fra landbruget er igen nyttigt. Gevinsterne ved brug af positioneringstjenesterne er beregnet i forhold til de evner, man kan forvente at finde hos landmænd, som aldrig har brugt GNSS.

³⁴ "Det Tværministerielle Rumudvalg består af repræsentanter fra Erhvervsministeriet, Finansministeriet, Miljø- og Fødevareministeriet, Udenrigsministeriet, Forsvarsministeriet, Transport-, Bygnings og Boligministeriet, Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet samt Uddannelses- og Forskningsministeriet (formand). Udvalget skal arbejde for, at Danmark til fulde udnytter de muligheder, som rumbaseret infrastruktur tilbyder inden for vækst og beskæftigelse, varetagelse af myndighedsopgaver og for de danske forskningsinstitutioner." <https://ufm.dk/forskning-og-innovation/rumområdet/rummet-og-danmark/tvaerministerielt-rumudvalg>

Det er derfor rimeligt at antage, at disse landmænd er rutinerede traktorførere. Tabet ved et udfald, på den anden side, skal analyseres i forhold til en landmand, som måske har kørt med assistance i mange år, så det er sandsynligt, at dennes evner ikke er sammenlignelige med den anden.

I forbindelse med brug af GNSS i landbrug er overlappet mellem kørsler et brugbart mål. GNSS-ansværelsen gør, at landmændene kan reducere overlappet, eksempelvis fra ca. 30 cm til 4 cm. Nogle af gevinsterne findes derfor fordi landmænd kan reducere antallet af ture på tværs af marken. Ved GNSS-udfald er det dog ikke sandsynligt, at landmænd, der har kørt med assistance i mange år, kan opnå det samme overlap på 30 cm, men der eksisterer ingen eksperimenter, der har belyst hvor stort et overlap, de laver.

For at illustrere denne forskel kan man overveje følgende parallelle spørgsmål: *Hvad er værdien af elektroniske telefonbøger?* i forhold til *Hvilken betydning ville et tab af elektroniske telefonbøger have?* Da elektroniske telefonbøger blev indført i mobiltelefoner, kunne de fleste mennesker huske de vigtigste telefonnumre, og gevinsten ved at kunne vælge en kontakt i stedet for at indtaste nummeret var derfor begrænset. Udviklingen over de sidste ca. 20 år har imidlertid gjort, at de færreste kan huske mere end en håndfuld telefonnumre, og ikke mange nye. Et tab af elektroniske telefonbøger ville derfor gøre det meget vanskeligt for folk at komme i kontakt med hinanden, og eftersom de færreste har personlige telefonbøger på papir, ville tabet kræve mange opslag i fysiske telefonbøger eller på internettet.

3.3.1 Metode

Dette afsnit af nærværende rapport baserer sig på London Economics (2017) *The economic impact on the UK of a disruption to GNSS*, som indeholder et samlet estimat for Storbritanniens økonomiske tab ved et udfald i GNSS i fem dage. De beregnede værdier kommer fra den britiske rapport, men konverteres til danske forhold med input fra den danske sårbarhedsanalyse.

Som for samfundsøkonomisk værdi er konverteringsfaktorerne baseret på en analyse af, hvad der er den mest relevant faktor for hvert anvendelsesområde. Mere end 20 konverteringsfaktorer anvendes til analysen, eksempler herpå findes i Tabel 4.

Den britiske rapport, som danner grundlag for beregningerne, er baseret på konsultationer med mere end 35 eksperter i Storbritannien.

Selvom resultaterne er baseret på specifikke forhold i Storbritannien giver de et nogenlunde retvisende estimat af et moderne samfunds afhængighed af GNSS, og et indtryk af, hvilke konsekvenser et udfald af GNSS kan have.

