DANSKE ANVENDELSER AF COPERNICUS

50 ANVENDELSER AF JORDOBSERVATIONER FRA SATELLITTER

Framework Partnership Agreement
for Copernicus User Uptake

Denne udgivelse er blevet til i et samarbejde mellem Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering under Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet og Teknik- og Miljøforvaltningen i Københavns Kommune, der har bidraget til de kommunale anvendelser. Copernicus Udvalget, der er et underudvalg til Det Tværministerielle Rumudvalg, har bidraget til koordinering af projektet.

Udgivelsen er støttet af midler fra EU-Kommissionen: Caroline Herschel Framework Partnership Agreement on Copernicus User Uptake under grant agreement No FPA 275/G/GRO/COPE/17/10042, project FPCUP (Framework Partnership Agreement on Copernicus User Uptake), Action 2018-1-83: Developing best practice catalogue for use of Copernicus in the public sector in Denmark.

Editorial Board

Martin Nissen (red.), *Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering*

Georg Bergeton Larsen, *Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering*

Olav Eggers, *Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering*

Anne Birgitte Klitgaard, *Kontor for Rum, Styrelsen for Forskning og Uddannelse*

Leif Toudal Pedersen, *DTU Space og EOLab.dk*

Tak til Emil Møller Rasmussen og Niels Henrik Broge. EU-Kommissionen, ESA og NEREUS for struktur til use cases og ESA og EUMETSAT for brug af satellitbilleder.

Layout: Mads Christian Porse, *GEUS*

Korrekturlæsning: Arne Biering

Tryk: Rosendahls A/S

Omslag: Kortlægning over den marine undervandsvegetation i Danmark. Kortet er produceret af DHI GRAS under det Velux Fond finansierede projekt "Danmarks bundvegetation kortlagt fra rummet" ved brug af machine learning og Sentinel-2 data fra Copernicus programmet. © DHI GRAS A/S.

ISBN trykt publikation 978-87-94056-01-4
ISBN elektronisk publikation (PDF) 978-87-94056-02-1

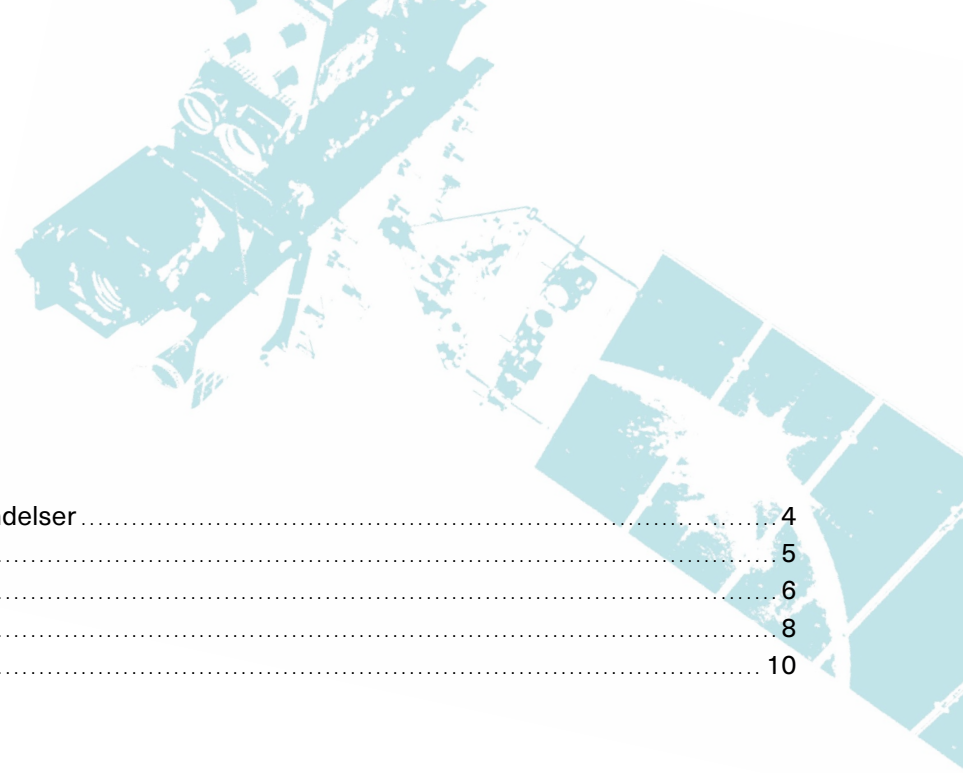
Østersøen set fra satellit

Hver sommer ses opblomstring af alger i særligt de lavvandede områder i Østersøen. De er generelt øget i antal, bl.a. som resultat af udledning fra landbruget. Billedet her er optaget med Copernicus Sentinel-3 d. 27. juli 2019 og viser betydelige algeforekomster i Østersøen.

Kilde: European Union, Copernicus Sentinel-3 imagery.

Copernicus
Europe's eyes on Earth

Indhold



Indledning

Velkommen til en verden af satellitanvendelser 4
Følgende har bidraget til udgivelsen 5
Copernicusprogrammet og satellitterne 6
Sentinel satellitter 8
Fem niveauer af anvendelse 10

Danske anvendelser

Monitorering af landbevægelser og infrastruktur med Sentinel-1 14
Effektiv screening for sætningsrisiko ved bygge- og anlægsarbejder 16
Brug af Sentinel-1 til udpegning af sætningsområder og klimatilpasning i Odense 18
Satellitbaseret overvågning af naturgaslager Lille Torup 20
Satellitbaseret overvågning af ledningsnet 22
Udpegning af bygningsændringer 24
Optiske satellitbilleder som beslutningsstøtte 26
Jordobservationsmetoder til monitorering af miljøet i urbane områder 28
Landsdækkende Sentinel-2 mosaik til brug for planlægning af luftbåren dataindsamling 30
Validering af trædetektion med Sentinel 32
Jordobservationsdata til forebyggelse og tilpasning i urbane områder 36
Kommunale NDVI-anvendelser 38
Urbane dynamikker set fra satellit 40
Landbrugskontrol med Sentinel 42
Klassifikation af invasive plantearter 44
Satellitdata til udvikling af intelligente løsninger til præcisionsjordbrug 46
Satellitbaseret kortlægning af vand på marker 48
Kortlægning af oversvømmelser fra satellit 50
Kortlægning af våde arealer i Danmark fra Sentinel-1 og Sentinel-2 52
Kortlægning af oversvømmelser med satellitdata 54
Anvendelse af Sentinel-2 data til vurdering af kystudvikling 56
Satellitbaseret monitorering af kystdynamikker 58
Satellitbaseret kortlægning af havdybder 60
Kortlægning af akvatisk vegetation fra rummet 62
Copernicus Maritime Surveillance hjælper Danmark mod ulovligheder 64
Opførelse af vindmøller på land 66
Havvindmøller: Planlægning fra rummet 68

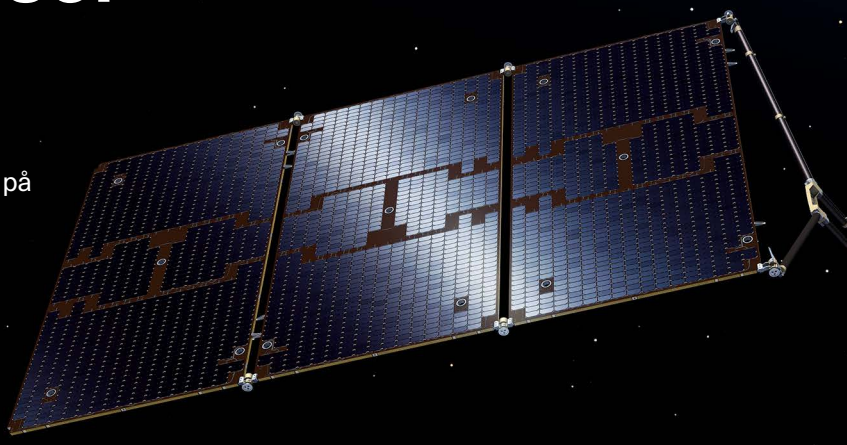
Grønlandske anvendelser

Kortlægning af fjeldskred i Grønland ... 72
Satellitdata til kortlægning i Arktis ... 74
Detektion af voldsomme forandringer i naturen ... 76
Kortlægning af Grønlands israndssøer ... 80
Hvor hurtigt flyder Grønlands indlandsis? ... 82
Højdeændringer af indlandsisen ... 84
Israpporter til skibe der sejler i nærheden af kysten ... 86
Præcis og tidssvarende kortlægning af kystområder er afgørende for sikker navigation i Arktis ... 88
Haviskortlægning til skibe omkring Grønland ... 90
Kortlægning af havis med Sentinel-1 og kunstig intelligens ... 92
Satellitbilleder til taktisk sejlads i isfyldte farvande ... 94
Detektering af isbjerge omkring Grønland ... 96
Informationstjeneste for isbjerge i Nordatlanten ... 100
Forsvarets arktiske kommando bruger Copernicus hver dag ... 102

Internationale anvendelser

Understøttelse af finansiel inklusion ... 106
Satellitbaseret varslingssystem for udbrud af vektorbårne sygdomme ... 108
Kortlægning og overvågning af vådområder i stor skala ... 110
Satellitdata til at understøtte effektive kunstvandingsprocesser i landbruget ... 112
Kortlægning af græsbrakmarker ved brug af Sentinel-2 data ... 114
Forbedret kortlægning af savannetræer fra Copernicusdata ... 116
Satellitdata kan understøtte bæredygtig udvikling og implementering af FN's verdensmål ... 118
Satellitbestemmelse af havstrømme til ruteoptimering ... 122
MOIST – Managing and Optimizing Irrigation by Satellite Tools ... 124
Global overvågning af atmosfærens luftfugtighed ... 126

Velkommen til en verden af satellitanvendelser



Copernicus er EU's jordobservationsprogram, der tilbyder frie data og informationstjenester baseret på jordobservationer fra satellitter. På få år er Copernicus blevet en global succes og en vækstmotor i europæisk rumøkonomi. Siden opsendelsen af de første Sentinelsatellitter har anvendelser bredt sig med stor hast inden for både det private og offentlige. Med deres globale dækning og gentagne målinger giver satellitterne ny og unik viden om vores klima og miljø, der kan understøtte bæredygtig udvikling og den grønne omstilling.

Formålet med denne udgivelse er at præsentere en række såkaldte use cases og inspirere til nye anvendelser. Her er eksempler på anvendelser på land, ved kysterne, til havs, over havisen i Arktis og på indlandsisen i Grønland – både på havbunden og i atmosfæren. Der præsenteres løsninger, der forædler data fra satellitter i nær realtid i Grønland, samt anvendelser af lange tidsserier af satellitdata, der understøtter viden- og forvaltningsgrundlaget for landbrug, natur og miljø i Danmark. Der er eksempler på anvendelse af satellitbilleder til at følge processer på jordoverfladen og operationelle satellitløsninger, der stilles frit til rådighed af Copernicustjenesterne. Desuden beskrives anvendelser i kommunerne, i staten, og uden for Rigsfællesskabets grænser – fra målinger af landbevægelser, infrastruktur eller vindenergi over havet, til monitorering af naturressourcer i Afrika og internationale samarbejder.

Det store antal danske anvendelser vidner om den bredde, der er inden for anvendelse af rum- og satellitbaserede løsninger i samfundet, og om et område, der er i stærk vækst i disse år. Anvendelserne omfatter ikke kun Danmark, men også det øvrige Rigsfællesskab, der på flere områder har været bærende for udviklingen og anvendelsen af satellitdata.

Udgivelsen er blevet til i et samarbejde mellem Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering under Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet og Teknik- og Miljøforvaltningen i Københavns Kommune, der har bidraget til de kommunale anvendelser.

Copernicus Udvalget, der er et underudvalg til Det Tværministerielle Rumudvalg, har bidraget til koordinering af projektet.

Udgivelsen er koordineret og støttet af Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering. Vi ønsker at takke alle, der har medvirket til denne udgivelse.

Følgende har bidraget til udgivelsen

Aarhus Universitet
Alexandra Instituttet
Arktisk Kommando
Asiaq
COWI
DHI
DHI GRAS
Danmarks Tekniske Universitet
Danmarks Meteorologiske Institut
Den Europæiske Rumorganisation
EMD International
Energinet
FieldSense
Gamma Remote Sensing
Gas Storage Denmark
GEO
Geodatastyrelsen
GeoMETOC
GeoPartner
De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland
Institute of Agrifood Research and Technology
Institute for Electromagnetic Sensing of the Environment
Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet
Kystdirektoratet
Københavns Kommune
Københavns Universitet
Landbrugsstyrelsen
Lemvig Vand og Spildevand A/S
Miljø- og Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen
Network of European Regions Using Space Technologies
NIRAS
Odense Kommune
Universitetet i Oslo
University of Zurich
Sandholt Aps
Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering
SEGES
Søværnet
Vattenfall
Vejle Kommune
Vestas

Copernicusprogrammet og satellitterne

EU's jordobservationsprogram Copernicus har overordnet til formål at overvåge vores planet og miljø til gavn for alle. Copernicus tilbyder informationstjenester baseret på jordobservationsdata til gavn for borgere, politiske beslutningstagere, forskere, kommercielle og private anvendere. Programmet koordineres og forvaltes af Europa-Kommissionen i samarbejde med medlemslandene, Den Europæiske Rumorganisation (ESA), Den Europæiske Organisation til Udnyttelse af Meteorologiske Satellitter (EUMETSAT), Det Europæiske Center for Vejrprognoser (ECMWF), Mercator Océan samt en række EU-agenturer.

De store mængder data, der hver dag optages fra satellitter og fra jord-, luft- og havbaserede målesystemer, anvendes til at levere informationer, der understøtter tjenesteudbydere, offentlige myndigheder og internationale organisationer med at monitorere jorden, havet og atmosfæren. Data fra EU's satellitter og informationstjenester stilles gratis til rådighed og er frit tilgængelige for alle.

Copernicustjenesterne, der leverer en lang række data og tjenester om hav, land, klima, atmosfære, sikkerhed og beredskab, er baseret på behandling og forædling af data indsamlet fra jordobservationssatellitter. Derudover anvendes en lang række såkaldte in situ-data, der omfatter alle de datasæt, der benyttes af tjenesterne og brugerne til at kalibrere, georeferere og udstille satellitbilleder og satellitbaserede løsninger. Satellitterne, der leverer data til Copernicustjenesterne, kan opdeles i to grupper af missioner: Sentineller og bidragende missioner. Sentinelsatellitterne er EU's ejendom og udviklet til at understøtte Copernicusprogrammets specifikke behov. Sentinellerne er således arbejdshestene og kernen i programmet, der leverer faste, ensartede optagelser år efter år. De bidragende missioner, som drives af nationale, europæiske eller internationale organisationer, supplerer Sentinellerne med yderligere data til Copernicustjenesterne.

Under rammerne af Copernicusprogrammet er ESA ansvarlig for udviklingen af rumsegmentet og operation af satellitterne Sentinel-1, Sentinel-2 og Sentinel-5p. ESA er også ansvarlig for landmissionen fra Sentinel-3. EUMETSAT er ansvarlig for driften af Sentinel-3 satellitterne og havmissionen og

opererer desuden Sentinel-4- og 5-instrumenterne samt Sentinel-6 satellitterne og data fra disse. Foruden Europa-Kommissionens egne satellitter, koordinerer ESA og EUMETSAT også leverancer af data fra mere end 30 øvrige satellitter, der udgør de bidragende missioner. De supplerer bl.a. Sentinellerne med leverancer af satellitbilleder i høj opløsning fra optiske og radarsatellitter.

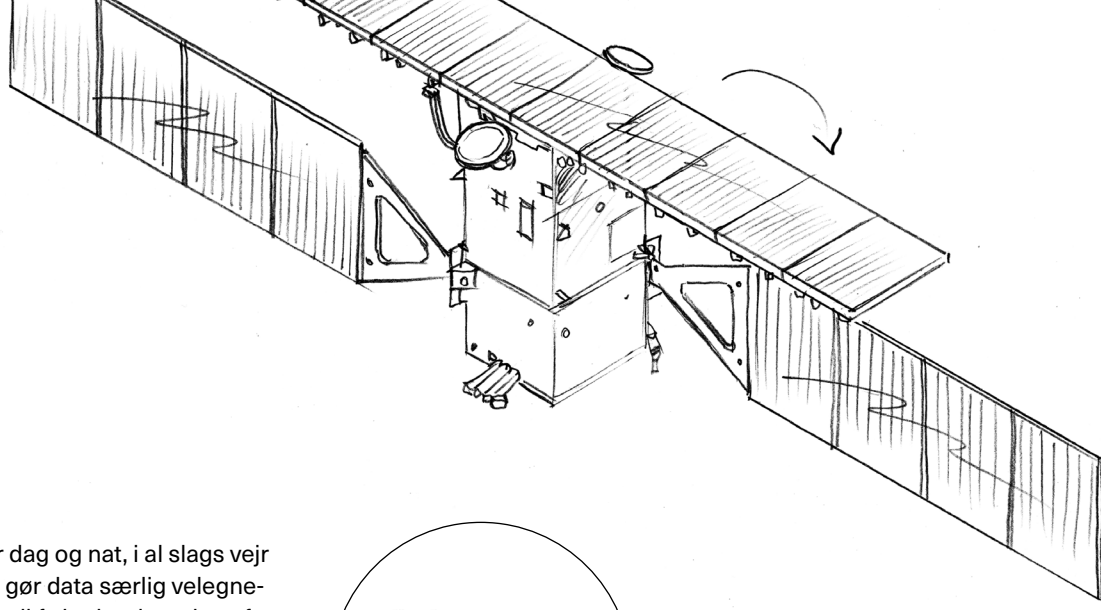
For at kunne modtage og skabe adgang til sentineldata og data fra bidragende missioner er der etableret nedtagestationer fordelt på hele kloden. Dette såkaldte jordsegment forvaltes af ESA og EUMETSAT samt en række nationale og private organisationer i medlemslandene. Jordsegmentet omfatter også missionskontrollen, der til daglig drifter Sentinellerne og faciliteterne til håndtering af data og produkter for tjenesterne.

Adgang til data og tjenester

Den teknologiske udvikling, især hvad angår tilgængelighed og adgang, har gjort Copernicus til den største leverandør af frie rum- og satellitdata i verden. Langt de fleste billeder, data og informationer, der leveres af Copernicus og tjenesterne, stilles gratis til rådighed, så alle borgere, firmaer og organisationer verden over har adgang til de frie data og informationer.

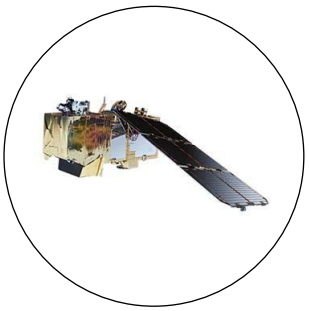
Du kan få adgang til Copernicus data og informationstjenester gennem en række forskellige nationale og internationale datahubs, platforme og satellitdata-infrastrukturer – både i Copernicus' medlemslande og fra internationale aktører. Adgangene omfatter både konventionelle adgangspunkter til download, API-løsninger, DIAS-platforme og kommercielle løsninger.

Se mere om Copernicus og adgang til data og tjenester på copernicus.eu.



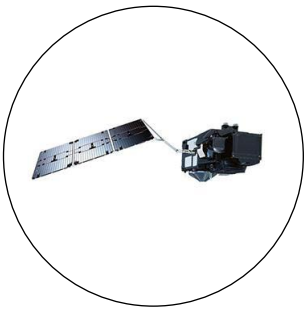
Sentinel-1

Sentinel-1 optager radarbilleder dag og nat, i al slags vejr – også når det er overskyet. Det gør data særlig velegnede i de polare egne i mørketiden til f.eks. kortlægning af havisudbredelse, isbjerge og isdrift. Yderligere anvendes data til dynamisk kortlægning af landbevægelser, ændringer i afgrøder på marker og vand på land. Konstellationen af Sentinel-1-A og -B forbedrer optagelsesfrekvensen og dækningen. Optagelsesfrekvensen varierer med breddegraden fra hver sjette dag ved ækvator til næsten daglige optagelser i det nordlige Grønland. Sentinel-1 data er også velegnede inden for præcisionslandbrug, til overvågning af ændringer i arealanvendelse, ændringsudpegninger og i beredskabssammenhæng.



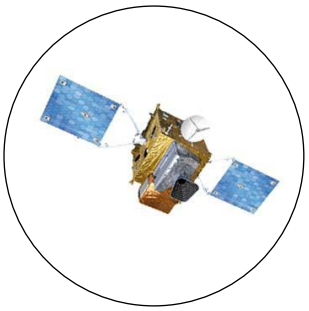
Sentinel-2

Sentinel-2 leverer optiske billeder i 10 m opløsning beregnet til landanvendelser og tjenesterne. Med 13 forskellige spektrale bånd er satellitten særlig anvendelig til vegetationskortlægning og til overvågning af ændringer i f.eks. afgrøder, landbrugsjorde og skov. Satellittens forskelligartede bånd anvendes også til f.eks. kortlægningsopgaver, overvågning af søer, i kystnære havområder og beredskabsmæssigt i forbindelse med naturkatastrofer. Optagelserne er primært over land, men satellitterne dækker også udvalgte havisområder i Arktis.



Sentinel-3

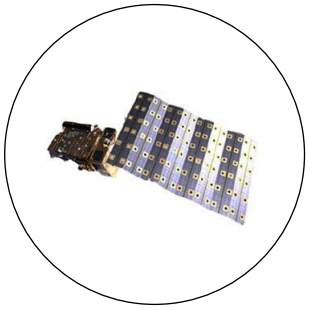
Sentinel-3 leverer optiske billeder og radar-højdemålinger til både marine tjenester og landtjenester. Satellittens data om havets farve, højde og temperatur, anvendes bl.a. til prognoser for havstrømme, til kortlægning af algeopblomstring og forudsigelse af ekstremhændelser som stormfloder eller oversvømmelser af kystnære områder. Optagelser over land anvendes også til detektion af brande. Mikrobølgeradiometeret anvendes bl.a. til atmosfærisk korrektion og til at måle indholdet af vanddamp ned gennem atmosfæren. Sentinel-3 er måske den mest avancerede i Sentinelfamilien og er med sine mange forskellige anvendelser blevet kaldt satellitternes svar på schweizerkniven. Optagelserne er i lavere opløsning end Sentinel-1 og -2, men med hyppigere global dækning af både land og hav.



Sentinel-4

Sentinel-4 leverer data om atmosfærens sammensætning over Europa fra en geostationær bane. Sentinel-4 er et såkaldt spektrometer, som dækker det ultraviolette, synlige og nær-infrarøde spektrum. Instrumentet bliver en del af den meteorologiske satellit Meteosat Third Generation. Fra sin geostationære bane kan Sentinel-4 hver time levere data om forekomsten af sporgasser og en række forskellige forureningsfaktorer i atmosfæren over Europa samt forekomst af ozon og solstråling som input til UV-prognoser og klimaovervågning.

Sentinel-4 og -5 optager begge data til overvågning af atmosfærens sammensætning fra henholdsvis en geostationær og en polær bane. Til forskel fra de øvrige Sentineller, er der tale om instrumenter monteret på meteorologiske satellitter.

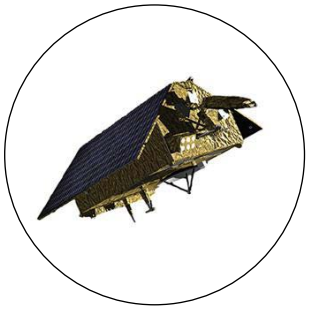


Sentinel-5

Sentinel-5 er et spektrometer, som dækker et spektrum fra det ultraviolette til kortbølge-infrarød. Instrumentet bliver en del af den meteorologiske satellit mission MetOp Second Generation. Ligesom Sentinel-4 skal Sentinel-5 optage data om atmosfærens sammensætning og forekomsten af ozon og UV-stråling. Til forskel fra Sentinel-4 vil Sentinel-5 optage fra en polar bane omkring 800 km over jordens overflade og vil således kunne levere data dagligt for hele jordens overflade. På den måde vil data fra Sentinel-4 og Sentinel-5 supplere hinanden.