Tabel 4 Eksempler på konverteringsfaktorer

BNP	Exclusive Economic Zone
Befolkning	Passagerkilometer (tog)
Værdi af fangst	Værdi af kornproduktion
Nødopkald	Cospas-Sarsat nødradiobøje aktivering
Brand	Antal køretøjer efter type
Demenspatienter	BVTV per branche:
Kommercielle fly	Telekommunikation; Maritim transport;
Eksport	Hjælpevirksomhed til transport; Fremstilling;
Landbrugsjord	Fødevarerfremstilling; Hotel og restaurering; Landmåling; Bygge- og anlæg;
Vejkilometer	

Det skal dog nævnes, at visse beregninger er dybt afhængige af den måde GNSS er implementeret i Storbritannien, og at der er usikkerhed om, hvorvidt det samme findes i Danmark. Eksempelvis redegør den britiske rapport for, at finanssektoren er robust overfor et udfald af GNSS, men den danske rapport har ikke bekræftet dette resultat. Tilsvarende gælder, at det maritime erhverv i Storbritannien blev identificeret som sårbart. Den danske rapport har ikke undersøgt sårbarheder i det maritime erhverv. Storbritannien har et aktivt GNSS-miljø og har åbent diskuteret risici ved brug af GNSS i mange år. Det er derfor ikke usandsynligt, at brugere i Storbritannien er mere robuste end i

Danmark. Selvom det ikke er undersøgt, og derfor ikke kan siges med sikkerhed, tyder det derfor på, at disse beregninger med udgangspunkt i Storbritannien kan repræsentere en nedre grænse for tabet i Danmark.

På grund af disse begrænsninger anbefales det, at tallene anvendes i overordnet form og, at detaljerede resultater betragtes som vejledende.

Beregningen tager udgangspunkt i et scenarium, hvor GNSS forsvinder uden varsel i 5 dage for så at blive genskabt fuldstændigt. Det antages endvidere, at udfaldet hænder i en gennemsnitlig periode, dvs. der ikke tages hensyn til, om applikationens brug af GNSS afhænger af årstider.

3.3.2 Resultater

Det samlede tab for det danske samfund, der kan forventes i forbindelse med et fem-dages udfald i satellitbaserede positioneringstjenester er beregnet til i alt **4,9 mia. kr.** (2,8 mia. kr. i BNP tab og 2,1 mia. i tabt nytte).

En betragtelig andel (**12% - nyttetab på 0,6 mia. kr.**) af dette stammer fra applikationer inden for *sundhed, sikkerhed og udrykning*. Den altovervejende grund til tabet fra denne gruppe findes ved udrykningskøretøjerne. Der spares megen tid på, at nødopkald medsender positionen, og alarmcentralen derfor hurtigere ved hvor ulykken er sket. Uden disse oplysninger kommer operatørerne til at skulle bruge mere tid på enkelte opkald, hvilket betyder, at køretøjet ankommer senere, og at der bliver længere kø til at komme igennem. Uden adgang til navigationssystemer i køretøjer antages det endvidere, at selve udrykningen varer længere. Ved udrykning er tid meget kostbar, så selv små tillæg til den samlede udrykningstid har store konsekvenser.

Fødevarerektoren, som dækker fiskeri og landbrug samt restauranter og fødevarerfremstilling, er beregnet til at **tabe BNP-bidrag på 0,5 mia. kr.**, primært fordi præcisionslandbruget mister de betragtelige øgede afkast, der er beregnet, fordi det bruger GNSS. Disse effekter spreder sig derefter til de brancher der aftager landbrugs- og fiskeriprodukter.

Andre professionelle brugere inden for en bred vifte af brancher og applikationer (det offentlige, søfarten og relaterede brancher, landmåling, samt logistik og andre professionelle chauffører) er beregnet til at miste **BNP-bidrag på 0,6 mia. kr.**

Den brede *befolkning* kommer også til at mærke påvirkning fra et udfald af GNSS med et beregnet nyttetab på **1,5 mia. kr.** Langt hovedparten af tabet skyldes, at befolkningen kommer til at bruge mere tid i trafikken (1,4 mia. kr.), hvilket værdiansættes efter gennemsnitlig løn (med korrektion for fritid).