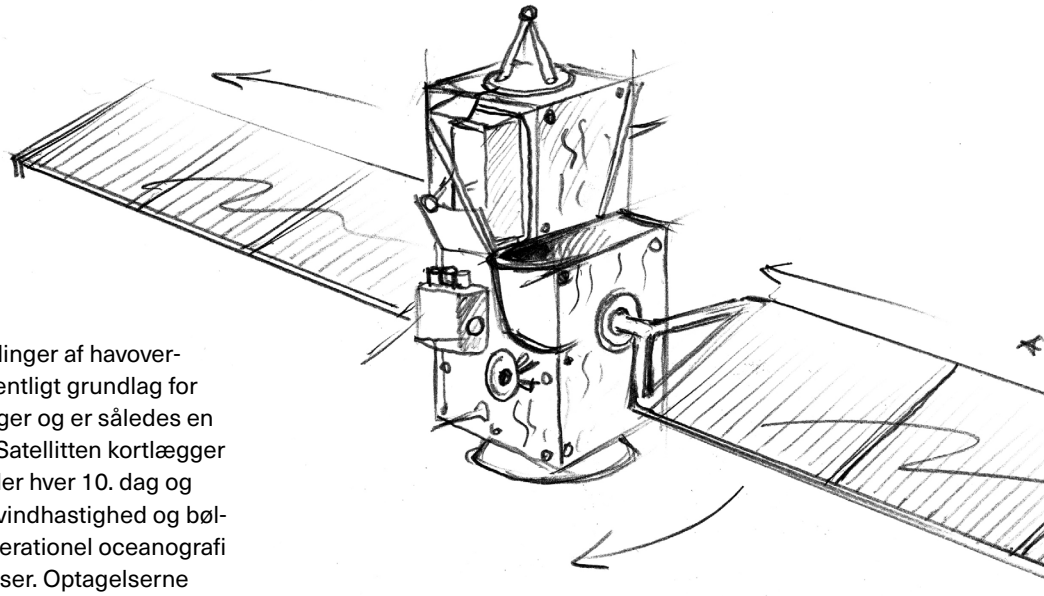
Sentinel-5P

Sentinel-5P er en forløber frem til opsendelsen af Sentinel-5. Satellitten leverer data om forekomsten af forskellige sporgasser, forureningsfaktorer og drivhusgasser i atmosfæren. Sporgasser omfatter bl.a. kvælstofdioxid, formaldehyd, ozon, metan, svovldioxid og kulilte (carbonmonoxid). Fra sin bane i 824 km højde bidrager den til monitorering af den globale luftforurening.



Sentinel-6

Sentinel-6 leverer præcise radarmålinger af havoverfladens højde. Disse data er et væsentligt grundlag for overvågningen af havniveauændringer og er således en nøgleindikator for klimaændringer. Satellitten kortlægger op til 95 % af jordens isfri havområder hver 10. dag og leverer også data om havstrømme, vindhastighed og bølgehøjde. Satellitten understøtter operationel oceanografi og anvendes også til sejladsprognoser. Optagelserne dækker havet, kystnære områder og større vandområder på land. Satellitten er et partnerskab mellem Europa (EU, ESA og EUMETSAT) og USA (NOAA og NASA).



Foruden Sentinel-1 til -6 er der en række nye sentineller under udvikling. De omfatter bl.a. en mission til måling af antropogen CO_2 i atmosfæren, radarmålinger (L-bånd) over landområder og havisen, et passivt mikrobølgeradiometer i forbedret opløsning til overvågning af havis, en hyperspektral mission, der supplerer Sentinel-2 over land til f.eks landbrug og biodiversitet, en kombination af et radaraltimeter og et mikrobølgeradiometer, der kan måle sne- og havistykkelser og ændringer i massebalancen af gletsjere og en termisk infrarød sensor til temperaturmålinger over land og evapotranspiration af bl.a. landbrugsarealer, afgrøder og vandmangel.

Fem niveauer af anvendelse

Anvendelserne er opdelt i fem niveauer afhængigt af hvor gennemafprøvet anvendelsen er

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5
Explorer	**Ad hoc**	**Eksperimentel tester**	**Early adopter**	**Operationel anvendelse**
Anvendelsen er på idestadiet, og der er endnu ikke anvendt data, billeder eller løsninger fra Copernicus, men der kunne være et potentiale.	Anvendelsen er på ad hoc-basis, og der er gjort konkrete forsøg med Copernicus-data eller -tjenester, men det er ikke rigtig gennemprøvet endnu.	Copernicus data eller -tjenester har allerede været anvendt en eller flere gange, og der arbejdes på at fortsætte integration af Copernicus data i arbejdet.	Copernicus data eller -løsninger anvendes, og der arbejdes i øjeblikket på at forædle anvendelsen yderligere (evt. uddanne brugere, beskrive, opdatere, validere).	Brugen af Copernicus data eller -tjenester er fast integreret i processerne (f.eks. er bemanding, økonomi og leverancer på plads).

Kilde: The Ever Growing Use of Copernicus across Europe's Regions by the Network of European Regions Using Space Technologies (NEREUS), the European Space Agency, and the European Union.

Danske anvendelser

Titel	Satellitter	Udvikling
Monitorering af landbevægelser og infrastruktur med Sentinel-1	Sentinel-1, VHR	5
Effektiv screening for sætningsrisiko ved bygge- og anlægsarbejder	Sentinel-1	4
Brug af Sentinel-1 til udpegning af sætningsområder og klimatilpasning i Odense	Sentinel-1, VHR	3
Satellitbaseret overvågning af naturgaslager Lille Torup	Sentinel-1	4
Satellitbaseret overvågning af ledningsnet	Sentinel-1	4
Udpegning af bygningsændringer	Sentinel-1, Sentinel-2	3
Optiske satellitbilleder som beslutningsstøtte	Sentinel-2, Landsat	4
Jordobservationsmetoder til monitorering af miljøet i urbane områder	Sentinel-2, HR	4
Landsdækkende Sentinel-2-mosaik til brug for planlægning af luftbåren dataindsamling	Sentinel-2, LIDAR	3
Validering af trædetektion med Sentinel	Sentinel-2, VHR	4
Jordobservationsdata til forebyggelse og tilpasning i urbane områder	Sentinel, LSTM	4
Kommunale NDVI-anvendelser	Sentinel-2	3
Urbane dynamikker set fra satellit	Sentinel-1, Sentinel-2, VHR	3
Landbrugskontrol med Sentinel	Sentinel-1, Sentinel-2	5
Klassifikation af invasive plantearter	Sentinel-2	4
Satellitdata til udvikling af intelligente løsninger til præcisionsjordbrug	Sentinel-2, Landsat-8	5
Satellitbaseret kortlægning af vand på marker	Sentinel-1, Sentinel-2	4
Kortlægning af oversvømmelser fra satellit	Sentinel-1	4
Kortlægning af våde arealer i Danmark fra Sentinel-1 og Sentinel-2	Sentinel-1, Sentinel-2	3
Kortlægning af oversvømmelser med satellitdata	Sentinel-1	4
Anvendelse af Sentinel-2-data til vurdering af kystudvikling	Sentinel-2	4
Satellitbaseret monitorering af kystdynamikker	Sentinel-1, Sentinel-2	4
Satellitbaseret kortlægning af havdybder	Sentinel-2, VHR	4
Kortlægning af akvatisk vegetation fra rummet	Sentinel-2	5
Copernicus Maritime Surveillance hjælper Danmark mod ulovligheder	Sentinel-1, Sentinel-2, CCM	5
Opførelse af vindmøller på land	Sentinel-1, Sentinel-2	5
Havvindmøller: planlægning fra rummet	Envisat ASAR, Sentinel-1	5

Grønlandske anvendelser

Titel	Satellitter	Udvikling
Kortlægning af fjeldskred i Grønland	Sentinel-1, Sentinel-2	5
Satellitdata til kortlægning i Arktis	Sentinel-2 , SPOT, WorldView, TanDEM-X	4
Detektion af voldsomme forandringer i naturen	Sentinel-1	3
Kortlægning af Grønlands israndssøer	Sentinel-1, Sentinel-2	4
Hvor hurtigt flyder Grønlands Indlandsis?	Sentinel-1	5
Højdeændringer af indlandsisen	Sentinel-3, Cryosat-2 , ERS-1, ERS-2, ENVISAT	5
Israpporter til skibe der sejler i nærheden af kysten	Sentinel-1, TerraSAR-X , PAZ	5
Præcis og tidslig kortlægning af kystområder er afgørende for sikker navigation i Arktis	Sentinel-1, Sentinel-2	5
Haviskortlægning til skibe omkring Grønland	Sentinel-1, Sentinel-2, CCM	5
Kortlægning af havis med Sentinel-1 og kunstig intelligens	Sentinel-1, AMSR-2	4
Satellitbilleder til taktisk sejlads i isfyldte farvande	Sentinel-1, Radarsat TerraSAR-X, Cosmo Skymed	4
Detektering af isbjerge omkring Grønland	Sentinel-1, SAR	5
Informationstjeneste for isbjerge i Nordatlanten	Sentinel-1, (ROSE-L)	4
Forsvarets arktiske kommando bruger Copernicus hver dag	Sentinel-1, Sentinel-2, CCM	5

Internationale anvendelser

Titel	Satellitter	Udvikling
Understøttelse af finansiel inklusion	Sentinel 1, Sentinel 2, VIIRS	4
Satellitbaseret varslingssystem for udbrud af vektorbårne sygdomme	Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, LSTM	4
Kortlægning og overvågning af vådområder i stor skala	Sentinel	5
Satellitdata til at understøtte effektive kunstvandingsprocesser i landbruget	Sentinel-2, Sentinel-3	4
Kortlægning af græsbrakmarker ved brug af Sentinel-2-data	Sentinel-2	4
Forbedret kortlægning af savannetræer fra Copernicusdata	Sentinel-1, Sentinel-2	4
Satellitdata kan understøtte bæredygtig udvikling og implementering af FN's verdensmål	Sentinel (1-6)	4
Satellitbestemmelse af havstrømme til ruteoptimering	Sentinel-3, Sentinel-6, JasonCS	4
MOIST – Managing and Optimizing Irrigation by Satellite Tools	Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3	4
Global overvågning af atmosfærens luftfugtighed	Galileo, C3S	5

VHR: Very High Resolution Optical
HR: High Resolution Optical
CCM: Copernicus Contributing Missions
C3S: Copernicus Climate Change Service
LSTM: Copernicus Land Surface Temperature Monitoring

Danske Anvendelser

Monitorering af landbevægelser og infrastruktur med Sentinel-1 14
Effektiv screening for sætningsrisiko ved bygge- og anlægsarbejder 16
Brug af Sentinel-1 til udpegning af sætningsområder og klimatilpasning i Odense 18
Satellitbaseret overvågning af naturgaslager Lille Torup 20
Satellitbaseret overvågning af ledningsnet 22
Udpegning af bygningsændringer 24
Optiske satellitbilleder som beslutningsstøtte 26
Jordobservationsmetoder til monitorering af miljøet i urbane områder 28
Landsdækkende Sentinel-2 mosaik til brug for planlægning af luftbåren dataindsamling 30
Validering af trædetektion med Sentinel 32
Jordobservationsdata til forebyggelse og tilpasning i urbane områder 36
Kommunale NDVI-anvendelser 38
Urbane dynamikker set fra satellit 40
Landbrugskontrol med Sentinel 42
Klassifikation af invasive plantearter 44
Satellitdata til udvikling af intelligente løsninger til præcisionsjordbrug 46
Satellitbaseret kortlægning af vand på marker 48
Kortlægning af oversvømmelser fra satellit 50
Kortlægning af våde arealer i Danmark fra Sentinel-1 og Sentinel-2 52
Kortlægning af oversvømmelser med satellitdata 54
Anvendelse af Sentinel-2 data til vurdering af kystudvikling 56
Satellitbaseret monitorering af kystdynamikker 58
Satellitbaseret kortlægning af havdybder 60
Kortlægning af akvatisk vegetation fra rummet 62
Copernicus Maritime Surveillance hjælper Danmark mod ulovligheder 64
Opførelse af vindmøller på land 66
Havvindmøller: Planlægning fra rummet 68

Monitorering af landbevægelser og infrastruktur med Sentinel-1

InSAR-data har vist sig meget værdifulde til at lokalisere og monitorere bevægelser af bebyggelse og infrastruktur samt til at udpege sætningsområder. For at understøtte den stigende efterspørgsel udstiller Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering løbende landsdækkende data om landbevægelser.

Joanna Balasis-Levinsen [A], Martin Nissen [A], Kristian Keller [A], John Peter Merryman Boncori [B], Mark Falkenberg [A], Per Knudsen [B], Niels H. Broge [C]

A: Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering B: DTU Space C: Geopartner

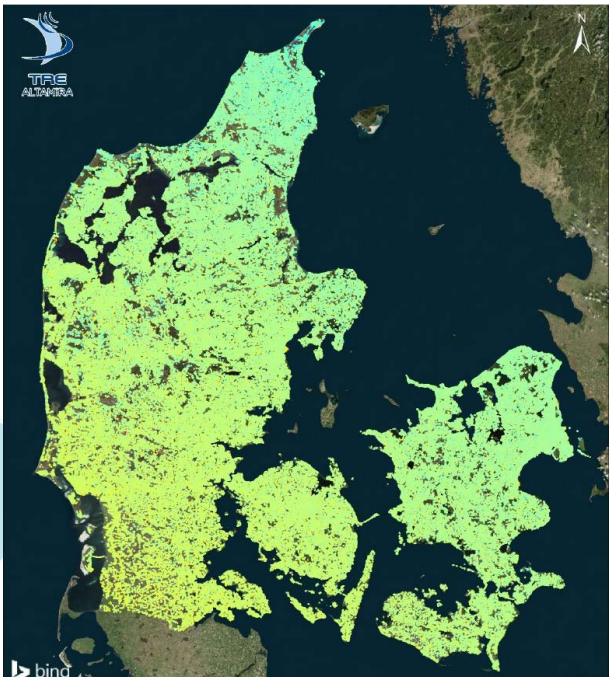
Udfordringen

Selvom de fleste områder af Danmark stadig hæver sig som følge af den postglaciale landhævning efter sidste istid, er det ikke tilfældet overalt. Lokalt findes der større og mindre områder, som sætter sig, og det kan påvirke fundering af bebyggelse, infrastruktur og anvendelser af åbne arealer. I Danmark er der mere end 850 km^2 inddæmmet land, hvoraf store, lavtliggende arealer forvaltes ved en kombination af diger, dræn og løbende justering af vandstanden. Af Danmarks samlede 8.750 km kystlinje er mere end 1.000 km beskyttet af diger, som spiller en vigtig rolle i kysternes dynamik og i forhold til fremtidig klimatilpasning. Byområder, landbrug og infrastruktur beliggende på inddæmmede arealer kan opleve problemer med bevægelser i jorden eller undergrunden, hvilket kan betyde store økonomiske udgifter – også til vedligehold.

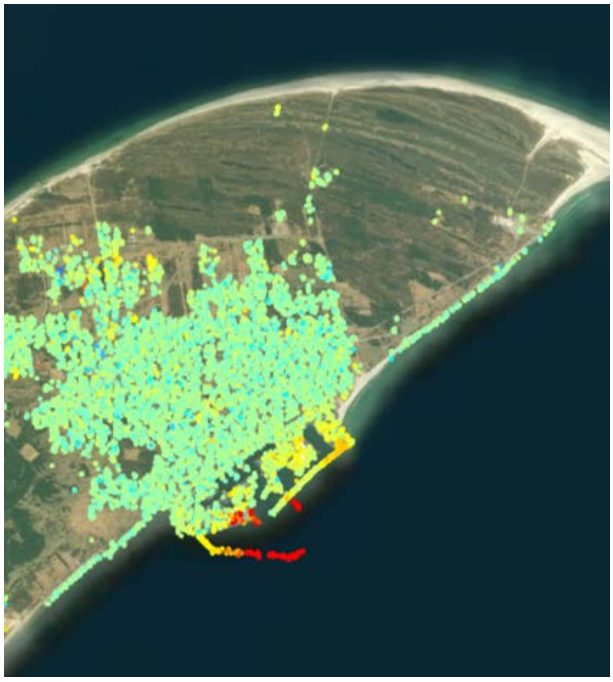
Gennem de seneste årtier er metoderne og mulighederne for at foretage målinger af bevægelser fra rummet gradvist forbedret, og med opsendelsen af Sentinel-1 i 2014 skete der et enormt fremskridt. Hvor denne type satellitdata først blev anvendt lokalt og sporadisk, blev det efter 2014 muligt at monitorere landbevægelser landsdækkende, systematisk og ensartet ved hjælp af en såkaldt Synthetic Aparture Radar (SAR). De frie data fra Sentinel-1 har på flere områder været en 'game-changer' inden for jordobservationer, både på europæisk niveau og globalt. Med tidsserier af målinger fra Sentinel-1 kan man med millimeters nøjagtighed følge bevægelser (hævninger og sætninger) af menneskeskabte bygningsværker og strukturer på jordoverfladen. Denne viden kan anvendes inden for en lang række områder fra areal- og byplanlægning over infrastrukturanalyser og til at forstå geotekniske forhold i jordlag og fundering.

> **Af Danmarks 8.750 km kystlinje er næsten 1.800 km beskyttet af diger eller andre tekniske installationer.**
> *Miljø- og Fødevareministeriet*

Man kan også se, hvordan ens eget hus bevæger sig i løbet af året, og om bevægelserne påvirkes af f.eks. tørke eller perioder med meget nedbør. Formålet med at etablere en national tjeneste er at udstille landsdækkende målinger over hele landet sammen med online værktøjer til simple dataanalyser. Data kan frit anvendes, både kommercielt og i det offentlige, til forskning og af alle andre, der ønsker det. Foruden at understøtte et støt stigende antal brugere, arbejder Styrelsen for Dataforsy-



Den første landsdækkende kortlægning af landbevægelser fra Sentinel-1 blev foretaget og udstillet i 2018, og datagrundlaget er siden blevet opdateret årligt.



Kortlægningen af Danmark består af syv millioner målepunkter, der gør det muligt at følge bevægelser af f.eks. huse, veje, jernbaner og havne. Ved hjælp af en farveskala er det let at udpege områder, der sætter sig. Her ses sætninger af havnemoler i Skagen. Kilde: TRE Altamira (2019)

ning og Effektivisering med at koble InSAR-data sammen med den nationale højdereference for at forbedre datagrundlaget nationalt. Det omfatter bl.a. opsætning af hjørnereflektorer og test af et landsdækkende netværk af aktive radarreflektorer (C-bånd ved 5,4 GHz), der forstærker radarsignalet, når satellitten passerer over landet.

Hvordan er satellitter anvendt

Ved hjælp af Sentinel-1's avancerede radar, der er udviklet specifikt til måling af bevægelser på jordoverfladen, er det for første gang blevet muligt at foretage ensartede målinger gennem årtier. I kraft af såkaldte interferogrammer genereret ud fra radarbilleder optaget på forskellige tidspunkter kan større landområder kortlægges på en omkostningseffektiv måde med løbende opdateringer. Der findes en række multi-temporale beregningsmetoder, der ud fra faseforskelle kan anvendes til at bestemme bevægelserne. Til kortlægningen her er Persistent Scatterer Interferometry (PSI) og Distributed Scatterer (DS) anvendt.

Den nationale kortlægning udstiller hele tidsserien fra opsendelsen af Sentinel-1 i 2014. Datagrundlaget omfatter radarbilleder optaget fra alle 11 satellitspor over Danmark. Ud over horisontale og vertikale bevægelser udstilles også vertikalbevægelser kalibreret med data fra permanente GNSS-stationer og den nationale uplift-model.

Anvendelser og muligheder

Med millioner af målepunkter over hele landet er der et stort potentiale for både velkendte og nye anvendelser. Anvendelser omfatter bl.a. geodætisk opmåling, geologiske, geotekniske og geografiske forhold og strukturer samt monitorering og udbygning af veje og jernbaner, VVM-undersøgelser, ved byggeri og til planlægning og vedligehold af underjordiske rør og lagre, diger, moler, havne, broer og i forbindelse med klimatilpasning. Landbevægelsesdata benyttes desuden som reference inden for forsikring og til f.eks. vurdering af sætningsskader på ejendomme. På få år har det vist sig, at det ikke kun er private og offentlige institutioner, der anvender data, men at også enkeltpersoner kan have gavn af dem. Derfor udstilles hele kortlægningen online og til download som frie data.

Effektiv screening for sætningsrisiko ved bygge- og anlægsarbejder

Landbevægelser beregnes fra satellit som line-of-sight (LOS), hvilket er et mål for bevægelsen af et punkt på jorden i forhold til satellitten. Idet radarsatellitter altid "kigger" skråt ned på jorden, skal LOS-data korrigeres og kalibreres for at give et retvisende bud på vertikalbevægelsen.

Niels H. Broge [A], Mads Robenhagen Mølgaard [B], John Peter Merryman Boncori [C], Henrik Brændskov Larsen [A], Karsten Vognsen [A], Per Knudsen [C], Carlo Sørensen [D]

A: Geopartner Inspections A/S B: Geo C: DTU Space D: Kystdirektoratet

Udfordringen

Ved nybyggeri i urbane områder kan aktiviteter på byggepladser påvirke omkringliggende eksisterende infrastruktur og bygninger. Risikoen for utilsigtede skader og sætninger på naboejendomme kan f.eks. opstå i forbindelse med etablering af dybe parkeringskældre, hvor det i byggefasen er nødvendigt at udføre grundvandssænkning i længere perioder, mens der etableres permanente byggegrubeindfatninger, bundplader og evt. opdriftsankre.

For at undgå ubehagelige overraskelser og uforudsete udgifter bør denne risiko undersøges tidligst muligt i projektet – helst allerede i screeningsfasen. Til dette formål kan eksisterende geologiske data, modeller og analysemetoder anvendes for at minimere omkostningerne.

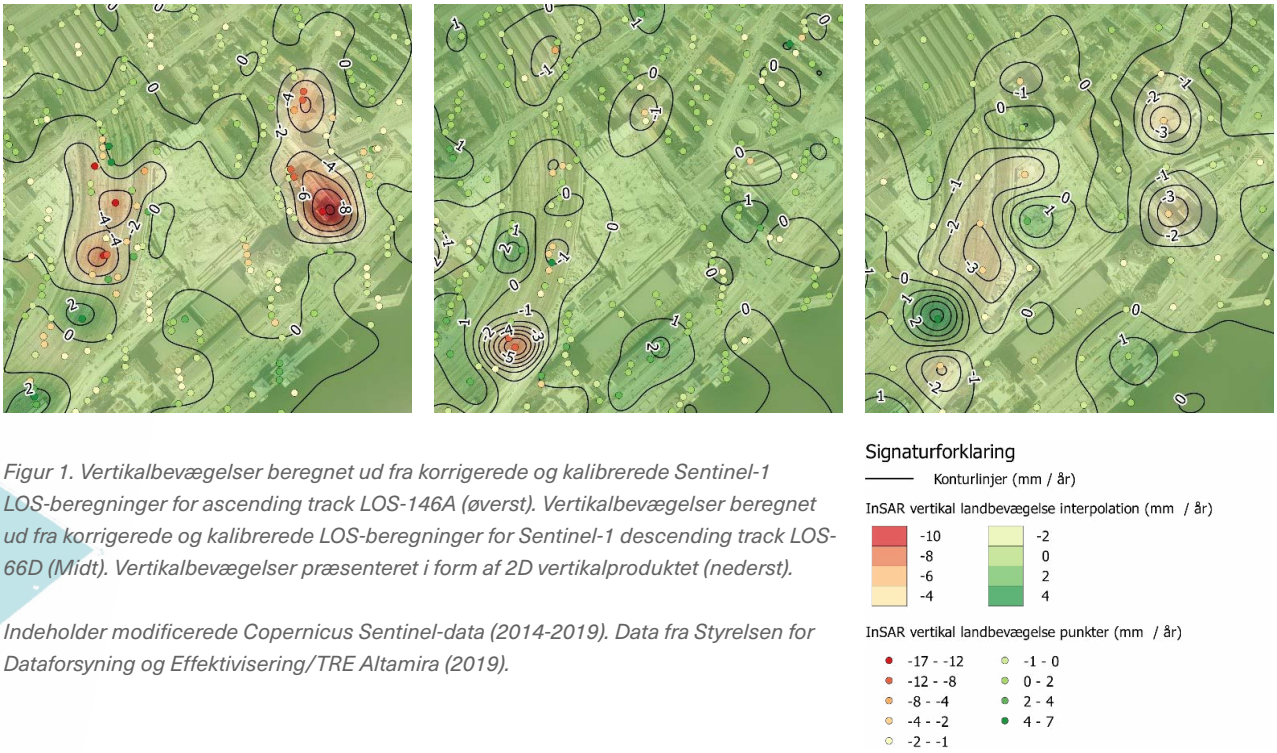
Datagrundlag

I Danmark findes der såvel geologiske som geotekniske boringer, der tilsammen udgør et tætmasket net af punktinformationer om vores undergrund. GeoAtlas Live er en webløsning, der giver mulighed for at tilgå samtlige borearkiver i Danmark, i alt mere end 650.000 boringer. Med GeoAtlas Live kan man desuden foretage såkaldte virtuelle boringer, horisontalsnit og tværsnit, som viser de geologiske forhold i et punkt, en flade eller langs en linje. Ved at benytte GeoAtlas Live er det således muligt at screene et projektområde for data om geologi, geoteknik, hydrologi og miljøforhold.

Information om vertikalbevægelsen af overfladen kan ligeledes anvendes som proxy for tykkelsen af såkaldt bløde geologiske lag, der giver efter for øget belastning på jordoverfladen som følge af f.eks. byudvikling. Målinger af vertikalbevægelsen kan i dag beregnes ud fra satellitdata, f.eks. fra Sentinel-1-radarsatellitten. Disse beregninger kan anvendes som dokumentation for sætninger i byområder, men det forudsætter p.t. indgående og sofistikeret tolkning af data.

Tolkning af satellitdata

Line-of-sight-produkterne fra Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering har en rumlig opløsning på 5x20 meter og er blevet korrigeret for betragtningsvinkel og postglacial landhævning. Herved fås et kvalificeret bud på absolut vertikal landbevægelse (figur 1). Tolkningen af data er imidlertid ikke ligetil, idet der kan forekomme store forskelle imellem vertikalbevægelse beregnet på data fra



Figur 1. Vertikalbevægelser beregnet ud fra korrigerede og kalibrerede Sentinel-1 LOS-beregninger for ascending track LOS-146A (øverst). Vertikalbevægelser beregnet ud fra korrigerede og kalibrerede LOS-beregninger for Sentinel-1 descending track LOS-66D (Midt). Vertikalbevægelser præsenteret i form af 2D vertikalproduktet (nederst).

Indeholder modificerede Copernicus Sentinel-data (2014-2019). Data fra Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering/TRE Altamira (2019).

forskellige perioder og satellitdata-repræsentationer. Det kan skyldes forskelligheder i de geometriske forhold (betragtningsgeometrien ift. bevægelsesgeometrien), huller i tidsserien af satellitdata, eller at enkeltstrukturer i området bevæger sig individuelt og forskelligt.

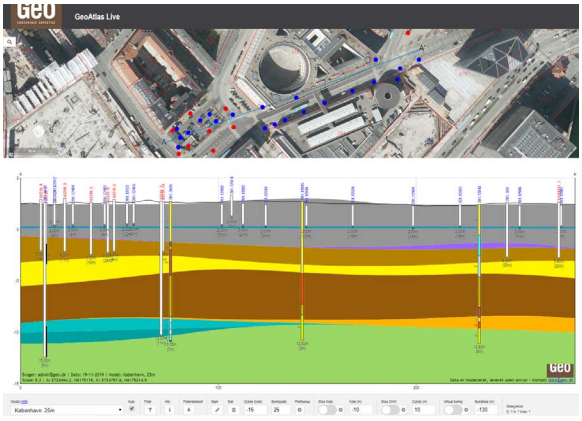
SDFE udstiller også data på et 80 meter grid, hvor vertikalbevægelsen er beregnet ved at kombinere ascending- og descending-scener, men produktet er ikke tilstrækkeligt detaljeret til at studere enkeltstrukturer.

Gevinst

Screeningsanalyser baseret på geologiske data kombineret med data om vertikale landbevægelser er en relativt billig metode til screening for sætningsrisiko i forbindelse med bygge- og anlægsarbejder. Undersøgelserne fra screeningsfasen kan desuden anvendes til efterfølgende effektiv prioritering af målrettede og fyldestgørende geotekniske, miljøtekniske og hydrologiske undersøgelser, som ofte er omkostningstunge.

Fremtidigt perspektiv

Et nyt projekt støttet af ESA med deltagelse af Geo, Geopartner Landinspektører og DTU Space vil i løbet af 2020-21 se nærmere på integrationen af geoteknisk information med data om landbevægelser. Projektet vil udvikle metoder til at optimere anvendelsen af de satellitbaserede beregninger af landbevægelse, som i dag stilles til rådighed af SDFE og ajourføres årligt. Desuden vil projektet udvikle en ny og forbedret version af GeoAtlas Live inklusive en ægte 3D voxel-baseret geologisk model – baseret på såvel geologiske data som landbevægelsesdata beregnet fra satellit.



Figur 2. GeoAtlas Live er en webbaseret platform, som samler information om undergrunden. Fremadrettet vil satellitbaseret sætningsdata også blive integreret.

Landbevægelser beregnes fra satellit som line-of-sight (LOS), som udtrykker bevægelsen af et punkt på jorden i forhold til satellitten. Idet radarsatellitter altid "kigger" skråt ned på jorden, skal LOS-data korrigeres og kalibreres for at give et retvisende bud på bevægelsen.

Brug af Sentinel-1 til udpegning af sætningsområder og klimatilpasning i Odense

I Odense Kommune har InSAR-data været et godt værktøj til at vurdere flere lavtliggende arealer, der undergår sætninger, og til at vurdere effekterne af byggeaktiviteter i centrum af byen.

Gert Michael Laursen [A], Martin Nissen [B], Joanna Balasis-Levinsen [B]

A: Odense Kommune B: Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering

Udfordringen

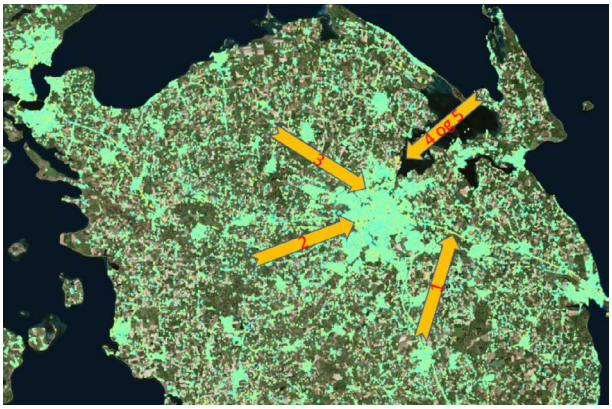
Store landområder i og omkring Odense er inddæmmet land. Derfor er der risiko for, at arealer i og omkring byen sætter sig. Til at vurdere omfanget har Odense Kommune anvendt de landsdækkende landbevægelsesdata fra Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering (SDFE) til at screene og udpege sætningsområder, bl.a. til at vurdere omfanget af sætningerne omkring Kanalen og Seden Strandby.

Arealerne nord for Odense omkring fjorden er særligt udsatte for klimaforandringer. På baggrund af EU's oversvømmelsesdirektiv har Staten udpeget Odense Fjord som ét af ti områder i Danmark, hvor der er særlig risiko for store tab og skader ved oversvømmelser nu og i fremtiden.

Odense står derfor over for en stor klimatilpasningsopgave, hvor kommunen løbende skal vurdere og tilpasse arealerne til fremtidige forhold, bl.a. ved en bedre sikring af fysiske forløb i landskabet, herunder eventuel forhøjning af diger.

Hvordan er satellitdata anvendt

Kommunens arbejde kræver en lang række forskelligartede data og tværfaglig koordinering, og det er i den proces, at det landsdækkende datasæt



En skrivebordsanalyse udpegede hotspots omkring Odense, hvor der ses landbevægelser. Særligt omkring Odense Fjord er der arealer, der kræver grundig planlægning.

bestående af vertikale og horisontale landbevægelser har været nyttigt. Datasættet er processeret på baggrund af data fra Sentinel-1, der er en radarsatellit fra EU's jordobservationsprogram, Copernicus. Satellitprogrammet leverer billedoptagelser over en lang årrække, således at der genereres ensartede tidsserier, der kan vise ændringerne over tid over hele landet. Satellitmålingerne med Sentinel-1 startede i 2014 og fortsætter mange år ud i fremtiden.

Datagrundlaget har ikke kun bidraget med viden om sætninger af diger, der stedvist er sunket med op imod 30-40 cm, og som beskytter omkring 600

Målepunkterne på Stige Ø nord for Odense underbyggede formodningen om, at området sætter sig, og kunne medvirke til at estimere sætningsraten og omfanget lokalt.

hektar jord. Kommunen har også anvendt det til at afkræfte, at bygge- og graveaktiviteten i centrum af Odense kan have medvirket til revne- og sætningsskader på omkringliggende bygningers fundament. Det er en kendt problematik fra mange infrastrukturprojekter, særligt i tæt bebyggelse, hvor det kan være vanskeligt at vurdere årsagssammenhænge, f.eks. om større gravearbejder, tunnelføring eller store rystelser kan have forårsaget, at jorden er sunket, og omkringliggende bygninger er blevet påvirket. Her kan de uafhængige målinger fra rummet have stor værdi til at vurdere årsagssammenhænge, fordi satellitten foretager ensartede målinger over Danmark hver uge året rundt. Dermed kan man se og følge, om der er sket sætninger over tid eller i bestemte tidsrum, f.eks. under eller efter byggeriet. Dette kan i sidste ende have indflydelse på juridiske og forsikringsmæssige forhold.

> **Klimatilpasning er en stor udfordring for mange kommuner i Danmark, og det er vigtigt, at vi har adgang til det bedste datagrundlag for at kunne imødegå forandringerne.**
>
> *Energi-, forsynings- og klimaminister Lars Chr. Lilleholt*

Anvendelser og fordele ved satellitter

Med det nye datasæt om landbevægelser kunne en indledende skrivebordsanalyse i kommunen afdække, om allerede kendte sætningsområder krævede yderligere feltundersøgelser. Ud fra satellitmålingerne kunne lokale sætningsrater på de steder, hvor der var valide InSAR-målepunkter, be- eller afkræfte, om de gamle diger og indvundne områder stadig sætter sig. Data om landbevægelser kan således supplere eksisterende viden og modeller af fremtidige klimascenarier og tjene som et redskab til risikostyring og som hjælp til at prioritere, hvor og hvor meget der skal investeres. I andre tilfælde, som det var tilfældet i centrum af Odense, kan satellitmålingerne vise, at der ingen ændring er. Det kan være mindst lige så nyttig viden.

Perspektiver og fremtidsudsigter

Erfaringerne fra Odense Kommune kan måske tjene som inspiration til at vurdere andre områder i Danmark, hvor lokale sætninger kan have betydning. I Danmark er betydelige landområder og bydele anlagt på inddæmmet land, der ofte vanskeliggør infrastruktur (ledningsføring, veje, jernbaner, fundering mv.) og er sårbart i et fremtidigt klimaperspektiv – især hvis sætningerne falder sammen med lokalt forhøjet grundvandsstand, havspejlsstigninger og en øget stormflodsfrekvens.

Satellitbaseret overvågning af naturgaslager Lille Torup

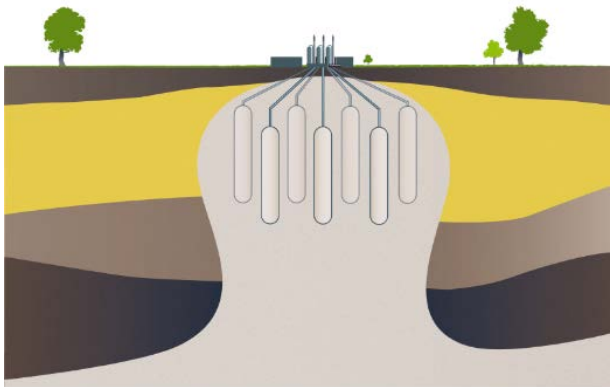
Den fremadrettede satellitbaserede overvågning muliggør hyppigere målinger og beregninger til gavn for aktualiteten i overvågningen

Karsten Vognsen [A], Niels H. Broge [A], Jørgen Lund [B], Per Knudsen [C], Mads Robenhagen Mølgaard [D], Carlo Sørensen [E]

A: Geopartner A/S B: Gas Storage Denmark C: DTU Space D: Geo E: Kystdirektoratet

Udfordringen

I Danmark varierer forbruget af naturgas med årstiden. På vinterdage kan forbruget komme op på ca. 30-33 mio. Nm^3 (normalkubikmeter) i døgnet. Den maksimale leverance af naturgas fra Nordsøen er ca. 22-24 mio. Nm^3 i døgnet. Det er derfor nødvendigt at opmagasinere gas om sommeren, når forbruget er lavt.



Figur 1. Skitse af salthorsten og kaverner, der anvendes som gaslagre.

Et af gaslagrene ligger ved Lille Torup i Himmerland og er ejet af Gas Storage Denmark. Her lagres gassen i underjordiske kaverner, som er store hulrum i en salthorst. Kavernerne ligger i ca. 1.000-1.700 m dybde, er 200-300 m høje og har en diameter på 40-60 m.

En salthorst er en geologisk formation dannet af inddampet havvand. Salthorste opstår som følge af salts lave vægtfylde. Trykket fra de omkringliggende tungere bjergarter presser saltet opad, hvorved en salthorst kan rejse sig mange kilometer op igennem de overliggende geologiske lag.

Kaverner i salthorste er på grund af deres tæthed og uigennemtrængelighed meget velegnede til opbevaring af naturgas.

For at følge salthorstens udvikling og sikre tryghed blandt borgerne har Gas Storage Denmark siden 1981 med få års mellemrum gennemført højdemålinger på overfladen over naturgaslageret i Lille Torup.

Målingerne i perioden 1981-1992 er gennemført ved højdemåling (nivellement) mellem fikspunkterne på kaverneområdet med ophæng i kontrolpunkter i Ulbjerg, Fjelsø, Tostrup og Møldrup. De efterfølgende målinger er alle udført med motoriseret heldækkende geometrisk præcisionsnivellement for at sikre et korrekt og ens sammenlignings-grundlag over tid.

De lange tidsserier af højdemålinger anvendes til at kortlægge deformationer i og omkring salthorst-området.

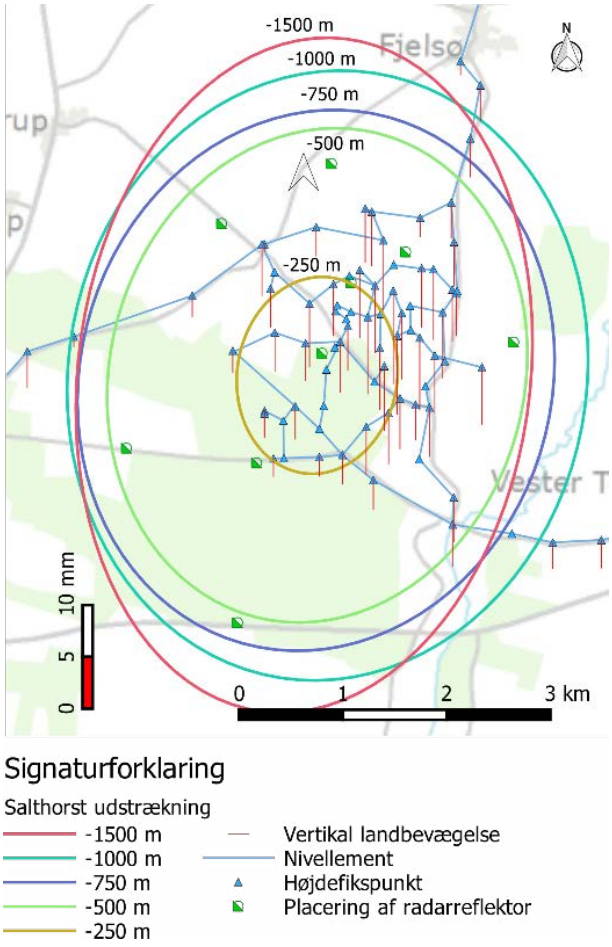
> **Den fremadrettede overvågning af deformationen af Lille Torup salthorst vil blive bedre med inddragelse af satellitberegnede deformationsrater med hyppigere opdatering end i dag. Det vil give større tryghed for borgerne i området.**
>
> *Jørgen Lund, afdelingsleder, Gas Storage Denmark*

Fremtidig satellitbaseret overvågning

Fremadrettet vil Gas Storage Denmark også overvåge deformationen af salthorsten vha. data fra Sentinel-1-satellitterne, som siden 2014 og frem til 2030'erne vil indsamle radardata med seks dages mellemrum. Disse data kan vha. InSAR-teknikken kombineret med gode in situ-referencedata omregnes til overfladens vertikalhastighed, som er beskrivende for salthorstens deformationsdynamik.

Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering (SDFE) frigav i september 2019 den anden beregning af højdebevægelser baseret på tidsserien af Sentinel-1-data over Danmark og vil forventeligt gennemføre en ny landsdækkende beregning årligt.

Geopartner Inspections A/S har sammen med firmaet Kynde & Toft udviklet og fremstillet radarreflektorer og justerbare fundamenter til disse. Der er i december 2019 og januar 2020 opstillet otte radarreflektorer på de nyudviklede fundamenter på udvalgte steder på salthorsten. Reflektorerne er indmålt og knyttet sammen med fikspunkterne og vil blive rygraden i en satellitbaseret overvågning af salthorsten, i første omgang med afsæt i SDFE's beregninger og siden med afsæt i beregninger fra den kommende European Ground Motion Service (EGMS) fra Copernicus.



Figur 2. Salthorsten ved Lille Torup. Fikspunkter og beregnede deformationsrater for perioden 2013-2018 er indtegnet.

Gevinst

Med den satellitbaserede overvågning vil Gas Storage Denmark i fremtiden få mulighed for hyppigere opdatering af deformationshastigheden af salthorsten ved Lille Torup. Samtidig vil den satellitbaserede overvågning bidrage med en større detaljeringsgrad (flere målepunkter) og dermed en bedre kortlægning af deformationen forårsaget af salthorsten. En bedre og mere ajourført kortlægning vil medvirke til Gas Storage Denmarks mål om at skabe den størst mulige tryghed blandt borgerne.

Satellitbaseret overvågning af ledningsnet

Sentinel-1 data forlænger levetiden på ledningsnettet og giver store besparelser for forsyningen

Niels H. Broge [A], Henrik Brændskov Larsen [A], Karsten Vognsen [A], Lars Nørgaard Holmegaard [B], Carlo Sørensen [C], Per Knudsen [D], Mads Robenhagen Mølgaard [E]

A: Geopartner Inspections A/S B: Lemvig Vand og Spildevand A/S C: Kystdirektoratet D: DTU Space E: Geo

Udfordringen

Tidligere undersøgelser i Thyborøn har vist, at byen sætter sig, og at denne bevægelse genspejles i den underjordiske infrastruktur. De lokale landbevægelser forstærker klimapåvirkningen fra havstigningerne og stigende grundvandsspejl. Da nogle områder sætter sig mere end andre, giver det forskydninger i kloaknettet, hvilket reducerer rørenes levetid.

Detaljeret viden om landbevægelser bliver således væsentlig for en lavtliggende by som Thyborøn for at kunne optimere de løbende investeringer og drift af kloaknettet og medregne (eller modvirke) sætningerne i klimatilpasningen lokalt. Gennem det seneste tiår har flere opmålingskampagner dokumenteret landsætningerne i Thyborøn, og de indgår allerede i klimatilpasningsarbejdet i Lemvig Kommune.

Figur 1. Stadie med adapter på midten af brønddækslet, som er defineret som "målepunktet" på alle dæksler.

Bestemmelse af sætningsrater for Thyborøn

Geopartner Inspections A/S har i samarbejde med det lokale forsyningsselskab Lemvig Vand og Spildevand A/S (LVS) i løbet af 2018 gennemført omfattende højdemålinger (nivellement) til højdefikspunkter samt 1.158 kloakdæksler i byen. Samtidig er der foretaget nedstiksmålinger fra dækslet og ned til bundløbet for at bestemme bundkoten (højden). Der eksisterer således i dag en detaljeret kortlægning af niveauet på samtlige brønde i byen samt rørledningernes indløb og udløb.

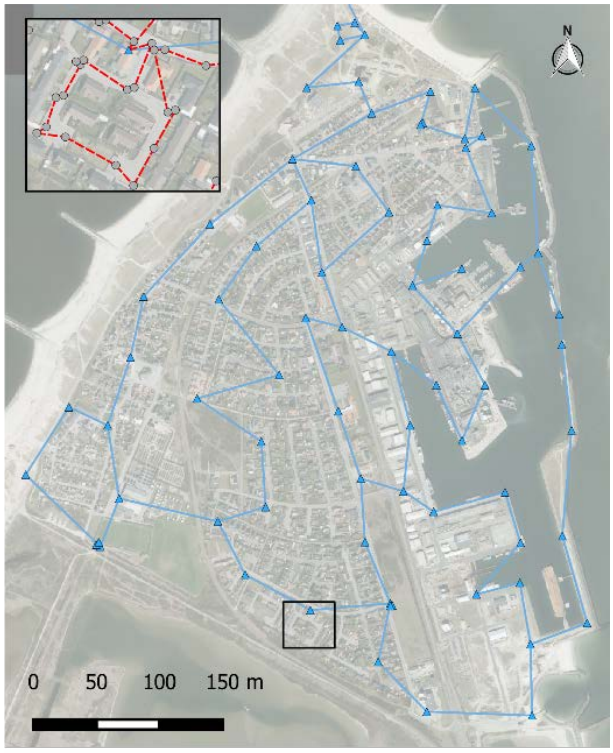
Thyborøn udmærker sig ved et fintmasket net af højdefikspunkter, som er etableret med en indbyrdes afstand på 200-300 meter. Højden af disse fikspunkter er siden 2003 bestemt med præcisionsnivellement med en 3-årig opmålingsfrekvens, hvilket giver en i dansk sammenhæng enestående mulighed for at beregne højdens udvikling, dvs. vertikalbevægelsen over tid.

Fremtidig satellitbaseret overvågning

Tidligere studier har vist god sammenhæng mellem satellitberegnede vertikalbevægelser på overfladen og de bevægelser, som den underjordiske infrastruktur (spildevandsledninger og brønde) har gennemgået. På den baggrund har LVS besluttet at benytte muligheden for at anvende satellitbaseret overvågning af den underjordiske infrastruktur.

Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering (SDFE) har siden 2018 fået udført beregninger af

Figur 2. Fikspunktmålingen i Thyborøn med eksempel på hvordan brøndmålingen er hæftet på fikspunktnettet.



vertikale og horisontale landbevægelser i Danmark baseret på Sentinel-1-satellitdata fra EU's jordobservationsprogram, Copernicus. Beregningerne stilles frit til rådighed. Det forventes, at styrelsen vil gennemføre og udstille en ny beregning en gang årligt, hvor de nyeste satellitdata vil indgå. Den seneste beregning fra SDFE blev frigivet i september 2019. I løbet af 2021 forventes European Ground Motion Service (EGMS) fra EU at blive operationel. Denne tjeneste vil levere beregninger af samme type som SDFE's beregninger mindst frem til 2030. Der er således skabt et fremtidssikret satellitbaseret datagrundlag til nutidige og fremtidige beregninger af vertikale landbevægelser.

> **Sætningsberegninger fra Sentinel-1-satellitten giver et solidt grundlag for at vurdere, hvilke af vore ledninger der skal udskiftes, og hvilke der skal renoveres. Med anvendelse af Sentinel-1-data forventer vi en markant forøgelse af levetiden på vores ledningsnet og dermed et besparelsespotentiale på op til 3 mio. kr. om året.**
>
> *Lars Nørgaard Holmegaard,*
> *direktør for Lemvig Vand og Spildevand*

Gevinst

Med et ledningsnet indmålt ved nivellement som baseline for situationen i 2018 samt den satellitbaserede kortlægning af vertikalbevægelsen i området (som kan være i både opadgående og nedadgående retning) er det nu muligt at forudsige niveauændringer i ledningsnettet i Thyborøn til brug for prognoser af fremtidig kapacitet samt renoveringsbehov. Dette forventes at blive et vigtigt planlægningsværktøj med et betydeligt effektiviseringspotentiale.

Den fremtidssikrede satellitdækning giver desuden mulighed for løbende at ajourføre beregningerne og monitorere udviklingen med selvvalgt interval.

Metoden er skalerbar og kan umiddelbart implementeres i andre urbane områder, hvor sætninger spiller en rolle for vedligeholdelsen af underjordisk infrastruktur.

Udpegning af bygningsændringer

NIRAS har udviklet en satellitbaseret metode til udpegning af bygningsændringer med henblik på automatisering af ajourføringen af topografiske data.

Søren Buch [A], Casper Fibæk [A], Peter Gelsbo [A], Mikkel Skovgaard [A], Victor Olsen [A]

A: NIRAS

Udfordringen

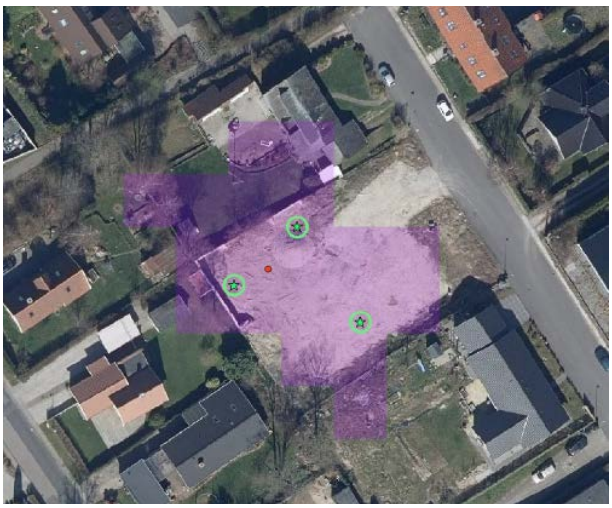
GeoDanmark data er de topografiske grunddata, som ligger til grund for SDFE's og kommunernes digitale kortprodukter. De benyttes på tværs af den offentlige og private sektor og er afgørende for at skabe services for danske virksomheder og borgere.