Den sidste kategori af tab bæres af økonomiske agenter, som *ikke selv anvender GNSS*. Fremstillingssektoren er meget afhængig af input til tiden (just-in-time). Fordi effektiviteten i skibsfarten forventes at være alvorligt ramt, bliver mange input forsinkede. Denne effekt kan risikere at være i lang tid fordi en meget stor del af de varer, der importeres til Europa lander i Rotterdam og Antwerpen, for så at blive fordelt af mindre skibe og lastvogne. Danmark er ikke afhængig af det maritime til alle importerede varer, på samme måde som Storbritannien, men til gengæld udgør Danmarks fremstillingssektor en betydeligt større andel af BNP end Storbritanniens (12.5% mod 9.2%). Tab inden for fremstillingssektoren er beregnet til 1,1 mia. kr. og yderligere tab som følge af tabte eksportmuligheder er beregnet til 0,6 mia. kr. for et samlet BNP-tab til ikke-brugere på **1,7 mia. kr.**

Tabel 5 sammenfatter resultaterne fra dette delafsnit.

Tabel 5 Resultater, tab ved fem-dages udfald af GNSS

Gruppe	2019	
	BNP-bidrag	Nytte
Sundhed, sikkerhed og udrykning		0,6 mia. kr.
Fødevarerektoren	0,5 mia. kr.	
Andre professionelle brugere	0.6 mia. kr.	
Den brede befolkning		1.5 mia. kr.
Ikke-brugere	1,7 mia. kr.	
I alt	2,8 mia. kr.	2,1 mia. kr.

4 Erhvervsøkonomisk værdi af positioneringstjenester

Ved den erhvervsøkonomiske værdi af positioneringstjenester forstås den omsætning, bruttoværditilvækst og beskæftigelse, der understøttes i danske virksomheder med aktiviteter inden for navigation. Den bredere samfundsøkonomiske værdi, der skabes ved brug af positioneringstjenester findes i kapitel 3.

Styrelsen for Forskning og Uddannelse har i skrivende stund udgivet tre nylige rapporter over det danske rumerhverv:

- 1) Rambøll og London Economics (2016). *Analyse- og evidensgrundlag for rumområdet i Danmark.*
- 2) Styrelsen for Forskning og Uddannelse (2018). *Rumstatistik – Rumområdets betydning for den danske økonomi i tal.*
- 3) Rambøll (2018). *Opdateret statistik om rumerhvervet samt analyse af rumerhvervets vækstpotentiale.*

Kun i 1) rapporteres erhvervsøkonomiske parametre med en detaljeringsgrad, der gør det muligt at sige noget om positioneringstjenesterne.

Ifølge 1) havde 67 danske virksomheder i 2013 aktiviteter inden for satellitnavigation. Disse virksomheder omsatte for ca. 1,5 mia. kr., bidrog ca. 300 mio. kr. til BNP og beskæftigede omtrent 900 medarbejdere. Af de 67 virksomheder identificeret i 1) er 61 rapporteret som aktive i 3), som derudover har identificeret 32 nye navigationsaktive virksomheder.³⁵

Mange danske virksomheder med aktiviteter inden for navigation specialiserer sig inden for flådestyring, landbrug og maritim elektronik.

³⁵ Det opdaterede Analyse- og evidensgrundlag har ikke offentliggjort klassificeringen af aktiviteter efter satellittype, så de 32 nye virksomheder stammer fra denne forfatters analyse af den komplette list over rumerhvervet i rapporten.

5 Konklusion

GNSS er et sjældent eksempel på et offentligt gode, hvor brugere ikke kan udelukkes, og en brugers anvendelse af godet ikke påvirker andre brugeres adgang til godet eller den kvalitet de opnår. Fordi GNSS er gratis at bruge (men har kostet mange skattekrone at bygge), er det interessant at undersøge om de stater, der har betalt, får valuta for pengene.