Kommunerne og SDFE ajourfører GeoDanmark-data i fællesskab. Ajourføring foregår ved, at ændrede områder udpeges, hvorefter der foretages en fotogrammetrisk ajourføring. Udpegningen sker kommunevis og er meget ressourcekrævende. Derfor efterlyses automatiske metoder til udpegning af bl.a. bygningsændringer.

I NIRAS har vi adresseret denne problematik ved at afprøve en satellitbaseret metode til udpegning af bygningsændringer. Metoden er et pilotstudie i anvendelsen af Sentinel data til monitorering af topografiske ændringer.

Hvordan er satellitdata anvendt

Metoden bygger på et bredt udvalg af data, som i kombination danner et grundlag for bygningsændringsudpegningen. Satellitdata fra Copernicusprogrammet udgør de vigtigste datakilder med satellitobservationer fra både Sentinel-1 og Sentinel-2. Derudover benyttes GeoDanmark data, BBR data, adressedatabasen samt markregistreringer.



Udpegning af en nedrevet bygning.

Radarsignalet fra Sentinel-1 benyttes til at identificere overflader, som både er stabile over en udvalgt tidsperiode og samtidig har en høj refleksion, eftersom denne kombination er karakteristisk for artificielle overflader, herunder bygninger.

Ændringer i bebyggelse kan derefter identificeres ved at sammenligne resultaterne mellem to perioder. En markant forskel indikerer ændringer i topografien, og disse data kan dermed indgå i den videre analyse.

> **Denne anvendelse af Sentinel data har nogle meget spændende perspektiver.**
>
> *Bjarke Skjødt, Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering*

Både Sentinel-1 og Sentinel-2 benyttes til at beregne profiler (eller tidsserier) over en periode på et år. Disse profiler udviser karakteristiske mønstre, som kan anvendes i genkendelsen af bygningsændringer.

Derudover anvendes udvalgte georefererede BBR- og adressepunkter samt markpolygoner. BBR- og adressepunkterne udvælges efter kategorier, som forventes at kunne indikere bygningsændringer. Markpolygonerne fungerer som et støjreducerende filter.

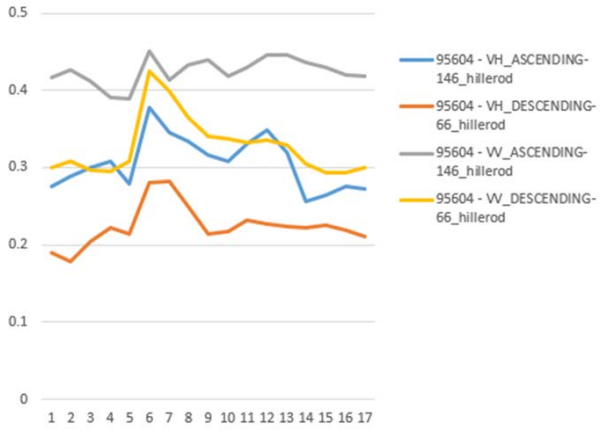
Et neuralt netværk trænes derefter med eksempler på bygningsændringer og de ovennævnte lag. Processen resulterer i en udpegning af bygningsændringer over en udvalgt periode.

Satellitdata anvendes her i kombination med GeoDanmark data for at opnå højere nøjagtighed i klassifikationen. Dette er nødvendigt pga. billedernes begrænsede rumlige opløsning. Applikationen viser dermed mulighederne for at drage nytte af Sentinelsatellitternes høje temporale opløsning, ved at supplere satellitdata med andre datakilder.

Anvendelser og fordele

Et automatisk udpegningssystem for bygningsændringer kan spare kommunale ressourcer og på sigt føre til færre oversete bygningsændringer i ajourføringen.

Derudover vil automatiserede ændringsudpegninger kunne levere rettidig information til bl.a. forsyningssektoren, som dermed får bedre forudsætninger i deres projekteringsarbejde ved nye bebyggelser.



Tidsserie af målinger fra Sentinel-1.

Perspektiver og muligheder

Et operationelt system kræver videreudvikling, men kan på sigt blive et praktisk værktøj til satellitbaseret monitorering af infrastruktur. Derudover eksemplificerer metoden mulighederne i kombinationen af data fra vidt forskellige kilder med neurale netværk.

Den begrænsende faktor er den rumlige opløsning i forhold til de observerede objekter. På trods af denne udfordring viser metoden fordelene ved den høje temporale opløsning i Sentinel-1 og Sentinel-2 i forhold til eksempelvis de årlige ortofotos.

I NIRAS ser vi et stort potentiale i data fra Copernicusprogrammet, som giver nye muligheder for monitorering af bl.a. bygninger og infrastruktur.

Optiske satellitbilleder som beslutningsstøtte

Anvendelse af optiske satellitbilleder til at observere forandringer i byen.

Emil Møller Rasmussen, Københavns Kommune

Udfordringen

I en kommune som Københavns Kommune kan der være behov for at se og vise de ændringer, byen undergår. Dette kan være svært ved brug af traditionelle datakilder.

Her er satellitbilleder oplagte, da der ellers findes få muligheder for at få taget øjebliksbilleder af byen. I takt med at der er kommet flere leverandører og offentlige datatilbud på dette marked, er satellitbilleder blevet et kosteffektivt bud på en kilde til disse data.

Den rumbaserede løsning

Satellitbilleder består af komplekse datatyper, der på grund af muligheden for at optage informationer i flere spektrale bånd end de rent optiske indeholder en myriade af informationer. Hvis man skal have fuld nytte af disse, kræver det derfor et højt teknisk kompetenceniveau. Dog er det ved at anvende Sentinel-2 satellitternes optiske bånd muligt at tilgå informationer om jordens overflade uden at have behov for alt for avancerede tekniske kompetencer.

De optiske bånd på Sentinel-2 har en rumlig opløsning på 10x10 meter, hvilket er nok til at observere større elementer i byrummet. Alle kan forholde sig til et almindeligt RGB-billede, og grundet den rumlige dækning af satellitbilleder kan ét billede give overblik over store områder på én gang. Dette koblet med satellittens relativt korte returtid gør, at man også kan observere fænomener i et tidsligt perspektiv.

De begrænsninger, man har ved en satellitbaseret datakilde, er, at man ikke kan følge udviklinger på

Den sydlige del af København, før og efter tørkeperiode i 2018. De store grønne arealer illustrerer tørkens effekt på byen.

Københavns centrum før og efter tørke i 2018. Disse billeder viser, hvordan byens parker er berørt.

kortere tid end den returtid, satellitten har, samt at det skal være fænomener, der er upåvirkede af det tidspunkt på døgnet, satellitten vender tilbage. Derudover vil der være en naturlig barriere for, hvor små fænomener det giver mening at kigge på.

Ofte forekommende atmosfæriske forstyrrelser, som f.eks. skydække eller smog, vil yderligere forstyrre mulighederne for en forudsigelig anvendelse.

For borgeren

Sommeren 2018 var rekordvarm, og Danmark (samt store dele af Europa) var ramt af tørke. For at give borgere og politikere et indtryk af, hvordan tørken berørte København, anvendte vi Sentinel-2 satellitterne til at vise byens tilstand, før tørken indtraf, og efter at den havde stået på et stykke tid. Denne visning gav en dramatisk illustration af, hvilken effekt tørken havde på alle byens grønne områder.

Tidsserier kan også bruges til at vise, hvordan en storby udvider og udvikler sig over tid. Dette kan kobles med kilder som f.eks. Landsat-satellitbilleder, så man kan vise udviklingen over endnu længere tid, end hvad der er muligt med Sentinel. Efterfølgende kan der dykkes ned i et specifikt område, f.eks. en nyanlagt bydel, hvor man kan få et indtryk af, hvordan projektet skrider frem, og hvordan området ændrer sig.

Over tid kan billederne bruges som arkivmateriale for byplanlæggere og kan være med til at danne grundlag for fremtidige projekter i eller omkring området.

Fremtidsudsigter

I takt med at planlæggere og fagpersonale i kommunen får større indsigt og forståelse for mulighederne i, hvad man kan efterspørge og se ud fra satellitbilleder, vil der dukke flere efterspørgsler og potentielle anvendelser op.

Ud over dette er de rent optiske billeder gode til at give brugere en forståelse for satellitbilleders potentialer, og de kan bruges som springbræt for mere avancerede anvendelser og analyser. Altså er der gode muligheder for at komme hurtigt i gang med anvendelsen af satellitdata ved at anvende de optiske bånd for så siden hen at introducere mulighederne for analyser baseret på øvrige spektrale bånd.

Jordobservationsmetoder til monitorering af miljøet i urbane områder

Jordobservationsmetoder tilbyder en objektiv og sammenhængende metode til at monitorere urbane dynamikker. Derudover kan produkter afledt af jordobservationsdata bruges som værktøjer til at måle og estimere miljømæssige parametre.

Mads Christensen [A], Emil Møller Rasmussen [B]

A: DHI GRAS B: Københavns Kommune

Udfordringen

Vandforurening er et globalt problem og en bekymring for byplanlæggere, der søger at gøre byer renere, smartere og mere bæredygtige. Muligheden for at leve op til miljømæssige krav bliver ofte modarbejdet af evnen til løbende at kunne monitorere og måle vandressourcer og forurenende stoffer, der finder vej ind i vandsystemer.

Befæstede arealer er en af de kritiske parametre, som påvirker kvaliteten af vandressourcer. Urbanisering har medført en øget mængde af befæstede arealer. Veje, tage, parkeringsarealer, fortove etc. medfører mindre mulighed for vandinfiltrering og forårsager øget afløb af regnvand, hvilket ændrer den hydrologiske balance, struktur af kritiske habitater, vandkvalitet og biodiversitet i de vandbaserede økosystemer.

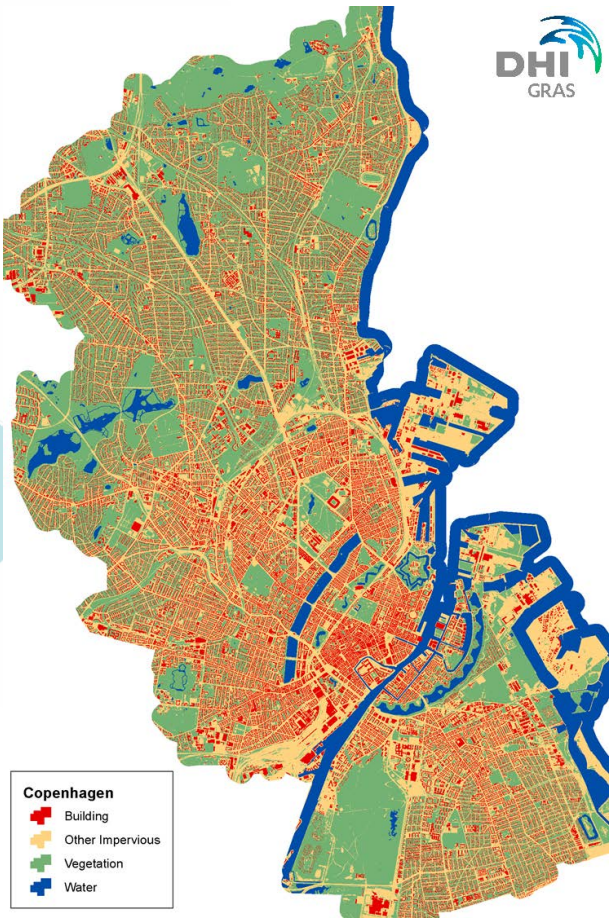
Den rumbaserede løsning

Muligheden for på en konsistent og konsekvent måde at monitorere befæstede arealer i urbane miljøer er kritisk I forhold til at styrke byers muligheder for på en bæredygtig måde at håndtere den urbane vandinfrastruktur.

Sentinel-2 data (10m) kan anvendes til at monitorere og kortlægge befæstede arealer i urbane miljøer og dermed tilbyde en objektiv måde at monitorere omfanget af befæstede arealer på. Baseret på en automatiseret objektbaseret tilgang kan satellitdata laves om til et sammenhængende datasæt, som kan bruges til at vurdere effekten af forurening på vandmiljøet. Disse kortlægninger kan derefter bruges til at beregne vand- og forureningsmængder, der løber af disse arealer.

> **Opdaterede og præcise kort over befæstede arealer er en af de vigtigste parametre for afstrømningsmodellering, og satellitter tilbyder den mest omkostningseffektive og objektive metode til konsekvent at kortlægge og monitorere dette.**
>
> *Sten Lindberg, Danish Hydraulic Institute (DHI)*

Deep learning-metoder kan derudover anvendes til at udlede andre relevante parametre fra højtopløselige satellitbilleder, heriblandt kortlægge tagsegmenter og differentiere mellem forskellige materialetyper (såsom grønne tage, asfalt, kobber, ler) såvel som andre objekttyper, herunder f.eks. solceller. Muligheden for at identificere og



Kortlægning af befæstet areal i København, Danmark. Dette viser dækningsgraden af ikke-permeable områder og grønne arealer.

kortlægge materialetyper på tagsegmenter giver vigtig information, som kan bruges til at monitorere koncentrationen af forureningsstoffer i vandmiljøer såsom koncentrationen af kobber-ioner, der afstrømmer fra kobbertage.

Fordele for borgeren

Lokale og nationale myndigheder har brug for standardiseret kvalitetsinformation for at gennemføre vandhåndteringspolitikker og infrastrukturplanlægning. En satellitbaseret tilgang til at monitorere miljørelevante parametre i urbane miljøer giver en objektiv, konsistent og omkostningseffektiv måde at monitorere vandressourcers tilstand på.

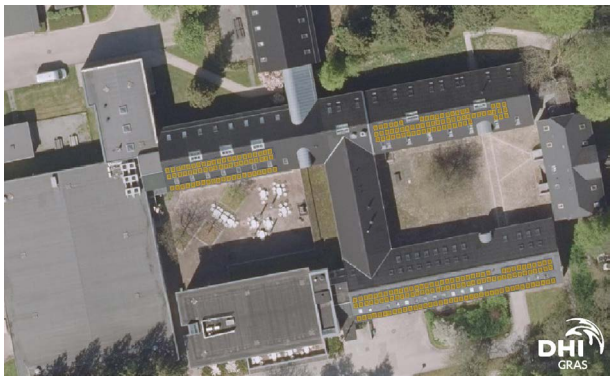
Data og information om graden af permeabilitet og tagmaterialer kan bistå lokale myndigheder med at:

1. bedre forstå forurening fra stormhændelser til at identificere praksisser for bedre håndtering;
2. understøtte en mere bæredygtig byplanlægning;
3. bistå byplanlæggere til at bestemme, hvordan placeringen af relevant infrastruktur bedst kan placeres på baggrund af dens indflydelse på miljøet.

Fremtiden

Urbane miljøer vil fortsat vokse for at give plads til en voksende befolkning, hvilket vil medføre væsentlige ændringer af naturlige processer og kvaliteten af miljøet. Data fra satellitbaserede analyser er essentielle for at imødekomme denne udfordring. Sentinelmissionerne har været en "game changer", når det kommer til mulighederne for at vurdere dynamikker i urbane miljøer, og det forventes, at den næste generation af Sentinelsatellitter samt andre højtopløselige sensorer fortsat vil forbedre de satellitbaserede miljøvurderinger.

Den hyppige dækning af Sentinelsatellitterne giver byplanlæggere indsigt i de dynamikker samt den miljøtilstand, der er i urbane miljøer. Dette kan gøres ved at producere regelmæssig information om de urbane strukturer. Dette sætter myndighederne i stand til at træffe beslutninger baseret på data og information i nær realtid i stedet for data, der opdateres uregelmæssigt. Desuden er satellitbaseret kortlægning af befæstede arealer en objektiv og konsistent kilde til information, der er uafhængig af subjektiv menneskelig fortolkning.



Deep learning-tilgang til automatisk segmentering af solceller på tage, fra høj opløsnings-satellitbilleder.

Anerkendelser

Vi vil gerne takke Europa-Kommissionen og Den Europæiske Rumorganisation (ESA) for at stille Sentinel data til rådighed gennem Copernicus Open Access Hub.

Landsdækkende Sentinel-2 mosaik til brug for planlægning af luftbåren dataindsamling

Hvert år fotograferes Danmark fra luften i en opløsning på 10 cm. Billederne bruges til ortofotos samt fotogrammetrisk opdatering af GeoDanmarks vektorkort. Derudover scannes 1/5 af landet med LiDAR hvert år. Arbejdet sættes i udbud på det private marked, hvor størstedelen af opgaveløsningen udføres af producenter uden for landets grænser. God og præcis information, som deles mellem leverandør og producent, er essentiel for et godt samarbejde til begge parters tilfredshed.

Thorbjørn Kjærshøj Nielsen [A], Regin Mark Møller-Sørensen [A], Andrew Flatman [A]

A: Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering

Udfordringen

Luftbåren dataindsamling er meget afhængig af en lang række datakilder, når aktuelle flyveforhold skal vurderes. Dette drejer sig både om meteorologiske data, aktive militære skydeområder og endda astronomiske data til at bestemme solvinkel samt soludbrud, som kan forstyrre modtagelse af GNSS-signaler. Projektlederne har adgang til alle tilgængelige data i et nemt brugerinterface.

Sentinel-2 billeder udmærker sig ved deres tidsmæssig opløsning. Det samme område dækkes flere gange månedligt, selv når skydække, som dækker interesseområder, tages i betragtning. Med den intensive dækning tilføres projektlederne et nær realtids-værktøj, som de kan basere deres beslutninger på.

Hvordan er satellitter anvendt

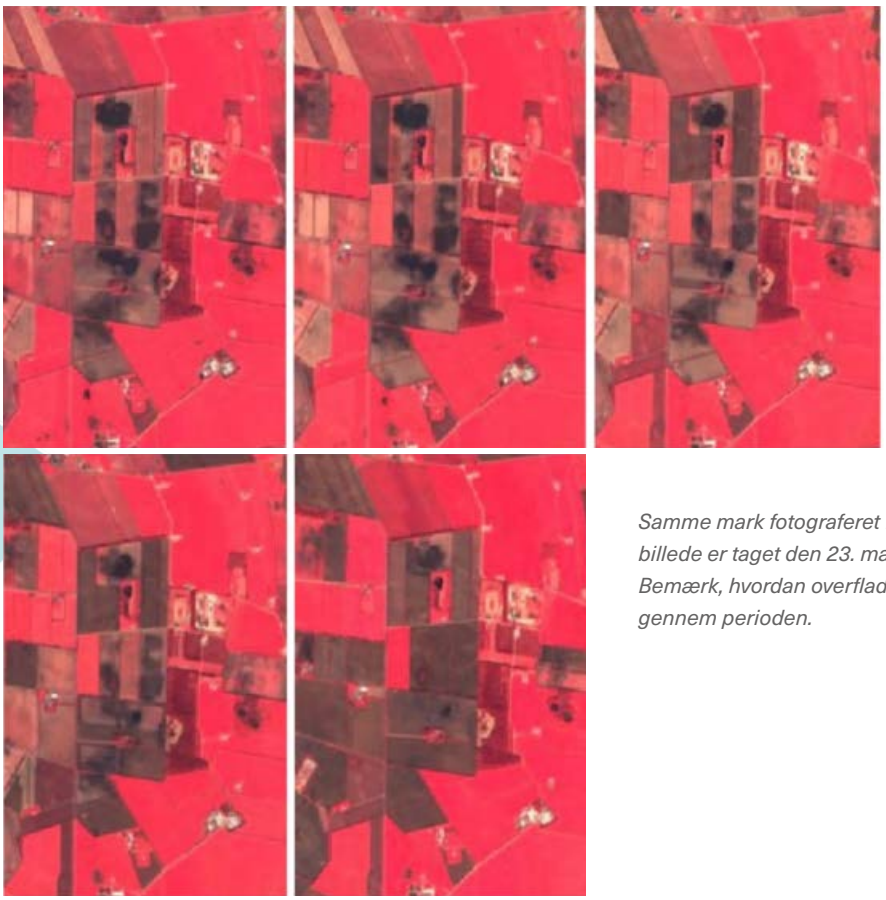
Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering har automatiseret processen med download og samling af relevante satellitbilleder til mosaikker med faste intervaller. Projektlederne anvender mosaikkerne, når de har en dialog med leverandørerne om dataindsamlingen.

Farve og infrarøde billeder fra Sentinel-2 er nemme at tolke for projektlederne, fordi de er vant til denne datatype.

Anvendelser og muligheder

Borgeren møder Styrelsen for Dataforsyning og Effektiviserings data enten gennem de visuelle produkter (f.eks. når en ejendom ses på et ortofoto), gennem de afledte produkter (f.eks. GeoDanmarks vektordata eller Skærmkortet) eller ultimativt gennem afledte analyser (f.eks. hydrologiske produkter baseret på Danmarks Højdemodel, eller når skattemyndighederne analyserer ejendomsværdi, hvor styrelsens data indgår). Det er klart, at bedre værktøjer til optimering af dataindsamlingen leder til bedre data i hele værdikæden, fra de nemt tilgængelige produkter til de avancerede analyser.

Dataleverandørerne, som leverer til styrelsen, oplever også en fordel gennem en højere grad af trans-



Samme mark fotograferet fem gange i løbet af en måned. Første billede er taget den 23. marts, det sidste er taget den 23. april. Bemærk, hvordan overfladevandet ("skyggerne") bliver mindre gennem perioden.

parens, når der skal tages stilling til, om et område kan beflyves eller ej. Når et nær-realtidsbillede præsenteres, er der ofte fælles forståelse, og en beslutning kan næsten altid træffes i fællesskab. Projektlederne har desuden den fordel, at de er i stand til at prioritere dataindsamlingen og forudse datakvaliteten, allerede før data indsamles.

Den altoverskyggende fordel er en lavere risiko for at skulle gen-flyve områder, og på den måde er det samtidig en bidragende faktor til, at styrelsen kan reducere udgifter samt CO2-aftrykket i tråd med Klima-, Energi- og Forsyningsministeriets dagsorden om klimabelastningsreduktion.

Fremtiden

I takt med at vi får flere erfaringer med satellitbåren dataindsamling i nær realtid, vil andre typer af data (som allerede i dag indgår i Copernicusprogrammet) være interessante at tage i betragtning. For tiden er RGB og infrarøde billeder tilstrækkeligt til menneskelig tolkning, men en mere automatiseret understøttelse i beslutningsprocessen kunne opnås ved at bruge SAR-data og maskinlæringsteknikker.

Validering af trædetektion med Sentinel

Karsten Østergaard Noe, Alexandra Instituttet

Udfordringen

Deep learning eller andre maskinlæringsteknikker kan bruges til at udvikle robuste metoder til at genkende objekter i billeder.

Brug af deep learning kræver dog store mængder træningsdata, og medmindre man i forvejen har brugbare registerdata for de ønskede objekttyper (polygon-data, som kan bruges til at klippe træningsbilleder ud af datasættet), er det en meget tidskrævende og dermed kostbar proces at skabe et sådan træningsdatasæt.

I denne case har vi taget et skridt hen imod et værktøj, der kan bruges til kortlægning af ønskede objekttyper, uden at man på forhånd behøver at skabe træningsdata. Værktøjet tager udgangspunkt i teknologien bag Alexandra Instituttets tidligere projekt "Geovisual search".

Den rumbaserede løsning

Med ortofotos fra fly eller VHR-satellitfotos vil det være muligt at foretage den førnævnte kortlægning/tælling eller segmentering af forskellige objekttyper.

Dette gøres ved at dele datasættet ind i en masse små udklip, som hver især køres i et såkaldt ResNet-netværk, som er trænet til at kunne kende forskel på 1.000 forskellige objekter i et datasæt kaldet ImageNet. I stedet for at bruge den endelige klassifikation piller vi for hvert udklip en såkaldt descriptor ud fra netværket, som består af 2.048 tal. For at spare hukommelse og reducere beregningsbyrden har vi trænet en såkaldt autoencoder, som er et neuralt netværk, der kan komprimere de 2.048 tal til 512 bit. Efter dette kan de 48 millioner billedudklip fra ortofoto-datasættet sammenlignes med et nyt udklip på under 80 millisekunder.

Baseret på søgningsteknologien har vi udviklet en prototype på en brugergrænseflade, der muliggør, at søgeresultaterne forfines interaktivt på baggrund af resultaterne fra adskillige søgninger. Herefter kan søgningsresultaterne omsættes til et polygonlag, der viser en kortlægning af de ønskede objekttyper. Kortlægningsmetoden er afprøvet i Københavnsområdet på blandt andet træer, se figur 1.