GNSS som et offentligt gode er en meget succesrig teknologi, som er nærmest synonym med positioneringstjenester. Positioneringstjenester vurderes på mange parametre, og producenter af brugerudstyr afvejer de enkelte parametre for at sikre, at de mest relevante af disse præsterer bedst på bekostning af de mindre relevante. Den relative betydning af de enkelte parametre er helt afhængig af, hvad positioneringstjenesterne bruges til. GNSS leverer tre mål til brugere, nemlig position, hastighed og tid, og er derfor meget velegnet til navigation. GNSS står dog sjældent alene, men komplementeres af andre sensorer, som hjælper brugerens udstyr med at levere en position når GNSS ikke er tilgængelig, eksempelvis i en tunnel.

Analysen i denne rapport har beregnet, at **23,1% af Danmarks BNP** skabes i brancher, som er afhængige af GNSS til forskellige applikationer. Finanssektoren, som bidrager 6% til BNP, bruger GNSS til at tidsstemple transaktioner og synkronisere netværk, mens skibsfarten og den øvrige transportsektor (5%) bruger GNSS til at holde styr på gods, skibe og køretøjer, og til at planlægge overgangen mellem transportmidler – og selvfølgelig til navigation.

Den samfundsøkonomiske værdi af GNSS i Danmark er beregnet til **14,3 mia. kr.** i 2019, med store gevinster inden for transport og navigation samt sundhed, sikkerhed og udrykning. Denne værdi er beregnet til at vokse til **19,6 mia. kr.** i 2030 (i faste priser). Det er dog vigtigt at bemærke, at disse tal er beregnet med udgangspunkt i analyser, der dækker Storbritannien, og som i visse tilfælde er baseret på viden på EU-niveau. Der er således en vis usikkerhed forbundet med resultaterne, som dog vurderes at give et nogenlunde retvisende estimat af den samfundsøkonomiske værdi af GNSS.

Det er beregnet, at Danmark kan påregne et samlet tab ved et fem-dages udfald af GNSS-tjenester på **4,9 mia. kr.** Det antages fundamentalt, at det danske samfund har samme anvendelse (og robusthed) som det britiske i denne beregning. Der er forskelle mellem landene som gør, at det er sandsynligt, at anvendelse og robusthed ikke er identiske, men ikke desto mindre giver analysen et billede af, hvor afhængigt det moderne samfund er af GNSS.

På trods af den usikkerhed der er forbundet med beregningerne, er det stadig nyttigt at identificere de vigtigste risici ved et betydeligt udfald af GNSS tjenesterne. At vejtransportnettet bliver påvirket er næppe overraskende, og at det udgør ca. 30% af tabet måske heller ikke. Derimod er den effekt, et udfald af GNSS vil have på ikke-brugere som i fremstillingssektoren måske mere overraskende. Mange fremstillingsvirksomheder er afhængige af just-in-time leverancer og på grund af reduceret effektivitet i havne samt øget trængsel på vejnettet, udgør sektoren 35% af tabet.

Den erhvervsøkonomiske værdi af positioneringstjenester (forstået som antal virksomheder, ansatte, omsætning og bruttoværditilvækst) er præsenteret i Rambøll og London Economics (2016). *Analyse- og evidensgrundlag for rumområdet i Danmark*. Baseret på data for 2013 blev det rapporteret, at 67 danske virksomheder med ca. 900 ansatte omsatte for 1,5 mia. kr. og bidrog med 300 mio. kr. til BNP. I den seneste statistik om rumerhvervet³⁶ var 61 af disse virksomheder stadig aktive, og yderligere 32 identificeret, men nye data er endnu ikke udkommet på det nødvendige niveau.

³⁶ Rambøll (2018). *Opdateret statistik om rumerhvervet samt analyse af rumerhvervets vækstpotentiale*.

Indeks af Tabeller og Figurer

Tabeller

Tabel 1	Anvendelse af positioneringstjenester efter statistisk branche	13
Tabel 2	Eksempler på konverteringsfaktorer	15
Tabel 3	Resultater, samfundsøkonomiske gevinster	19
Tabel 4	Eksempler på konverteringsfaktorer	20
Tabel 5	Resultater, tab ved fem-dages udfald af GNSS	22

Figurer

Figur 1	GNSS-modtagere	4
Figur 2	Professionelle GNSS-modtagere	5

BILAG

Bilag 1 Forkortelser

ADS-B	Automatic Dependent Surveillance Broadcast
AML	Advanced Mobile Location
BNP	Bruttonationalprodukt
BVTV	Bruttoværditilvækst
CSAC	Chip Scale Atomic Clocks
D-GNSS	Differential GNSS
Doppler	Det fænomen, at en bølges frekvens ændrer sig hvis kilde og modtager bevæger sig mod eller væk fra hinanden.
DTR	Det Tværministerielle Rumudvalg
eCall	Fælleseuropæisk Emergency Call system
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
eLoran	Enhanced Long-Range Navigation
EU	Den Europæiske Union
FOC	Full Operational Capability
GLONASS	GLobalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	Globale Navigations Satellit Systemer
GPS	Global Positioning System
GSA	Det Europæiske GNSS Agentur
HAS	High Accuracy Service
IALA	International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
LBS	Location-Based Services
LE	London Economics
LiDAR	Light Detection And Ranging
MEMS	Mikroelektromekaniske systemer
MiFID II	Market in Financial Instruments Directive II
NATO	North Atlantic Treaty Organisation
OS-NMA	Open Service Navigation Message Authentication
PNT	Position, Navigation, and Timing
PPP	Precise Point Positioning
PRS	Public Regulated Service
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System
Radar	Radio Detection And Ranging
RTK	Real-Time Kinematic
RSS	Received Signal Strength
Sapcorda	Safe And Precise CORrection DATA
SAR	Search and Rescue
SBAS	Satellite-Based Augmentation System
SCADA	Supervisory control and data acquisition
SDFE	Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering
SFU	Styrelsen for Forskning og Uddannelse
SLAM	Simultaneous Location and Mapping
STL	Satelles Time and Location
TDOA	Time Difference of Arrival
TOA	Time of Arrival
TTF	Time To First Fix
TTFAC	Time To First Accurate Fix
UK	United Kingdom
UTC	Universal Coordinated Time

Bilag 2 Anbefalet læsestof

- Angående teknologien:
 - GSA (2018). *GNSS User Technology Report Issue 2*. <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/gnss-market/gnss-user-technology-report>
- Angående markedet og anvendelse af GNSS (mere følger i næste kapitel):
 - GSA (2017). *GNSS Market Report Issue 5*. <https://www.gsa.europa.eu/2017-gnss-market-report>
- Angående brug af GNSS i Danmark
 - London Economics (2019). *Denmark's economic vulnerability to a loss of satellite-based PNT*. Forventes offentliggjort i marts 2019 af Styrelsen for Forskning og Uddannelse.
- Angående kritisk afhængighed af GNSS i Storbritannien
 - Government Office for Science (2018). *Satellite-derived time and position: Blackett Review*. <https://www.gov.uk/government/publications/satellite-derived-time-and-position-blackett-review>
 - London Economics (2017). *The economic impact on the UK of a disruption to GNSS*. <https://www.gov.uk/government/publications/the-economic-impact-on-the-uk-of-a-disruption-to-gnss>



Somerset House, New Wing, Strand,
London, WC2R 1LA, United Kingdom
info@londoneconomics.co.uk
londoneconomics.co.uk
[@LondonEconomics](https://twitter.com/LondonEconomics)
+44 (0)20 3701 7700