Den foreslåede metode kan bruges til hurtigt at annotere groundtruth-segmenteringskort for maskinlæring på Sentinel-2-billeder, enten ved at bruge ortofotos eller VHR-satellitbilleder som sekundære data eller direkte på Sentinel-2 for storskala-typologier såsom land-use eller habitat mapping.

For borgeren i København

Med udgangspunkt i et vektordatasæt bestående

Figur 1: Eksempel på resultat fra trædetektionsanalyse. Øverste billede viser området, nederste viser resultat fra algoritmen.

af positioner af individuelle træer på offentlige arealer har vi lokaliseret/talt individuelle træer andre steder i billedet (f.eks. i private haver). Ved hjælp af deep learning træner vi et såkaldt keypoint-estimeringsnetværk, som kan markere midten af hvert enkelt træ med en prik – dog vil vi sikre os, at vi ikke under træningen viser data med træer, som ikke er markeret. Med ovenstående metodik kan vi bruge groundtruth-datasættet til at generere træningsdata, der indeholder træer, som har markeret midten, samt bruge kortlægningen til at generere træningsdata, som ikke indeholder træer.

Efter afprøvning af metoden har det dog vist sig, at netværket overser for mange træer til, at vi vurderer, at det er brugbart, og der er brug for mere tid til at undersøge, hvordan dette kan afhjælpes.

Fremtidsudsigt

Den interaktive forfiningsmetode, som er beskrevet ovenfor, er implementeret i en prototype, som er meget "håndholdt". Det vil sige, at den kræver, at man er "ekspertbruger" i systemet, og det kører pt. også kun på én computer. Over tid vil proceduren blive webbaseret og dermed en mere brugervenlig udgave af systemet.

Figur 2: Resultat af trædetektion kørt på hele København.

Temperaturen af havoverflader i Østersøen, Kattegat and Skagerrak

Dette billede viser havoverfladetemperatur i Østersøen, Kattegat og Skagerrak d. 16 august midt i den meget varme sommer i 2020. Langs kysten af Sverige, Polen og Lithauen blev der målt overfladetemperaturer over 24°C og flere steder i Kattegat måltes omkring 22°C. Disse målinger fra DMI viser en temperatur annomali på cirka 3-4°C i forhold til referenceperioden 1985-2003.

Copernicus Sentinel-3 er udstyret med et radiometer med navnet SLSTR og kan måle overfladetemperaturer globalt.

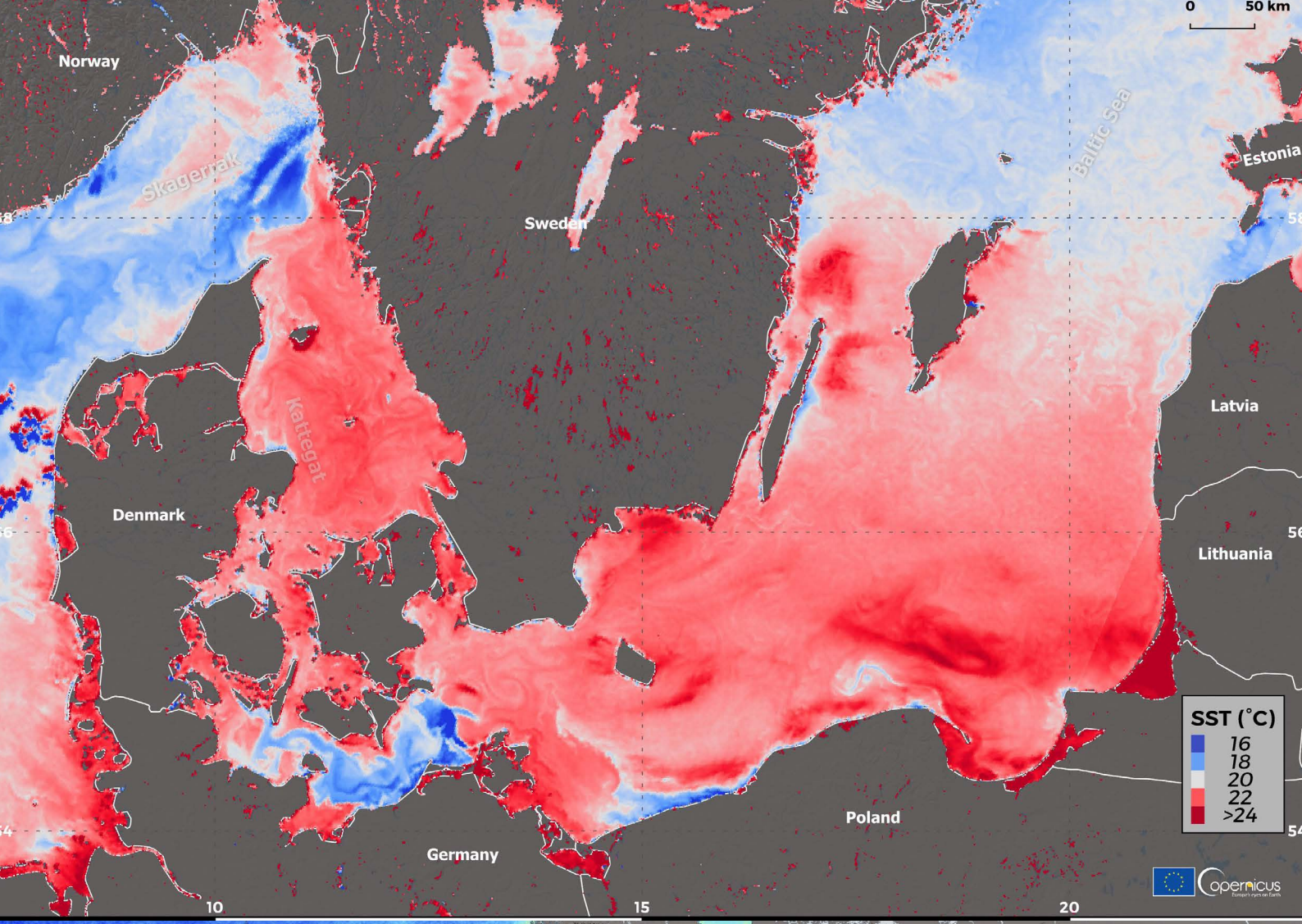
Kilde: European Union, Copernicus Sentinel-3 imagery.

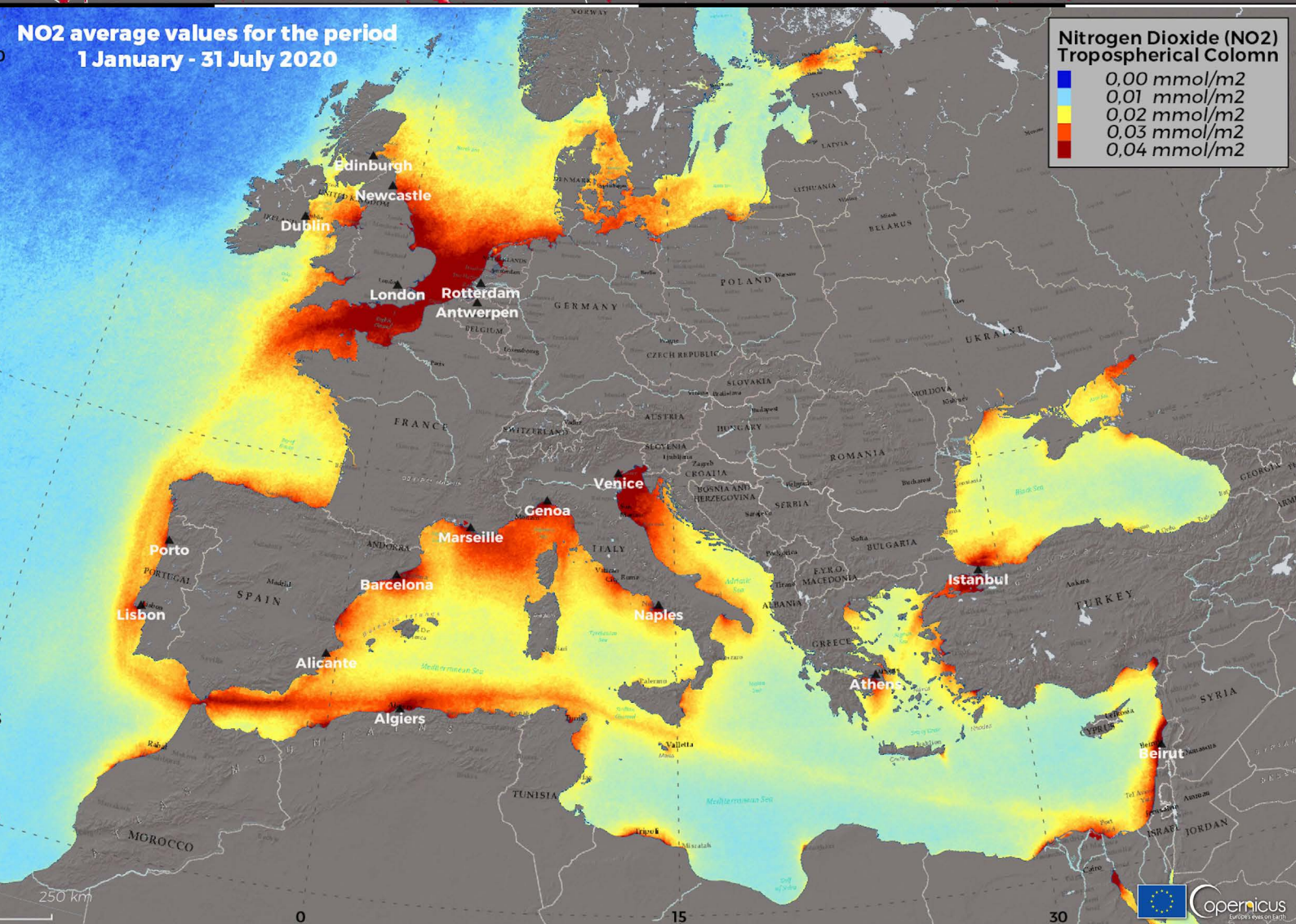
Udledningen fra skibsfart set fra rummet

Skibsfart påvirker luftkvaliteten gennem udledning af svovldioxid, nitrogenoxid, CO2 og partikelforurening. I de senere år er udledningen af drivhusgasemmissioner fra skibe ifølge IMO steget med 9.6% fra 2012 til 2018. Billedet viser Tropospheric Nitrogen Dioxide (NO2) målinger fra Copernicus Sentinel-5P mellem januar og juli 2020 over EU.

Ved hjælp af TROPOMI instrumentet på satellitten, er det muligt at overvåge skibsruter med en rumlig opløsning på 7,5 x 3,5 Km, hvilket er en forbedring fra tidligere missioner.

Kilde: European Union, Copernicus Sentinel-5P imagery.


Norway
Skagerrak
Sweden
Baltic Sea
Estonia
Latvia
Kattegat
Denmark
Lithuania
Poland
Germany
SST (°C)
16
18
20
22
>24
0
50 km
10
15
20


NO2 average values for the period
1 January - 31 July 2020
Nitrogen Dioxide (NO2)
Tropospherical Colomn
0,00 mmol/m2
0,01 mmol/m2
0,02 mmol/m2
0,03 mmol/m2
0,04 mmol/m2
Edinburgh
Newcastle
Dublin
London
Rotterdam
Antwerpen
Venice
Genoa
Marseille
Porto
Barcelona
Lisbon
Naples
Istanbul
Alicante
Athens
Algiers
Beirut
250 km
0
15
30

Jordobservationsdata til forebyggelse og tilpasning i urbane områder

Jordobservationsdata er en grundsten til at monitorere urbane landskaber og kan bruges til effektivt at vurdere risiko, modstandsdygtighed og indvirkninger forårsaget af klimaforandringer.

Mads Christensen [A], Emil Møller Rasmussen [B]

A: DHI GRAS B: Københavns Kommune

Udfordringen

Skiftende klima er umiskendeligt en af de største trusler, som vores miljø, økosystemer og socio-økonomiske strukturer står over for. Og få steder er kampen mod klimaforandringer for at modvirke deres konsekvenser så synlig som i bymiljøer.

Med en fremtid, der lover mere regn, højere havvandstand og varmere temperaturer, er bymiljøer særligt udsatte for klimaforandringernes konsekvenser. Byplanlæggere og politikere står derfor over for en udfordring med at øge byers modstandsdygtighed mod klimaskabte konsekvenser og samtidig reducere udledningen af drivhusgasser.

Da klimaforandringerne er en af vores samfunds største udfordringer, er evnen til at beskytte vore byer i dette skiftende klima stærkt afhængig af data af høj kvalitet.

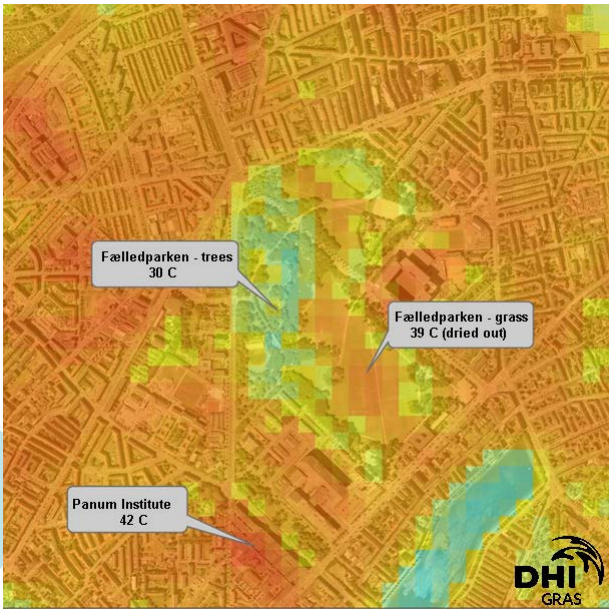
Den rumbaserede løsning

Jordobservationsdata er en uundværlig samt teknologisk moden kilde til at monitorere parametre, der er relevante for klimaforandring i byer. Satellitter bidrager med en unik mulighed for at indsamle store mængder miljøinformation om de fysiske, kemiske og biologiske dynamikker inden for urbane områder.

Satellitdata kan bl.a. bruges til at måle temperaturforskelle i bymiljøer, forårsaget af den såkaldte varmeø-effekt, hvilket kan give byplanlæggere et værktøj til at allokere vegetation og befæstede områder på en mere hensigtsmæssig måde med henblik på at reducere store temperatursvingninger inden for byer.

> **Københavns Kommune har anvendt satellitdata til at monitorere varmeø-effekt i byen. Dette har givet planlæggere information om, hvilke områder i byen der har brug for at få sat ind med varmereducerende initiativer, f.eks. ved at anlægge nye grønne arealer.**
>
> *Emil Møller Rasmussen, Københavns Kommune*

Befæstede overflader og vegetationsdække kan også monitoreres og kortlægges ved hjælp af jordobservationsdata, hvilket kan give en metode til at modellere overfladeafstrømning samt forudsige og håndtere områder, der er særligt udsatte for oversvømmelser, til brug i klimatilpasningsplaner.



Udtræk fra satellitbaseret kort over temperaturer i København, Danmark. Kortet viser, hvilken indflydelse grønne arealer har på overfladetemperaturer.

Monitorering af overfladevandsdynamikker samt frekvens af oversvømmelser i det sydlige København.

Fordele for borgeren

Jordobservationsdata er mere præcise og mere tilgængelige end nogensinde, og Copernicus-programmet tilbyder gratis højtopløselige data med en høj rumlig, spektral og tidslig opløsning, hvilket er særligt attraktivt for anvendelser i urbane miljøer.

Satellitdata er homogene, hvilket betyder, at det er en omkostningseffektiv metode til at evaluere den tidslige og rumlige udvikling af bymiljøer til en brøkdel af prisen på mere traditionelle in situ-data.

Muligheden for at følge og monitorere udviklingen af grønhed, temperatur og andre relevante klimaparametre giver også mulighed for at udvikle objektive metoder, der kan bruges af byplanlæggere og beslutningstagere til at skabe grønnere, mere bæredygtige og mere beboelige byer.

Da det forventes, at temperaturerne stiger i fremtiden, vil evnen til at kortlægge varmeøer i byer samt monitorere forandringer i vegetationsdække give byplanlæggere et værktøj til på bedre vis at planlægge udviklinger i grøn infrastruktur til at modvirke disse førnævnte forandringer i temperatur som følge af klimaforandringerne.

Fremtiden

Muligheden for at monitorere byer i høj rumlig opløsning med regelmæssige opdateringer er essentiel for, at planlæggere og klimatilpasningsmedarbejdere kan arbejde mere målrettet. Gratis data fra Sentinelsatellitterne vil fortsat bidrage til at udvide mulighederne for analyser og værktøjer målrettet understøttelse af beslutningstageres tiltag for at modarbejde klimaforandringerne.

Fremtidige Copernicuskandidatmissioner såsom Land Surface Temperature Mission (LSTM) er yderst relevante som et fremtidigt værktøj til at monitorere temperaturvariation og vandanvendelseseffektivitet i en endnu højere rumlig og tidslig opløsning.

Anerkendelser

Vi vil gerne takke Københavns Kommune for muligheden for finansiering samt for at kortlægge og beskrive "varmeø-effekten" i København. Derudover vil vi gerne sige tak til Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning ved Københavns Universitet for dets støtte og samarbejde.

Kommunale NDVI-anvendelser

Hvordan kan analyser baseret på satellitbilleder bruges til at understøtte arbejdsgangen i en kommunal forvaltning?

Emil Møller Rasmussen, Københavns Kommune

Udfordringen

I flere byer verden over er der en stigende interesse for at have adgang til grønne arealer. Der er derfor et øget fokus på at bevare og udvide de grønne arealer, der findes i byer.

København skiller sig ikke ud på denne parameter, og byens borgere er derfor meget optaget af, hvor grøn byen er. Derfor er det et vigtigt emne for byens politikere og den politiske forvaltning. Konkret udmønter dette sig i, at byens planlæggere øger deres fokus på kortlægning og analyse af byens grønne strukturer.

Den rumbaserede løsning

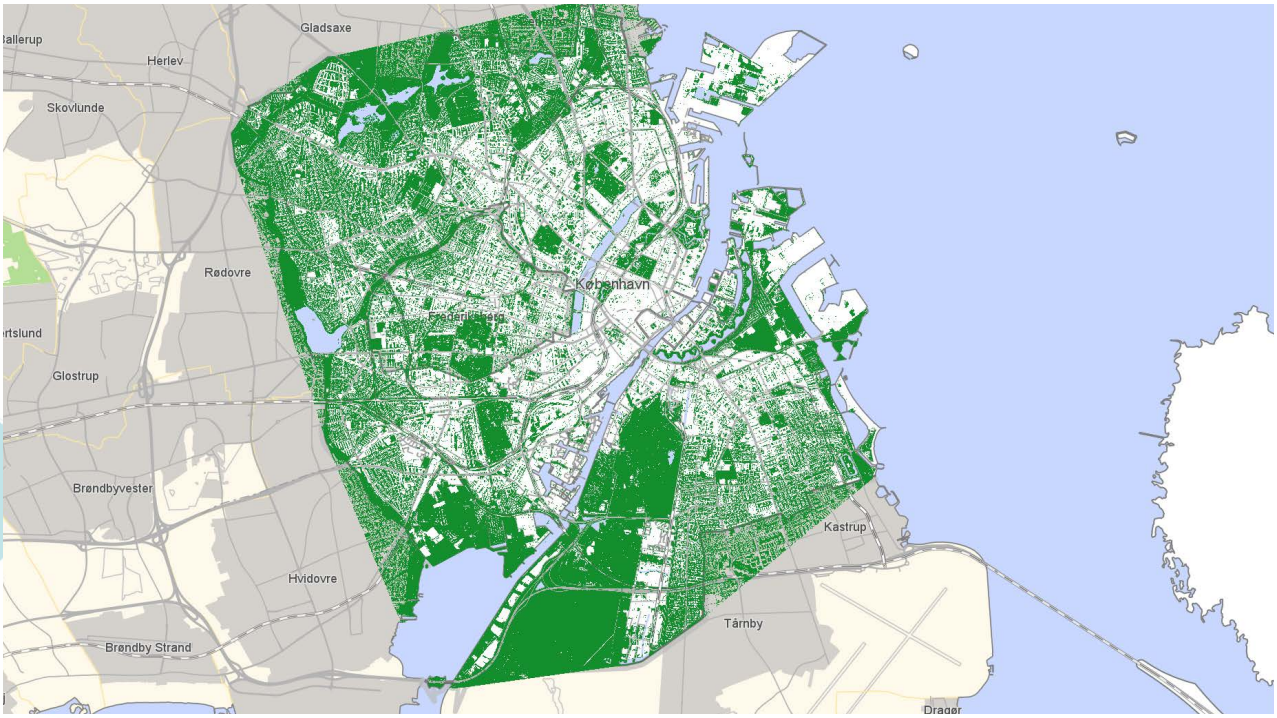
Copernicus-programmets øgede muligheder for at tilgå billeder af København fra rummet har muliggjort, at denne datakilde nu kan bruges som et analysegrundlag på lige fod med andre mere "traditionelle" datakilder.

En af fordelene ved et satellitbillede er, at man er sikret konsistens og ensartethed, hvorimod det ofte kan være svært at være sikker på resultaterne, når man kombinerer forskelligartede datasæt.

Derudover betyder det tidslige aspekt, dvs. at satellitten vender tilbage til det samme sted med et regelmæssigt interval, at det er muligt at opstille en analysemodel og så køre den samme tid hvert år eller på samme måde på forskellige billeder, hvilket kan bidrage til at skabe indsigt på en ny og mere ensartet måde.

København set med en Sentinel-2-satellit. Billedet er klippet til byens officielle grænser.

Satellitbilleder kan bruges som grundlag for en lang række analyser, herunder at analysere mængden og tilstedeværelsen af vegetation i det fotograferede område. Dette gøres ved hjælp af et såkaldt Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).



Resultatet af en NDVI-analyse. Arealer med vegetation træder frem og er her farvelagt med en grøn farve.

NDVI er en velkendt og bredt anvendt metode, der ved indtastning af relativt få parametre giver et overblik over, hvor der findes vegetation i et billede. Overordnet fungerer analysen ved at anvende det røde og nærinfrarøde bånd i satellitbilledet. Ved at skabe et normaliseret indeks for forskellen mellem det røde og nærinfrarøde bånd kan man få plantevækst til at stå frem. Disse informationer kan så bruges enten som direkte data eller til at videreanalysere for at give en mere detaljeret indsigt.

For borgeren i København

Resultaterne fra NDVI-analysen kan bruges til flere problemstillinger. Først og fremmest kan data bruges til at skabe et overblik over de faktiske forhold for vegetation i København. NDVI-analysen er brugt til at skabe et overblik over, hvordan vegetation rent faktisk fordeler sig i København. Derudover er informationerne fra NDVI-analysen konverteret til statistiske data, som derefter kan bruges til at fortælle mere præcist om placeringen af vegetationsforekomster, herunder hvordan den fordeler sig på bydele og kvarterer.

Yderligere indsigt kan skabes ved at kombinere NDVI-data med nye og andre datakilder. Dette kan f.eks. være at kombinere det med andre inddelinger af byen såsom vejtyper. Helt konkret bliver dette til en oversigt over, hvor stor en del af forskellige strøg og gader i København, der indeholder vegetation, herunder hvor meget.

Disse analyser kan afslutningsvis kombineres med analyser af tidsserier, hvilket skaber indsigt i, hvor og hvordan byens grønne strukturer har udviklet sig over tid.

Fremtidsudsigter

Satellitdata er stadig ikke bredt anvendt, på trods af de landvindinger der er forekommet med hensyn til brugervenlighed og tilgængelighed, men disse analyser af vegetation viser, at denne nye datakilde kan indgå som en naturlig del af den kommunale opgaveløsning.

Derfor er det nødvendigt, at kommunale interessenter bliver bedre til at dele erfaringer, skabe netværk og belyse værktøjer, som kan gøre arbejdet med materialet nemmere. I takt med at flere kommuner begynder at få knækket satellitkoden, vil der ikke være tvivl om, at satellitdata på længere sigt vil indgå som en naturlig datakilde i den kommunale opgaveløsning.

Urbane dynamikker set fra satellit

Deep learning og satellitdata udgør en effektiv metode til at monitorere urbane flows samt observere forandringer i urbane miljøer i nær realtid.

Mads Christensen [A], Emil Møller Rasmussen [B]

A: DHI GRAS B: Københavns Kommune

Udfordringen

Befolkningen i byer bliver ved med at vokse, og byernes udbredelse bliver tilsvarende større. Derfor står lokale myndigheder over for en udfordring med at håndtere disse udviklinger i et konstant foranderligt miljø. Data og information om urbane områder er ofte utilstrækkelige, generaliserede, forældede eller simpelthen ikke eksisterende.

For at måle, analysere og forstå de indbyrdes dynamikker og forandringer i urbane miljøer er rumlig information essentiel. Selvom eksisterende IOT-løsninger, overvågning og tolkning af flyfotos og satellitbilleder giver mulighed for at vurdere urbane dynamikker, er de også ressourcekrævende, omkostningsfulde og ude af stand til at give et sammenfattende overblik over urbane miljøer i deres helhed. Der er altså brug for mere ensartet, automatisk og sammenhængende monitorering af de dynamiske flows i byer for at sikre, at myndighederne får adgang til opdateret information, som de kan bruge til på bedre vis at redesigne de urbane miljøer, både smartere, grønnere og mere bæredygtige.

Den rumbaserede løsning

Deep learning-teknologi har øget potentialet for anvendelse af satellitbilleder i urbane miljøer.

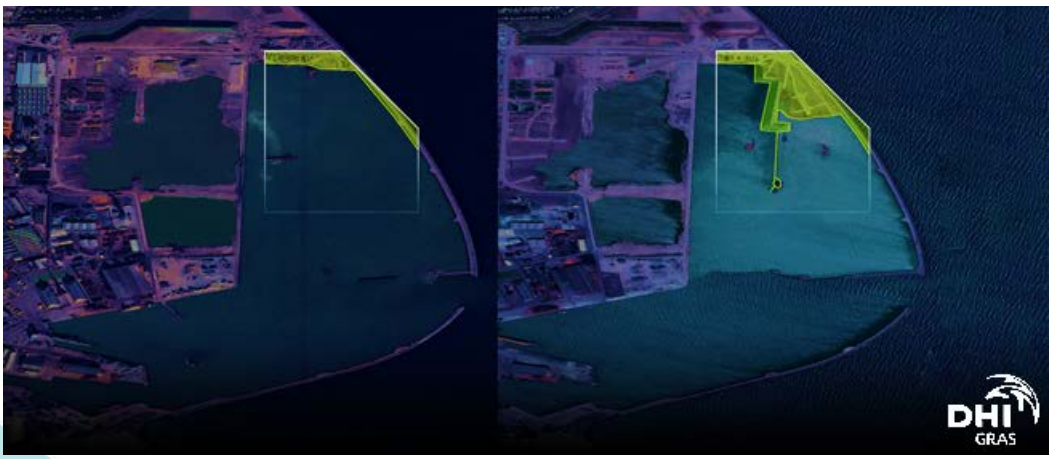
Deep learning-algoritmer kan genkende mønstre, former og kontekst i billeder, og disse kan anvendes til at kortlægge forskellige relevante objekter og dermed øge muligheden for systematisk at genkende objekter og forandringer i bylandskabet.

Kort sagt har deep learning-algoritmer muliggjort detektionen af objekter som biler, trækroner, hustage, vinduer, solpaneler, svømmebassiner etc. med høj præcision og kort leverancetid, mens de kun kræver en lille mængde træningsdata, selv for større områder.

Ved at anvende en deep learning-baseret tilgang til systematisk at processere og beskrive højfrekvente/højopløsningssatellitbilleder (herunder Sentinel og Very High Resolution missioner) kan byplanlæggere og myndigheder koble sig på en nær realtids-sporing af urbane dynamikker, hvilket giver mulighed for at foretage beslutninger på et bedre og mere oplyst grundlag.

Fordele for borgere

Detaljeret og opdateret geografisk information er en essentiel komponent for bedre byplanlægning og monitorering. Anvendelsen af højtopløselige satellitdata og deep learning-algoritmer bidrager med en objektiv tilgang til at effektivisere og auto-



Monitorering af fremskridt af byggeaktiviteter ved anvendelse af automatisk "change detection". Foretaget på et satellitbillede med meget høj opløsning i Køge havn.

matisere billedanalyse med henblik på at monitorere byer mere holistisk og i stor skala, hvilket giver en effektiv platform for at kunne følge urbane dynamikker og sikre opdateret og nøjagtig information om urbane forandringer og bevægelser. Den øgede indsigt i urbane flows og øgede forståelse for, hvordan borgere anvender urbane landskaber, vil gøre myndigheder og planlæggere i stand til at reagere hurtigere og smartere samt foretage mere informerede beslutninger omkring bypolitik og de strukturelle forandringer og dynamikker, der gør sig gældende i bymiljøer. Dette kan understøtte en mere bæredygtig udvikling af byer, der vil gøre dem mere beboelige, produktive og inkluderende.

> **"Vi har brugt satellitbilleder fra DHI GRAS til rutineundersøgelser såvel som opfølgning og kvalitetssikring af byggearbejder i kommunen. Data var nemme at bruge og omkostningseffektive. Desuden gav de en god dokumentation af udviklingen i kommunens projekter.**
>
> *Steen Muchitsch, Køge kommune*

Fremtiden

Deep learning-algoritmer er først for nylig blevet anvendt som en effektiv tilgang til at ekstrahere information fra satellitbilleder. Teknologien er stadig ny, og fremtiden vil bringe flere væsentlige spring i anvendelsen af deep learning-metoder til at analysere jordobservationsdata.

Desuden vil den teknologiske udvikling i rumbårne sensorsystemer såsom tilgang af videodata optaget fra rummet samt den hastigt stigende mængde af højtopløselige sensorsystemer yderligere facilitere forbedrede muligheder for at følge flows i byen i nær realtid. Det vil potentielt også reducere nødvendigheden af at foretage in situ-observationer af trafikmønstre og andre relevante dynamikker.

Monitorering af biler ved hjælp af satellitbilleder med høj opløsning og deep learning.

Anerkendelser

Vi vil gerne takke AirBus og DigitalGlobe for at levere very high resolution-data. Desuden vil vi gerne takke Køges og Københavns kommuner for deres langsigtede engagement, samarbejde og support.

Landbrugskontrol med Sentinel

Landbrugsstyrelsen bruger tidsserier af Sentinel-satellitbilleder til at detektere landbrugsaktiviteter på alle marker i Danmark. På den måde kan landbrugskontrollen udføres uden et fysisk kontrolbesøg på bedriften. Det giver øget fleksibilitet for begge parter.

Sanne Eskesen [A], Lotte Nyborg [B]

A: Landbrugsstyrelsen B: DHI GRAS

Udfordringen

Hvert år udfører Landbrugsstyrelsen kontrol af, om de danske landbrugere overholder betingelserne for at få udbetalt landbrugsstøtte. Dette udføres traditionelt ved fysiske kontrolbesøg hos en procentdel af ansøgerne. Det er en omkostningstung og tidskrævende proces for både Landbrugsstyrelsen og landbrugeren. Ofte vil et enkelt besøg ikke være nok, da forskellige landbrugsaktiviteter kan finde sted i løbet af året. For at nedsætte antallet af kontrolbesøg har Landbrugsstyrelsen fastlagt perioder, hvor forskellige landbrugsaktiviteter skal finde sted.

Med avanceret analyse af satellitbilleder kan man se, om landbrugeren lever op til kravene. Derfor arbejder styrelsen på i højere grad at kunne anvende satellitdata som et led i kontrollen. Det forventes, at det kan føre til færre kontrolbesøg og mere fleksible frister for landbrugerne.

Hvordan er satellitdata anvendt

Ved hjælp af landsdækkende tidsserier af Sentinel-1 og Sentinel-2 kan samtlige marker i Danmark monitoreres. Særligt aktiviteter, der resulterer i en markant ændring af markens overflade, som f.eks. pløjning eller slåning, kan ses som et udslag i tidsserien af satellitbaserede observationer. Det er derfor ikke det enkelte billede, men en tidsserie af observationer for en mark, der oftest giver værdi. Tidsserier af Sentinel-1- og Sentinel-2-data processeres og analyseres baseret på avancerede "machine learning"- teknikker og tidsserieanalyser for at identificere tidspunkter for hændelser såsom pløjning, slåning og høst samt til kortlægning af afgrøder.

Processeringen er baseret på et avanceret system til præ-processering udviklet af DHI GRAS, som downloader og processerer alle Sentinel-1 og -2-tidsserier for hele Danmark. Alle data og resultater, som dækker over markområder, bliver efterfølgende lagret i en database. Endelig bliver resultaterne fra de enkelte analyser og applikationer visualiseret i en brugervenlig web-viewer, hvor Landbrugsstyrelsen kan se data-tidsserierne og evaluere resultaterne.

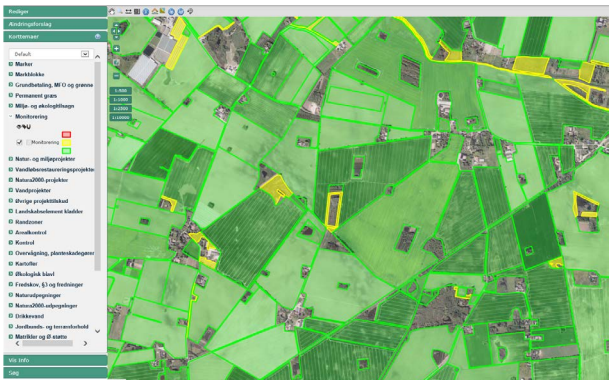
> **Jeg synes, at det er en god hjælp, at man kan følge sine marker, eventuelt gå fra gul til grøn, som jeg har gjort.**
>
> *Anders Gade, deltidslandbruger*

Anvendelser og fordele

Indtil nu har disse satellitobservationer været brugt til at lede Landbrugsstyrelsens kontrollører på sporet af bedrifter, hvor støttebetingelserne ikke er overholdt. Et initiativ fra EU-kommissionen har nu gjort det muligt at benytte Sentinel-satellitbilleder som grundlag for kontrol. På den måde kan Landbrugsstyrelsen fremover udføre kontrollen primært ved brug af observationer fra Sentinel.

Kortlægning af afgrødetyper, eksempel fra Horsens. Kilde: Sentinel-2

For at landbrugerne kan følge med i, om der er registreret en aktivitet på deres marker, udstilles der løbende resultater for alle marker på Landbrugsstyrelsens hjemmeside. Disse vises som et kortlag, hvor godkendte marker farves grønne, og underkendte marker farves røde. Gul angiver, at der ikke foreligger et entydigt resultat for marken. Hvis konklusionen på baggrund af satellitanalysen er fejlagtig, er det planen, at landbrugeren får mulighed for at tage et georefereret billede af sin mark og sende det til Landbrugsstyrelsen via en app.



Trafiklyskort for monitorerede marker fra Landbrugsstyrelsens web GIS IMK (internet markkort).

Perspektiver og muligheder

Som reglerne er i dag, er der stadig støttebetingelser, som ikke vil kunne kontrolleres med satellit. Med den nye landbrugsreform vil man kunne tænke den nye satellitbaserede kontrol ind allerede ved udformning af reglerne. På denne måde vil støttebetingelserne kunne udformes, så de i højere grad kan detekteres fra en satellit. På denne måde vil kontrollen fremadrettet blive smartere, men der vil også kunne fokuseres på større systematiske overtrædelser af reglerne i stedet for at lægge ressourcer i opmåling af mindre arealer, der i sidste ende ikke har de store økonomiske konsekvenser. Det forventes også, at gennemsigtigheden, hvor trafiklyskort viser status på Landbrugsstyrelsens kontrol, vil have en "nudging"-effekt, så der ikke søges støtte til arealer, hvor betingelserne ikke er overholdt.

Referencer og partnere

DHI GRAS og NEO B.V. er specialiseret i processering og analyse af satellitdata og har igennem de sidste år arbejdet målrettet sammen med Landbrugsstyrelsen for at udvikle dedikerede analyseværtøjer til landbrugskontrol. Samarbejdet fortsætter i 2020.

Klassifikation af invasive plantearter

Invasive plantearter kan udkonkurrere den naturlige vegetation, og derfor ønskes de bekæmpet. Satellitdata kan være en hjælp til kortlægningen af disse plantearter.

Casper Samsø Fibæk, NIRAS

Udfordringen

Invasive plantearter er arter, som dukker op i områder, hvor de ikke naturligt forekommer, og som har en negativ påvirkning på de oprindelige planter og dyr.

På grund af de negative effekter ønsker myndighederne, både på internationalt og nationalt plan, at bekæmpe de invasive plantearter.

Et uundværligt led i bekæmpelsen er selve udpegningen af de invasive plantearters tilholdssteder, gerne hurtigt efter at de har etableret sig for at undgå yderligere spredning. Traditionelt set foregår udpegningen manuelt ved in situ-observationer, men det har sine ulemper i forhold til tidsforbrug, svært tilgængelige områder og det begrænsede areal, som det rent praktisk er muligt at gennemsøge.

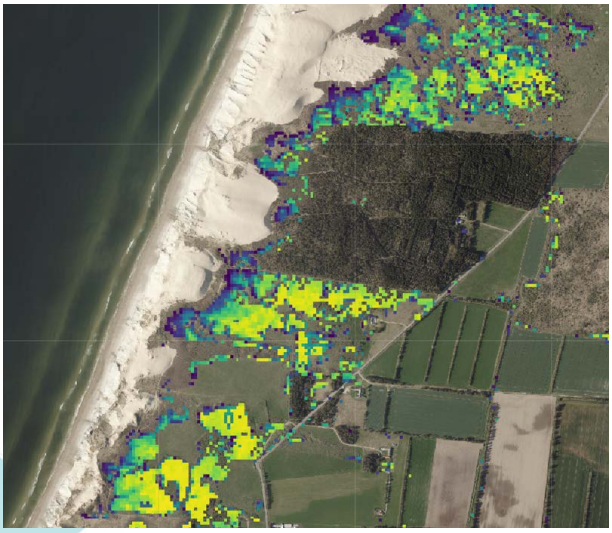
Med satellitdata er der et potentiale til at lave en landsdækkende kortlægning af udvalgte invasive plantearter. I dette projekt blev potentialet for kortlægning af to invasive arter (rynket rose og gyldenris) undersøgt i fem mindre regioner i Jylland.

Hvordan er satellitdata anvendt

Sentinel-2 data blev anvendt til at identificere rynket rose og gyldenris på baggrund af plantearternes specifikke spektrale signaturer og fysiologi. Rynket rose har en særegen spektral signatur året rundt, og gyldenris har en karakteristisk gul farve i sensommerens blomstringsperiode. Begge plantearter spreder sig i større plamager i landskabet, hvilket gør det muligt at udpege dem med Sentinel-data, som har en opløsning på 10 x 10 m.

Den spektrale analyse af Sentinel-2 data indgik sammen med observerede forekomster af de to plantearter samt øvrige relevante parametre (jordarter, grundvandsstand, vegetationshøjde, terrænhældning samt nærhed til kyster og skove) i træning af en machine learning-algoritme. I samarbejde med biologer blev der dannet en planteprofil, som blev kombineret med Sentinel-2-data. Resultatet var en klassifikation af områder med hver af de to invasive plantearter, og områderne blev yderligere inddelt i konfidensintervaller, alt efter hvor sikkert resultatet blev vurderet af algoritmen.

Invasive plantearter. Øverst: Rynket rose. Nederst: Gyldenris.



Klassifikation af rynket rose. "Sikkerheden" af klassifikationen er angivet på en skala fra gul til blå, med blå som det mest sikre.

> **Kortlægning ved hjælp af satellitdata kan være et nyttigt værktøj til at få et helhedsbillede af en arts nationale udbredelse og derved hjælpe til, at vi får tilrettelagt en passende forvaltning af arten.**
>
> *Josefine Møller, Miljøstyrelsen*

Metoden viste sig særligt anvendelig til at udpege større forekomster af rynket rose.

Anvendelser og fordele

Kortlægningen af invasive plantearter kan hjælpe myndighederne i arbejdet med at bekæmpe arterne. Man kan få et overblik over de eksisterende forekomster, men ved gentagne analyser kan man også finde ud af, hvor der sker en spredning.

Metoden kan ikke siges at være sikker helt ned på celle-niveau, men på lidt større og tætte bestande er resultaterne overbevisende. Desuden kan kortlægningen fungere som et godt udgangspunkt til udpegning af områder, hvor det vil være hensigtsmæssigt at undersøge forekomsten af bestande nærmere.

Generelt set kan den øgede viden om plantearternes placering og spredning gøre bekæmpelsen mere fokuseret, hvilket vil spare samfundet for både tid og penge.

De bedre forudsætninger for bekæmpelse af invasive plantearter kan forbedre betingelserne for de oprindelige plantearter og for de dyr, hvis livsgrundlag er baseret på de oprindelige planter.

Perspektiver og muligheder

Pilotprojektet her viser, at der er et potentiale for at lave en national kortlægning af rynket rose og gyldenris.

Rynket rose og gyldenris var udvalgt til pilotprojektet, da de har nogle særligt genkendelige karakteristika, og de forekommer i større bestande. Der kan dog også være potentiale i klassifikation af andre plantearter.

I takt med at der bliver mere data tilgængeligt, vil man kunne fodre machine learning-algoritmen med disse data og derved forbedre nøjagtigheden af klassifikationen.

Det kunne desuden være en mulighed at udvikle klassifikationen med en tidslig dimension, så man f.eks. gentager analysen flere gange over en hel sæson. Sammenholdt med viden om plantearternes sæsonbetonede ændringer kan det potentielt forbedre nøjagtigheden af klassifikationen og evt. åbne op for klassifikation af andre plantearter.

Referencer og partnere

Dette pilotprojekt blev udført for Miljøstyrelsen.

Tak til Copernicus-programmet for indsamling af Sentinel-data og for at gøre det offentligt tilgængeligt.

Satellitdata til udvikling af intelligente løsninger til præcisionsjordbrug

Med et fokus på landbruget udvikler vi løsninger til processering og analyse af vejr- og satellitdata ved hjælp af machine learning og computer-vision.

Jakob Kragelund Larsen, FieldSense

Udfordringen

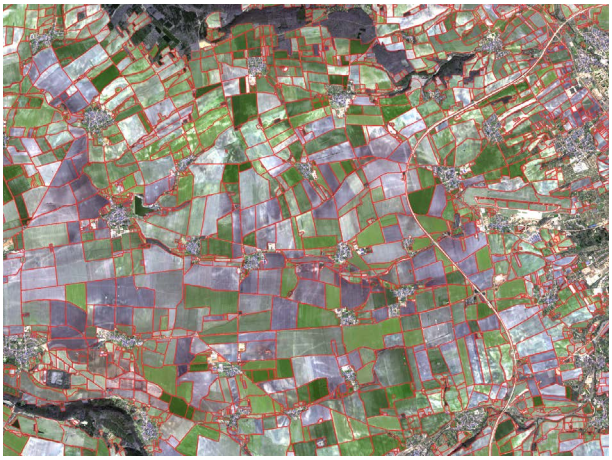
Et globalt stigende befolkningstal samt en efterspørgsel på mere mad udgør et akut behov for optimering i landbruget. Som et svar på dette og som en følge af den fjerde industrielle revolution er kunstig intelligens og Big Data på vej ind i landbrugssektoren og revolutionerer en ellers traditionel beskæftigelse. Med sin ekspertise inden for Big Data management, kunstig intelligens, machine learning og computervision udvikler FieldSense forskellige løsninger, der integrerer disse teknologier i landbrugssektoren.

> **Præcisionsjordbrug er kommet for at blive, og jeg kan helt klart se værdien i at bruge FieldSense.**
>
> *Poul Jakob Bønløkke, Lyngbygård*

For at det kan lykkes, anvender FieldSense vejrdata fra sit voksende netværk af selvproducerede vejrstationer samt satellitbilleder fra Copernicus-programmet.

Hvordan er satellitdata anvendt

FieldSenses kerneprodukter er machine learning-løsninger udført på satellitbilleder fra Sentinel-2 og Landsat-8 satellitterne. De rå satellitdata bliver behandlet gennem en intern proces, der bl.a. optimerer billedkvaliteten og fjerner skyer og skyskygger. Baseret på disse opgraderede satellitdata er forskellige kunstig intelligens-løsninger blevet udviklet såsom automatisk objektdetektering (f.eks. marker og markgrænser, siloer og søer), anomali-detektering (f.eks. afvigelser i den forventede afgrødevækst over tid) samt afgrødetype-detektering.



FieldSenses neurale netværk detekterer markgrænser i Tyskland.

Mange af disse løsninger er integrerede i FieldSenses FieldSense-platform, der er målrettet landmænd og planteavlskonsulenter. FieldSense er en softwareløsning, der giver landmænd mulighed for at overvåge deres marker med biomassekort, en korttype, der udregner NDVI-værdien ud fra satellitbilleder. På denne måde hjælper FieldSense med beslutningsstøtten i marken og tilbyder forskellige værktøjer såsom graduerede tildelingskort til gødning og plantebeskyttelse samt afgrødebenchmarking på tværs af marker. Grundet de frit anvendelige satellitdata fra Sentinel-2 og Landsat8 tilbyder FieldSense sine løsninger i hele verden og har analyseret over 500 millioner hektar dyrkningsjord.

Anvendelser og fordele

FieldSenses løsninger tilbyder forskellige fordele for forskellige interessenter. Landmænd kan gennem FieldSense overvåge tilstanden i deres marker ved hjælp af satellitbilleder og lokale vejrstationer og kan derved opdage problemområder og prioritere deres arbejde. De kan også oprette tildelingskort, der både skåner landmandens pengepung og miljøet.

Mange af de features, der er integreret i FieldSense, tilbydes også af FieldSense som produkter i sig selv. Et eksempel er automatisk markgrænsedetektering: FieldSense har udviklet et neuralt netværk, der automatisk identificerer markgrænser på satellitbilleder overalt i verden. Flere og flere virksomheder tilbyder præcisionsjordbrugssoftware til landmænd, men har svært ved at få brugere til at anvende deres programmer, ofte fordi det tager for lang tid eller er for besværligt at komme i gang med (f.eks. fordi landmanden manuelt skal tegne sine markgrænser ind i programmet). Ved at integrere FieldSenses løsninger i deres programmer vil disse virksomheder få nemmere ved at tiltrække og fastholde brugere.

Perspektiver og muligheder

Selvom FieldSense i øjeblikket fokuserer på agro-tech-sektoren, har flere virksomheder fra andre områder vist interesse for FieldSenses produkter: fra forsikringsfirmaer, der vil overvåge ændringer i infrastruktur, til miljøorganisationer, der holder øje med illegal skovrydning. Kun fantasien sætter grænserne for anvendeligheden af satellitbaserede AI-løsninger.

Biomassekort af to marker i FieldSense. Østjylland, Danmark.

Referencer og partnere

FieldSense har modtaget midler fra:

- Innovationsfondens InnoBooster- og Erhvervs-ph.d.-programmer.
- Landbrugsstyrelsens Grønt Udviklings- og Demonstrationsprogram (GUDP).
- EU's H2020-program.

Satellitbaseret kortlægning af vand på marker

Satellitdata er en tidslig og omkostningseffektiv kilde til at identificere og kortlægge vandlidende marker.

Stinna Susgaard Filsø [A], Lotte Nyborg [B]

A: SEGES B: DHI GRAS

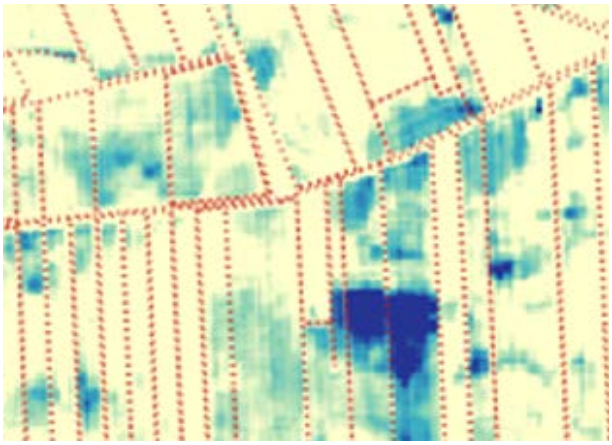
Udfordringen

Siden man i 1870'erne begyndte at registrere nedbør i Danmark, er årsnedbøren på landsplan steget med ca. 100 mm, så vi årligt får 10 % mere nedbør. Samtidig falder nedbøren mere intenst end tidligere. Det giver store problemer med oversvømmede og våde marker. På oversvømmede eller våde marker må såning af afgrøder typisk udskydes, fordi jorden er for våd og kold til at understøtte spiring og vækst. Afgrøderne får en dårligere rodudvikling, som giver tab af udbytte samt tab af uudnyttet kvælstof. Det er dermed essentielt for landmanden at have en velafvandet jord for at få en optimal produktion og mindske miljøbelastningen fra landbrugsjorden. For at landmanden kan imødegå oversvømmelser er det nødvendigt med et kendskab til omfanget af berørte arealer med afvandingsproblemer. Sådant overblik er svært og tidstungt at skabe sig fra landjorden. Her leverer højtopløselige satellitdata en enestående mulighed for omkostningseffektivt at kortlægge våde områder i marken.

Hvordan er satellitdata anvendt

Store datamængder af Sentinel-1- og Sentinel-2-data er processeret og analyseret for at undersøge og præsentere forskellige metoder til kortlægning af vandlidende jorde på udvalgte marker i Danmark.

Optiske tidserier fra Sentinel-2 giver et godt overblik over den rumlige fordeling af vand på marker,

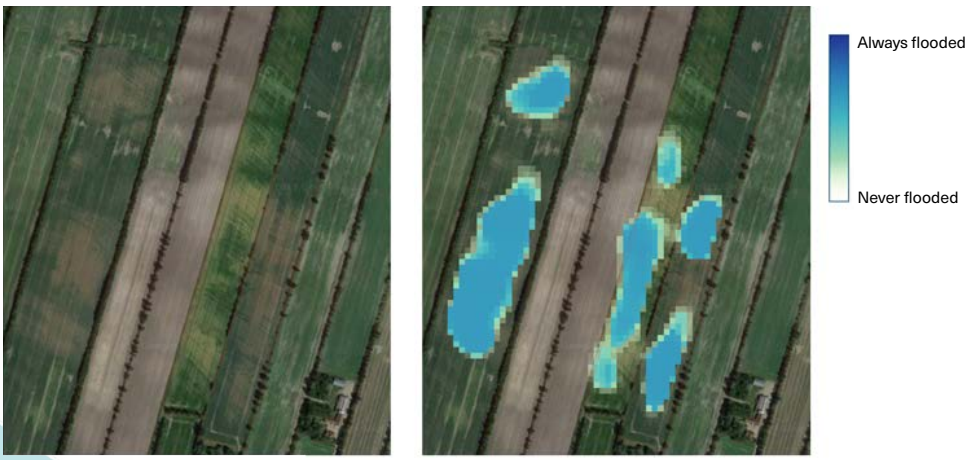


Jo mere mørkeblå, jo mere vådt er området set over sæsonen fra september til april.

men kvaliteten af produkterne vil altid være afhængig af skydække. De SAR-baserede data fra Sentinel-1 har den åbenlyse fordel at være uafhængige af skyfrie forhold og dermed levere mere homogent distribuerede tidsserier hen over hele året.

> **Viden om, hvor der står vand på markerne, er afgørende for, hvor rendegraveren skal køre hen – og for hvor der kan skrues ned for gødning og kemi.**
>
> *Jens Elbæk, landmand*

Tidsserier af Sentinel-2-data kan analyseres og visualiseres til frekvenskort, der viser, hvilke områder der er særligt vandlidende over en hel sæson.



Oversvømmelsesfrekvenskort baseret på Sentinel-1-radardata.

Tidsserier af Sentinel-1-data kan kortlægge større vandområder og oversvømmelser ved brug af en automatisk metode udviklet af DHI GRAS. Ydermere kan jordoverfladefugtigheden på markniveau afledes fra Sentinel-1-observationer, og dermed kan den relative udvikling for den enkelte mark hen over hele året kortlægges. Dette kan give vigtig information til landbruget om vandingsbehov og vandlidende områder i et bredere perspektiv.

Der er brug for yderligere validering i forhold til landbrugets observationer, men metoderne giver gode muligheder for at forstå, hvilke områder der har problemer med vandlidende forhold, og i hvilke specifikke perioder de største udfordringer er.

Anvendelser og fordele

Kortlægning af områder med afvandingsproblemer er redskaber til at målrette og effektivisere løsninger, der kan sikre en bedre afvanding af landbrugsarealer.

En god afvanding af landbrugsarealer er afgørende for en økonomisk bæredygtig planteproduktion og sikrer samtidig en bedre kvælstofudnyttelse. Dermed mindskes risikoen for kvælstoftab fra det dyrkede areal til grundvand og overfladevand. Desuden opnås en klimagevinst, da risikoen for emission af lattergas, som er en stærk drivhusgas, mindskes.

Anvendelsesmulighederne i udviklingen af satellitbaserede redskaber til kortlægning af oversvømmede landarealer rækker ud over landbrugsmæssige interesser.

Kortlægningen vil også kunne bruges af stat, kommune og andre aktører i sager om klimatilpasning, vandløbsforvaltning samt forvaltningen af vådområder.

Perspektiver og muligheder

Fremadrettet bliver teknologien kun mere relevant grundet de fremtidige klimaforandringer, der indebærer mere nedbør samt større og mere intensive nedbørshændelser. Kunstig intelligens vil fremadrettet kunne bidrage til at automatisere workflows yderligere og derved sikre kontinuerlig monitering af vandlidende marker i nær realtid.

Referencer og partnere

Der skal lyde en stor tak til samarbejdspartnerne ved Københavns Universitet og DHI GRAS samt til Promilleafgiftsfonden for Landbrug, som har finansieret projektet.

Kortlægning af oversvømmelser fra satellit

Ved brug af radardata fra Sentinel-1 er det muligt at kortlægge udbredelsen af vand på terrænet. Dette er et eksempel på en regional kortlægning efter en periode med kraftig regn.

Mikkel Skovgaard Andersen, NIRAS

Udfordringen

Oversvømmelser kan have alvorlige konsekvenser, og de samfundsøkonomiske efterdønninger kan være enorme. For at kunne håndtere oversvømmelserne på bedste vis er det essentielt at vide, hvor risikoområderne er.

Med landbaserede opmålingsteknikker er det muligt at kortlægge oversvømmelser på specifikke steder. Vil man derimod kortlægge oversvømmelsernes udbredelse over et større område, kan det være en udfordring og nærmest umuligt at udføre på landjorden. Sentinel-satellitterne kan derimod dække et stort område, og da de overflyver Danmark flere gange om ugen, har man en god sandsynlighed for at indhente data fra umiddelbart efter de kraftige regnhændelser.

Udfordringen består i at udnytte Sentinel-data til at kortlægge udbredelsen af vand på terrænet efter kraftige regnhændelser.

Hvordan er satellitdata anvendt

Der er for det meste overskyet under og lige efter større regnhændelser, og derfor er optiske satellitbilleder ikke ideelle til kortlægning af oversvømmede områder. Radardata fra Sentinel-1 kan derimod se igennem skyer, og det giver derfor en oplagt mulighed til kortlægningen.

Radarsignalet reflekterer på jordoverfladen, og intensiteten af det reflekterede signal bliver påvirket

Eksempel på oversvømmelse, der har bredt sig ud på terrænet.

af overfladetypen. En vandoverflade giver generelt en lavere reflekteret intensitetsværdi end landjorden. Dermed er der potentiale for at kortlægge vanddækkede områder.

I første halvdel af marts 2019 faldt der ualmindeligt meget regn over Danmark. Derfor er to Sentinel-1-billeder fra henholdsvis den 11. og den 15. marts brugt i analysen.

Sentinel-1-billederne gennemgik en indledende processering i form af kalibrering, støjfiltrering og georeferering i ESA's gratis software SNAP. Dernæst blev lave intensitetsværdier klassificeret som overfladevand. Veje og bebyggede områder kan ligeledes have lave intensitetsværdier og dermed resultere i fejlklassificeringer. Disse fejl blev nedbragt ved en afgrænsning af undersøgelsesområdet ud fra GeoDanmark-data for veje og bebyggelse.

Eksempel på resultat af analysen. De blå områder er dækket af vand. Baggrundskortet er et flyfoto.

Anvendelser og fordele

Med data fra Sentinel-1 er det muligt at dække et langt større område end med andre teknologier, og det er ofte muligt at få data, umiddelbart efter at oversvømmelserne er indtruffet, på grund af en høj overflyvningsfrekvens.

> **Denne metode til kortlægning af oversvømmelsernes udbredelse i terrænet kan være et værdifuldt værktøj i myndighedernes forvaltning og forberedelse til fremtidige oversvømmelseshændelser.**
>
> *Morten Westergaard, afdelingsleder for overfladevand og grundvand, NIRAS*

Samfundsmæssigt har oversvømmelseskortlægningen stor værdi. Planlæggere kan bruge oversvømmelseskortene i deres forvaltning af byer og landskab, således at oversvømmelserne kommer til at gøre mindst mulig skade.

Dernæst er information om oversvømmelsernes udbredelse og frekvens uvurderlig viden for beredskabsfolk og lokalbeboere, som herigennem kan forberede sig på fremtidige oversvømmelseshændelser.

De økonomiske konsekvenser forbundet med oversvømmelser kan være enorme og alt, hvad der kan ruste os bedre mod fremtidige oversvømmelser, har en potentielt meget stor værdi.

Perspektiver og muligheder

Det næste skridt bliver at udvikle klassifikationsmetoden, så den bliver endnu bedre og mere nøjagtig. Dette inkluderer bl.a.:

1. At inddrage Sentinel-1-data fra flere oversvømmelser, som samlet kan indgå i en risikovurdering (hvor hyppigt bliver et område oversvømmet?).
2. At undersøge/udvikle andre klassifikationsmetoder, herunder objektbaseret klassifikation og automatisk klassifikation ved hjælp af machine learning.

Referencer og partnere

Tak til Copernicus-programmet for indsamling af Sentinel-data og for at gøre det offentligt tilgængeligt. Tak til Den Europæiske Rumorganisation (ESA) for træningskurser og webinar om data-processering.

Kortlægning af våde arealer i Danmark fra Sentinel-1 og Sentinel-2

Tidsserie analyser med Sentinel-1 og Sentinel-2 satellitdata er egnet til kortlægning af våde arealer i Danmark. Det inkluderer kortlægning af permanente og temporære søer såvel som oversvømmelser på grund af ekstreme vejrhændelser.

Eva Bøgh [A], John Kamper [A], Lotte Nyborg [B], Mads Christensen [B], Georg Bergeton Larsen [A]

A: Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering B: DHI GRAS

Udfordringen:

Der er behov for en landsdækkende temporal registrering af våde arealer. For eksempel til klimahåndtering (kommuner, vandforsyninger mfl.), til åbent land-forvaltning (landbrug, miljø mfl.), til byggeprojekter (forvaltning, forsikring, entreprenør mfl.), til statistiske analyser, beregninger og kortlægning af vand på terræn.

I Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering er det konkret en udfordring at bestemme, om søer, der fotograferes landsdækkende fra luften om foråret til kortlægning, reelt er en sø, eller om vandet allerede nogle dage efter er væk.

Samtidig er et estimat for fordampning/nedsivning og "forsinkelse" af afstrømning vigtigt i forbindelse med forudsigelser af afledt vand, opstuvning og oversvømmelser, når Danmarks højdemodel bruges til landsdækkende hydrologiske beregninger.

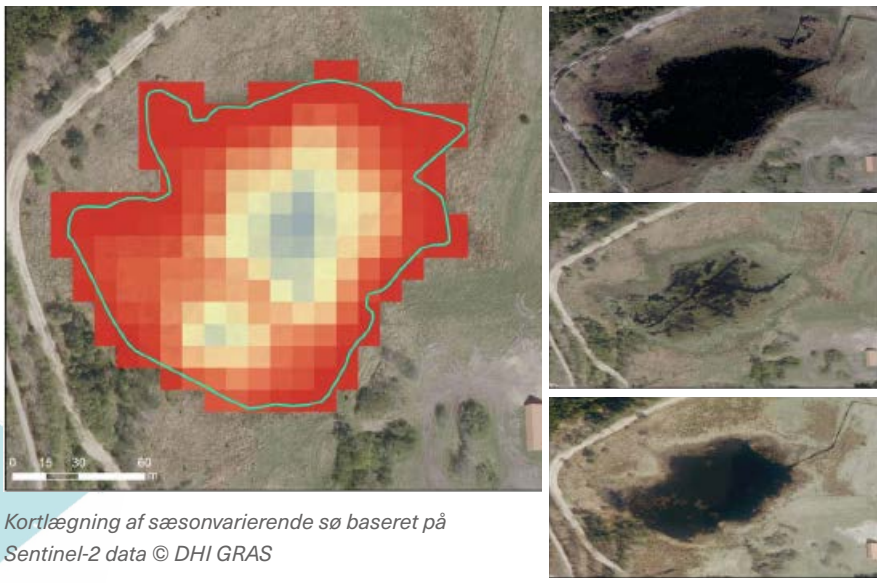
Hyppige satellitobservationer af våde arealer kan anvendes til både kortlægning af sæson- og permanente søer og kortlægning af oversvømmelser. Resultaterne kan bl.a. anvendes til optimering af hydrologiske modelberegninger.

Hvordan er satellitdata anvendt

Copernicus leverer data til begge opgaver. Hydrologiske modeller/Sentinel-1 (S-1): Anvendelsen af S-1 data er ikke begrænset af skydække. Sentinel-1 data kan derfor anvendes som hændelsesdata til kortlægning af oversvømmelser, selvom det er overskyet, hvilket ofte er tilfældet ved "ekstrem-våd-hændelser".

S-1 data med 10 meters opløsning indhentes både før, under og efter oversvømmelsen. Kortlægning af oversvømmelser til de forskellige tidspunkter giver øjebliksbilleder af vandets udbredelse over de berørte arealer. Hvis satellitten ikke passerer på tidspunkt for maksimal udbredelse af oversvømmelsen, kan observationerne kombineres med dynamiske modelberegninger for at bestemme denne.

Temporære søer/Sentinel-2 (S-2): S-2 data er optiske billeder og derfor kun anvendelige under skyfri forhold. Skyfri S-2 data kan "stakkes" i kompositter over en periode (uger, måneder, ...) og give skyfri landsdækkende datasæt. Fra kompositten kan der beregnes forskellige indeks, herunder NDWI, som beskriver vådheden af den enkelte pixel i billedet. Over en tidsserie af kortlægninger kan der bereg-



Kortlægning af sæsonvarierende sø baseret på Sentinel-2 data © DHI GRAS

nes en "vandfraktion" pr. pixel. Denne vandfraktion giver information om, hvor våd en given pixel er hen over en periode på f.eks. et år. Disse resultater kan grupperes og klassificeres i objekter med forskellig grad af vådhed ("vådklasser" som åbent vand, mose/eng eller fugtigt græs). Med "ground-truth-data" kan vådhed knyttes til de eksakte arealtyper og derfra ekstrapoleres landsdækkende. Ved analyse kan de våde arealer fra flere "tids-kompositter" sammenlignes, og der kan automatisk udpeges arealer, hvor vand enten findes permanent eller kun opstuves temporalt. NDWI-indeks beregnes med S-2 data fra det nærinfrarøde og det grønne spektrale bånd (begge i 10x10m opløsning).

Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering har i to projekter sammen med DHI GRAS belyst mulighederne for at kortlægge oversvømmelser og sæsonsøer baseret på Sentinel-1 og Sentinel-2 data i Danmark.

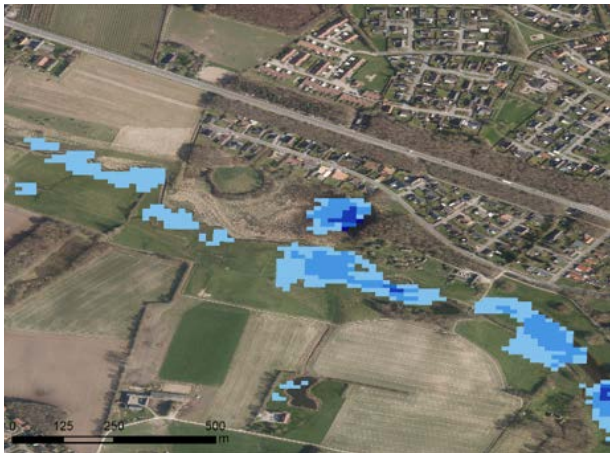
Anvendelser og fordele

Styrelsen for dataforsyning og effektivisering kan med disse datasæt vurdere, om en sø er helt uden vand i perioder og derfor skal slettes fra vores database over søer, eller om deres "vådklasse" indikerer, at registreringer som eng, mose mv. eventuelt skal ændres.

Styrelsen kan bruge samme "vådklasser" til at kortlægge, i hvilke områder der opstuves vand i (kortere) perioder, f.eks. ved stormflod eller skybrud, og om der er udvikling i arealstørrelser. Måske i forbindelse med gennemførte klimatiltag. Hertil kan også anvendes S-1 data som beskrevet.

Perspektiver og muligheder

Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering forventer, at metoderne også kan bruges til at definere både højvands- og lavvandslinjer på kyster, hvor tidevand fluktuerer mere end 10 meter – altså en tidevandszone. Måske en fælles autoritativ kystzone defineret fra faktiske målinger. Et andet perspektiv er anvendelsen af S-1 og S-2 data i kombination med Styrelsens terrænmodel og evt. dynamiske hydrologiske beregninger til kortlægning af oversvømmelseshændelser og statistiske analyser.



Kortlægning af oversvømmelser fra Sentinel-1 data, Odense Å, december 2015 © DHI GRAS.

Kortlægning af oversvømmelser med satellitdata

Satellitbaseret oversvømmelseskortlægning som redskab til at verificere ny operationel metode til at kortlægge oversvømmede områder.

N.G. Hansted [A], N. Balbarini [A], H. G. Muller [A], L. Færch [B], P. Landsfeldt [C], M. B. Butts [D]

A: DHI A/S B: DHI GRAS C: Vejle Kommune D: DMI

Udfordringen

Oversvømmelser er en stor udfordring mange steder i Danmark, og de forventes kun at blive større og hyppigere i et ændret, fremtidigt klima. En hurtig måde til at vurdere oversvømmelsesudbredelse er dermed altafgørende i forhold til redningsarbejde, forsikringssager mm.

I samarbejde med Miljøstyrelsen blev en simpel, data-drevet kortlægningsmetode til identificering af oversvømmede, å-nære områder udviklet. Metoden er baseret på vandstandsdata, tværsnit og en højdemodel og kræver ikke komplekse modeller. Målet er at udføre metoden med prognosticeret vandstand og dermed kunne forudsige kommende oversvømmelser, men metoden skulle først verificeres på historiske hændelser. Metoden blev testet i Vejle Ås opland og fandt oversvømmelse i flere områder, hvor der i forvejen var viden om oversvømmelser, men der var mangel på data til verifikation.

Generelt er dette en udfordring inden for oversvømmelsesmodellering, og traditionelt sammenlignes resultaterne med fotografier. Luftfotografier fra fly eller droner giver de mest detaljerede, korrekte og letforståelige oplysninger, men er sjældent at finde på oversvømmelsestidspunkterne. Fotografier taget fra land er nemmere at skaffe, men har sjældent en stor 2D-udbredelse og giver dermed kun information om brudstykker af det oversvømmede område.

Den rumbaserede løsning

Dette tomrum i data kan satellitbilleder være med til at udfylde, idet der ofte findes et billede for næsten hver dag, og de giver et 2D-billede med stor udstrækning og god rumlig opløsning.

I dette projekt blev Sentinel-1-data anvendt til at kortlægge omfanget af tidligere oversvømmelseshændelser i Vejle Ås opland som redskab til at verificere oversvømmelseskortlægningen. Den tolkningsmetode, der blev valgt, gør brug af en maskinlæringsalgoritme, der ud fra kendte vand- eller landpixels fastsætter tærskelværdien mellem vand og ikke-vand. Resultaterne fra denne klassifikation bliver herefter finjusteret og efterprocesseret i en proces, som skal sikre, at eventuelle fejlklassifikationer bliver fjernet.

> **Oversvømmelsesmodeller er afgørende redskaber for myndighederne til klimatilpasning, og satellitdata giver god mulighed for at forbedre oversvømmelsesmodellernes præcision og nøjagtighed.**
>
> *Peter Kaarup, Miljøstyrelsen*

Fordele for borgerne

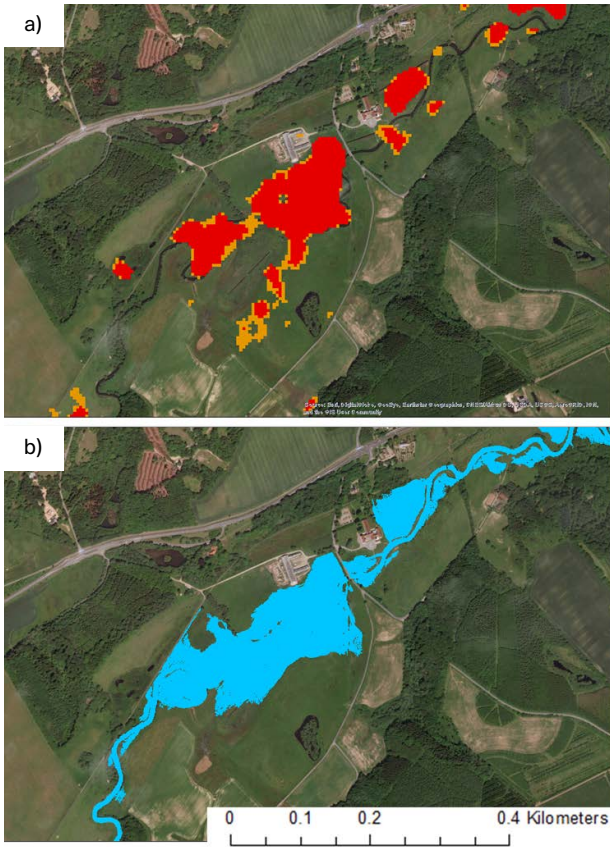
Data til at verificere oversvømmelsesmodeller er en mangelvare, særligt under danske oversvømmelser, hvor reaktionstiden er kort og oversvøm-

Foto fra oversvømmelser ved Haraldskær, som også kan ses på satellitbillederne, og det modellerede omfang af oversvømmelserne. © Paul Landsfeldt, Vejle Kommune.

melsen derfor ofte er hurtigt væk. Det er derfor nødvendigt med metoder, der ikke er påvirket af vejrforhold såsom skydække. Her har SAR-billeder (Synthetic Aperture Radar) en stor fordel, idet de er upåvirkede af skyer. Det er dermed muligt at kortlægge oversvømmelsesudbredelsen med det samme og ikke først, når der er klar himmel. Satellitbaseret oversvømmelseskortlægning bidrager således med kritisk input, som kan bruges til at forberede oversvømmelsesmodeller og derved forbedre myndighedernes mulighed for at reagere på oversvømmelseshændelser og mitigere følgevirkninger.

Fremtidsperspektiver

Sentinel-satellitternes høje frekvenstid og opløsning har bidraget med nye muligheder for satellitbaseret kortlægning af oversvømmelser, og fremtidig udvikling af deep learning-teknologi til at automatisere processering og arbejdsgange har bragt os tættere på operationel oversvømmelseskortlægning i nær realtid. Det er værdifuldt i forhold til at verificere omfanget af modellerede oversvømmelseskortlægninger, ikke blot den simple model udviklet i forbindelse med dette projekt, men også mere komplekse hydrologiske modeller.



a) Oversvømmelseskortlægning med satellit og b) modelleret oversvømmelseskortlægning den 17. marts 2019.

Anvendelse af Sentinel-2 data til vurdering af kystudvikling

Kystens sæsonvariationer er udfordrende at dokumentere ud fra traditionelle data. Satellitbilleder kan anvendes til at kvantificere og beskrive ændringer og øger den tidslige opløsning i data.

Henrik Vinge Karlsson [A], Carlo Sørensen [A]

A: Kystdirektoratet

Udfordringen

Kysternes formverden er dynamisk og ændres over dage, måneder, sæsoner og år. En storm kan over natten ændre udformningen af den kyst, vi iagttog dagen før.

Kvantificering af ændringerne er ofte foretaget på baggrund af årlige opmålinger, med ortofotos, ved inspektioner mv., og en udfordring, der ofte mødes, er mangel på data i en høj tidslig opløsning.

Moderne opmålingsmetoder med fly, drone, totalstation mv. giver mulighed for at monitorere bestemte strækninger i høj opløsning i både tid og rum, men data er sjældent tilgængelige eller kun budgetteret få gange om året.

Sentinel-2-data giver nye muligheder for dataindsamling langs kysterne. Til trods for en grov rumlig opløsning er det data, som kan fylde 'huller', hvor der ikke er andet data, eller supplere eksisterende data.

Hvordan er satellitdata anvendt

Til analyse af en sandfodringsudvikling i Nørlev i Nordjylland var et af nøgleelementerne at skabe en rumlig forståelse af de naturlige forandringer på kysten: Her var revlernes ændring og vandring af særlig interesse, da kystopmålinger i området kun bliver foretaget hvert 4. år og udføres med mellemrum på 1.000 m vinkelret på kysten.

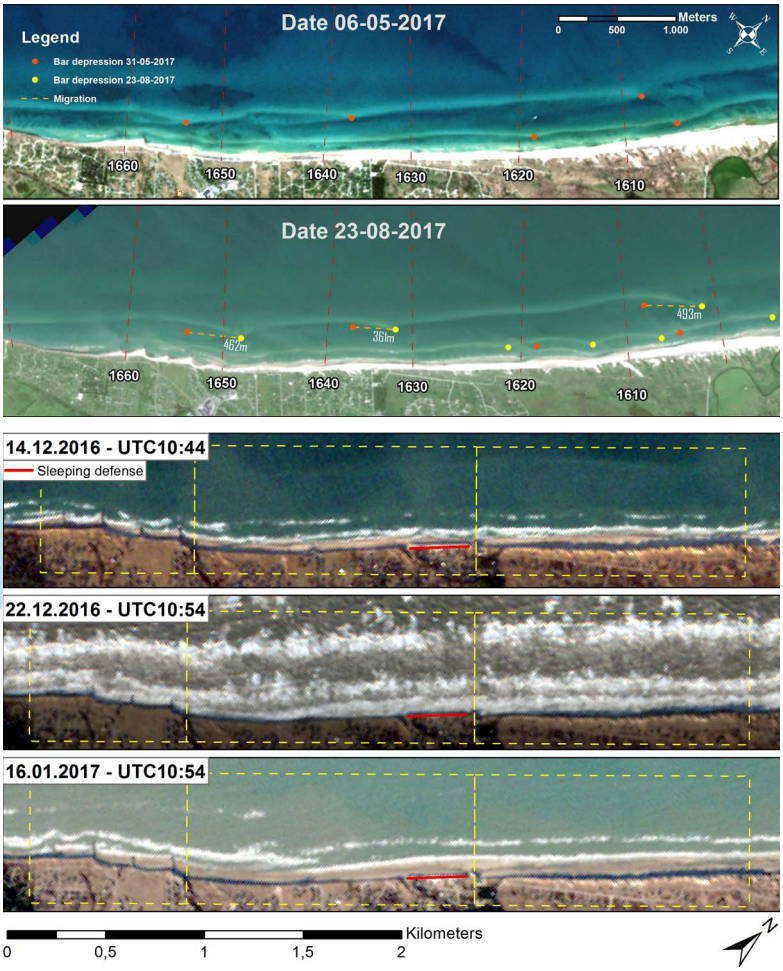
Revlernes vandring kan kvantificeres som vist i Figur 1, ud fra RBG-fotos dannet i GIS. Disse ændringer kunne ikke ses af de årlige ortofotos, men Sentinel-data gør det muligt at øge hyppigheden af data og dermed dokumentere relativt store forandringer over korte perioder. Strandens bredde kan også nogenlunde nøjagtigt beskrives af billederne. Dermed bliver det klart, at strandens bredde på flere stræk er sammenfaldende med ondulationer, dvs. ud- og indbugtninger i revlesystemet.

> **De mange båndbredder i Sentinel-2-data giver brede anvendelsesmuligheder i vurdering af kysternes foranderlighed.**
>
> *Per Sørensen, kystteknisk chef, Kystdirektoratet*

Denne simple metode er også benyttet til at dokumentere ændringer i strandbredde og revler før, under og efter en storm i december 2016 som vist i Figur 2. Satellitbilleder blev i kombination med dronefilm, vandstands- og bølgedata, lokale kystopmålinger og årlige ortofotos brugt til at dokumentere kystens variation og en sandfodrings udvikling. Satellitbillederne blev anvendt, hvor intet andet data var tilgængeligt, men også som supplement til opmålingsdata fra den 17. januar 2017, hvilket er dagen efter sidste billede i Figur 2.

Anvendelser og fordele

Data er frit tilgængelige fra Copernicus Open Access Hub og kan importeres til et GIS-system uden de store udfordringer. I kompositionen af



Figur 1: Revlevandring dokumenteret på baggrund af Sentinel-2-billeder ved Skallerup og Nørlev Strand i Nordjylland.

Figur 2: Kystændringer før, under og efter decemberstorm i 2016.

billeder fra de mange båndbredder findes der til ArcMap et script til håndtering af Sentinel-2-data, mens der i ArcGIS pro findes et integreret værktøj. Til visuelle analyser kan man med fordel nøjes med at downloade et True Colour Image (TCI). Dette er et RBG billede klar til anvendelse i diverse GIS. Georeferering er ikke nødvendig, da satellitdataene er præindstillet til det datum, hvori de befinder sig. Man kan således med simple midler øge tilgængeligheden af data til f.eks. kysttekniske analyser, hvis ellers vejr og overflyvningstidspunkt tillader det. Metoden er simpel og let anvendelig.

Perspektiver og muligheder

Brugen af Sentinel-2-data i studier af kysten er ikke begrænset til beskrivelse af de morfologiske ændringer, men kan også benyttes til kvantificering. De mange båndbredder i Sentinel-2-data giver brede anvendelsesmuligheder.

Det nær-infrarøde bånd kan benyttes til bestemmelse af vegetationsudbredelse i klitter (Bruijns, A.J., 2018). Kystlinjens position vil også kunne bestemmes med relativt høj nøjagtighed (Hagenaars et al, 2017). Automatisering af import og workflow kan bidrage til at skabe et overblik over kystlinjens fluktuationer over tid.

Dannelse af bathymetrier, dybdeforhold ud for kysten, fra Sentinel-data vil kunne bidrage yderligere i kysttekniske analyser. Til trods for den grove rumlige opløsning vil den tidslige opløsning være anvendelig i visualisering af morfologiske ændringer, som bl.a. ses i vestkystens revlesystemer eller på tidevandsdominerede kyster.

Referencer og partnere

- Hagenaars, G., Luijendijk, A., de Vries, S. and de Boer, W. (2017). *Long Term coastline monitoring derived from satellite imagery.* Costal Dynamics 2017, paper no. 122.
- Bruijns, A.J. (2018). *The dynamics of foredune restoration measures.* M.Sc. Thesis, Utrecht University 2018.

- Arbejdet er støttet af EU's Interreg-projekt Building with Nature.

Satellitbaseret monitorering af kystdynamikker

Sentinel-missionerne byder på hidtil usete muligheder for overvågning af kystdynamik og geomorfologiske ændringer i kystzonen.

Mikkel Lydholm Rasmussen [A], Lisbeth Tangaa Nielsen [A], Carlo Sass Sørensen [B]

A: DHI GRAS B: Kystdirektoratet

Udfordringen

Hurtige ændringer i kystzonen såsom stormerosion og aflejringsrater med op til ti meter om året skaber store udfordringer for både myndigheder, kommuner og jordejere. Manglen på ajourførte data betyder, at prognoser og forudsigelser af fremtidige kystændringer er baseret på historisk information. Mens undersøgelser er vigtige for forståelse og forudsigelse af ændringer i kystmiljøer, er traditionelle metoder imidlertid dyre og langsomme. Dette medfører, at oplysninger og data sjældent opdateres og således ikke er tilstrækkelige til at analysere de sæsonbetonede variationer og tendenser, hvilket er nødvendigt for at forstå disse dynamiske miljøer som helhed.

Den satellitbaserede løsning

Ved at udnytte Sentinel-satellitternes høje tidslige opløsning, især dem fra Sentinel-1- og Sentinel-2-missionerne, kan der udføres hyppige vurderinger af kystmiljøets status, hvilket giver ajourførte oplysninger om emner såsom erosion af udsatte kystlinjer og ændringer i marine habitater. Ved automatisk at processere alle nyligt erhvervede Sentinel-2-billeder kan effekten af erosionsbegrænsende aktiviteter såsom strandfodring eller nyopførte bølgebrydere overvåges og evalueres.

Ved at processere de historiske arkiver med satellitbilleder kan der desuden etableres en solid baseline som et konsistent og pålideligt grundlag for langtidsprognoser, evalueringer og planlægning af såvel afbødning som konsekvensovervågning af valg inden for kystzoneforvaltning.

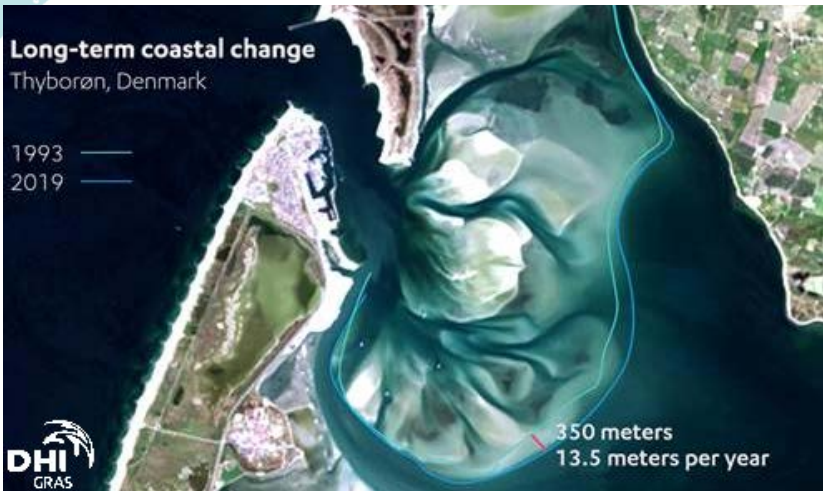
Kystlinjen og strandbredden kortlægges nøjagtigt i hvert billede ved at kombinere observationer fra de optiske og nær-infrarøde bånd med indekser og statistiske beregninger, der anvender maskinlæringsmetoder. Den kortlagte kystlinje sammenlignes derefter med overensstemmende tidevandskonstanter for at tage højde for variation i øjeblikkelige vandstandsniveauer, forårsaget af tidevandscyklussen.

> **Nøjagtige og kontinuerligt opdaterede jordobservations-satellitdata leveret af Copernicus-missionerne tjener til at fremme og til at uddybe vores forståelse af kystændringer, f.eks. i forhold til stormerosion, og sørge for optimerede foranstaltninger for kystbeskyttelse og forbedret miljøovervågning.**
>
> *Carlo Sørensen, seniorrådgiver, Kystdirektoratet*

Fordele for borgerne

Præcise og ajourførte oplysninger om kystdynamik giver den statslige myndighed og kommuner de data, de har behov for for nøjagtigt at planlægge og

Kystlinjeudvikling i Port Fourchon, Louisiana, mellem februar og oktober 2019.



Satellitbaseret overvågning af langsigtede kystforandringer omkring Thyborøn i Danmark.

vurdere effekten af erosionsbegrænsende strategier og klimatilpasning. Dette medfører en effektivisering og forbedring af foranstaltninger mod erosion, hvor sådanne anvendes. Desuden giver det mulighed for mere nøjagtig modellering og præcise prognoser i områder, hvor miljøbeskyttelsesrammerne indebærer, at kysten udvikler sig naturligt. Ved at bruge satellitbilleder til kortlægning af hele den eksponerede kystlinje i stedet for kun isolerede transekter, der er baseret på in situ-målinger, er intet område overset. Dette øger sikkerheden og en holistisk forståelse af, hvilke områder der er udsat for erosion eller aflejring i høj grad. Dette kan også gøre det lettere at identificere potentielle nye ressourcer af sand til strandfodring eller endda som kilder til råvarer til betonproduktion.

Fremtidsperspektiver

DHI GRAS vil fortsætte med at forbedre nøjagtigheden af automatiske vurderinger af erosions- og aflejringsrater, mens der også undersøges forbedring af brugergrænsefladen for at gøre det lettere at anvende den udviklede værktøjskasse. Ved at gøre det så brugervenligt som muligt kan udviklere af individuelle kystmodeller og interesserede borgere få adgang til ajourførte og avancerede data om kystdynamik overalt i verden. Denne omfattende adgang til information vil gøre det muligt og effektivt at udnytte den globale karakter af Copernicus-data og vil yderligere åbne op for en øget forståelse af kystmiljøerne i datatynde regioner.

Tak

Forfatterne vil gerne takke Kystdirektoratet for at have leveret data og den danske regering for at yde økonomisk støtte til udvikling af værktøjer til databaseret hav- og kystforvaltning.

Satellitbaseret kortlægning af havdybder

Ved at anvende avanceret fysisk modellering og moderne satellitbilledanalyse kan bathymetri-data af høj kvalitet udledes til lave omkostninger.

Mikkel Lydholm Rasmussen [A], Lisbeth Tangaa Nielsen [A]

A: DHI GRAS

Udfordringen

Højopløseligt bathymetri-data er en central faktor i forbindelse med forvaltning af kystmiljøer, planlægning og konstruktion af marine strukturer og bruges også i modelleringsøjemed, bl.a. med det formål at kvantificere virkningerne af ekstremvejr og klimaforandringer. Selvom traditionelle undersøgelsesmetoder giver detaljerede havdybder, er disse observationer begrænset i dækningsgrad, både rumligt og tidsligt, bl.a. på grund af de høje omkostninger forbundet med disse undersøgelser. Derudover forbliver det stadig en stor udfordring at måle havdybder i de meget kystnære områder med båd, hvorfor mange af disse områder stadig ikke er ordentligt opmålt.

Den rumbaserede løsning

Vanddybder i lavvandede områder kan udledes på baggrund af multispektrale satellitbilleder og fysisk baserede modeller af de optiske egenskaber for vandkolonnen og havbunden. Dette muliggør en omkostningseffektiv kortlægning af havdybder i stor skala.

Ved at matche den indgående refleksion af solens stråler fra havbunden, målt med satellitter, med den simulerede refleksion, kan vanddybden sammen med diverse vandkvalitetsparametre og havbundens albedo estimeres. Den høje genbesøgelsesfrekvens for Sentinel-2-konstellationen udnyttes ved at identificere billeder med de bedste miljømæssige, meteorologiske og oceanografiske betingelser for optagelsens tidspunkt, hvilket er afgørende for præcisionen af de satellitbaserede bathymetri-estimater. Med et konstant voksende arkiv af satellitbilleder kan satellitbaseret bathymetri bruges til at analysere den aktuelle tilstand og dynamik i kystzoner på sæsonbasis.

Ukalibreret satellitbaseret bathymetri for lavvandede områder nær Tauranga i New Zealand.

Fordele for borgerne

Mens der mangler præcision i de fysiske observationer, kan satellitbaseret bathymetri give bathyme-

Satellitbaseret bathymetri for området omkring Anholt, produceret som supplement til en multibeam-undersøgelse.

triske dybder, der dækker over store områder, og som bygger bro mellem kystlinjen og traditionelle undersøgelser i lavvandede områder og giver en rumlig kontekst i områder undersøgt med båd. Dette gør satellitbaseret bathymetri til et ideelt supplement til traditionelle undersøgelser, både i planlægningsfasen, ved at identificere de mest kritiske områder, der har brug for observationer, og ved at give en rumlig dækning i en meget større udbredelse, end hvad der kan dækkes af en fysisk undersøgelse.

> **Satellitbaseret bathymetri (Sentinel-2) har forbedret den bathymetriske beskrivelse af 60 danske vandområder og kvaliteten af mekanistiske økosystemmodeller, der bruges til miljøforvaltning.**
>
> *Dansk Miljøstyrelse, Danmarks Miljø- og Fødevareministerium*

Derudover muliggør satellitbaseret bathymetri identifikation og kortlægning af lavtliggende genstande i vandet i fjerntliggende områder, hvor omkostningerne og farerne forbundet med traditionelle undersøgelsesmetoder er uoverkommelige såsom i Arktis. Denne region oplever i øjeblikket øget skibstrafik, og mange områder er ikke undersøgt eller har kun et meget lille datagrundlag. Satellitbaseret bathymetri er en omkostningseffektiv metode til at udlede bathymetrisk information, hvilket er nødvendigt for effektivt at kunne forvalte og beskytte den arktiske kystzone.

Fremtidsperspektiv

DHI GRAS vil fortsætte med at forbedre de satellitbaserede bathymetri-produkter og udvide databasen med højopløselig bathymetri i kystzonen ved at inkludere forskellige satellitobservationer og forbedre metodologien. Ved at kombinere den nye generation af satellit-laser-altimetri med den satellitbaserede bathymetri kan behovet for kalibreringsdata, som ofte stammer fra fysiske undersøgelser, især i store, fjerntliggende områder, med lidt eller forældet information, potentielt mindskes, hvilket vil øge nøjagtigheden.

Tak

Vi takker Europa-Kommissionen og Den Europæiske Rumorganisation (ESA) for at give fri adgang til Sentinel-2-data gennem Copernicus Open Access Hub.

Kortlægning af akvatisk vegetation fra rummet

Kunstig intelligens og satellitbilleder i høj opløsning tilbyder banebrydende nye løsninger til at understøtte maritime undersøgelser, bl.a. til at give synoptisk indsigt i akvatisk vegetation.

Mads Christensen [A], Lotte Nyborg [A]

A: DHI GRAS

Udfordringen

Traditionelt monitoreres akvatisk vegetation ved hjælp af meget detaljerede dykker-transekter på et begrænset antal lokationer, der gentages hvert år. Mens dette giver en detaljeret oversigt over artsfordelingen langs transekterne, er fremgangsmåden omkostningstung, og den muliggør ikke en bredere afdækning af større rumlige mønstre og forhold. Derudover er den forbundet med stor usikkerhed på grund af vegetationsmobilitet mellem årene.

Mens fortolkning af luft- og dronefotos giver mulighed for at kortlægge og overvåge vegetation under vandet over større områder, giver de stadig ikke det fulde synoptiske overblik i stor skala. Information om undervandsvegetation, der dækker større regioner og endda hele nationer, giver unik og værdifuld indsigt i det marine miljø og den dynamik, som påvirker det.

Den rumbaserede løsning

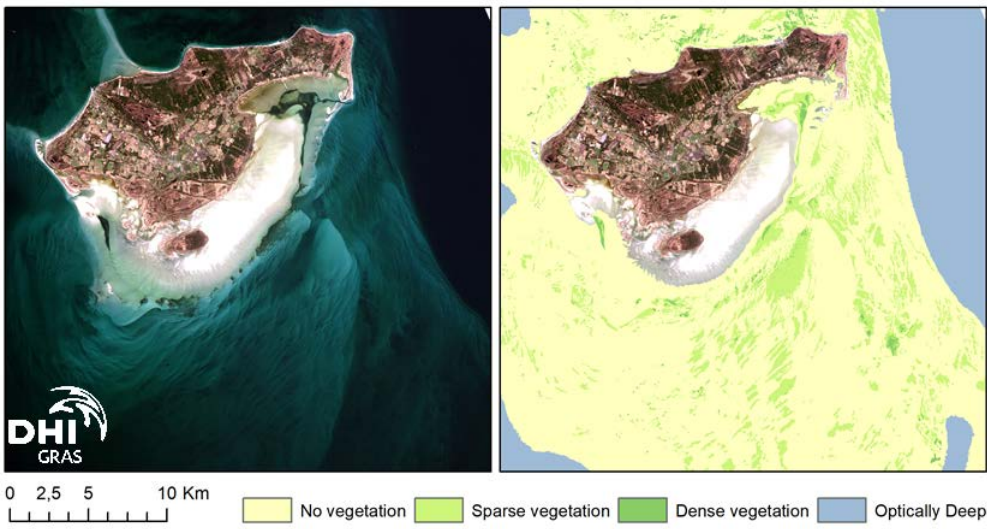
Sentinel-missionerne under ESA's Copernicus-program tilbyder en kontinuerlig og langsigtet overvågningsløsning og bidrager med data i høj tidslig og rumlig opløsning, som afdækker lande og hele kontinenter på ugentlig basis. Sentinel-satellitterne leverer effektive data, som bl.a. kan bruges til at kortlægge og overvåge akvatisk vegetation i stor skala, og langvarige tidsserier af Sentinel-2-data er ideelt positioneret til at vurdere den rumlig-tidsmæssige dynamik af undervandsvegetation over store områder.

Ved at kombinere Sentinel-2-satellitdata, nye maskinlæringsteknikker og avanceret databehandling har DHI GRAS udviklet den første nationale oversigt over den rumlige fordeling af akvatisk vegetation i Danmark.

> **Havbundsvegetation er et af de vigtigste marine levesteder i kystvandets økosystemer. Den rumlige fordeling har imidlertid været relativt begrænset indtil nu. Jeg forventer, at Sentinel-data er en afgørende faktor i vurderingen af den rumlige dækning af akvatisk vegetation til at understøtte fremtidige forvaltningsprocesser og som input til miljøpåvirkningsvurderinger.**
>
> *Anders Eriksen, DHI*

Ved hjælp af manuelt udvalgte træningsdata, baseret på højtopløselige flyfotos samt atmosfærisk korrigerede Sentinel-2-mosaikker, som dækker alle danske territoriale farvande, blev der anvendt en gradientforstærkende algoritme til at klassificere tætheden af undervandsvegetation på nationalt niveau.

Satellitbaseret kortlægning af akvatisk vegetation omkring Læsø.



Den nationale kortlægning giver vigtig indsigt i fordelingen af akvatisk vegetation (ålegræs og makroalger) observeret i 2018 og danner en vigtig basislinje for evaluering af ændringer i stor- og regionalskala i de kommende år.

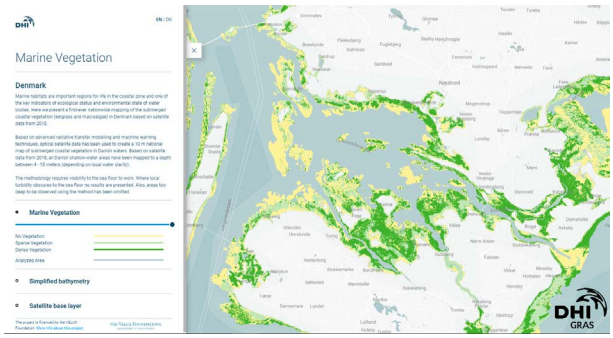
Fordelene for borgerne

Akvatisk vegetation er en overordnet indikator for tilstanden i havet og flodmundingen og en kritisk komponent i marine økosystemer, som bl.a. leverer vigtige økosystemtjenester, herunder levesteder for hvirvelløse dyr og fisk.

Imidlertid er effektive miljøpåvirkningsvurderinger og marine forvaltningsprocesser hæmmet af manglende data og information om omfang og dynamik af akvatisk vegetation. Satellitbaserede løsninger til kortlægning og overvågning af fordeling og dynamik i undervandsvegetation i lavvandede områder giver et omkostningseffektivt værktøj til konsekvent synoptisk overvågning af store områder. Ved at bidrage med en unik indsigt i vegetationens status og tendenser tilbyder dette et kritisk værktøj, som gør det muligt for forvaltningsmyndigheder og beslutningstagere at træffe mere effektive og velinformerede beslutninger om beskyttelse og forvaltning af havmiljøet og dets ressourcer.

Fremtidsperspektiv

Det nationale kort over akvatisk vegetation i Danmark giver en vigtig basislinje for den aktuelle status for vegetationstæthed i danske territoriale farvande. Med en etableret metodologi på plads vil fremtidige bestræbelser sigte mod at fremme basislinjen yderligere ved at foretage løbende vurderinger fra år til år og variationer inden for årene i vegetationsdækning på nationalt niveau. Dette vil give yderligere indsigt i vækshastigheder, sæsonbestemte mønstre og virkningen af ekstreme begivenheder og klimaforandringer på vegetationens sundhed og dækning.



Det satellitbaserede datasæt på nationalt plan for akvatisk vegetation i Danmark kan ses online på http://satlas.dk/marine-vegetation/dk/.

Tak

Aktiviteten blev muliggjort gennem VELUX Fondens generøse bidrag som en del af dens miljø- og bæredygtighedsaktiviteter.

Copernicus Maritime Surveillance hjælper Danmark mod ulovligheder

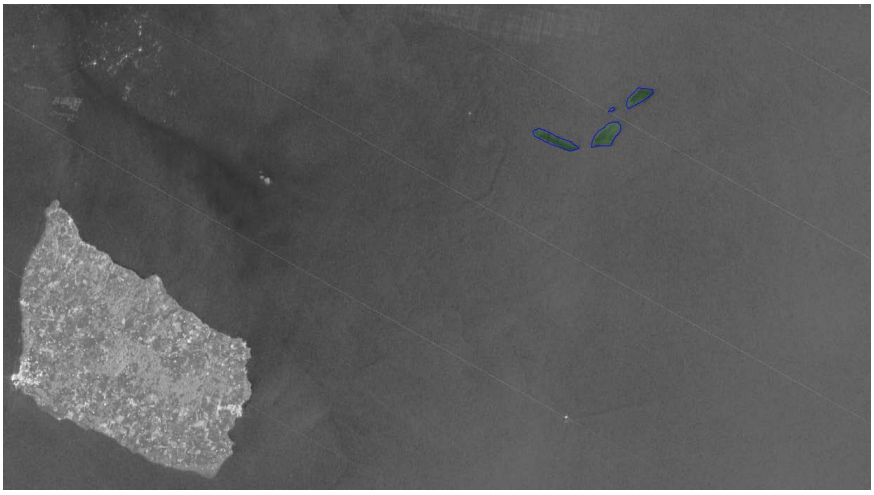
Danmark anvender flere ting fra Copernicus' værktøjskasse. Bl.a. gør satellitbilleder det lettere at fange dem, der ulovligt leder olie ud i havene.

Lise Høiriis, Søværnet

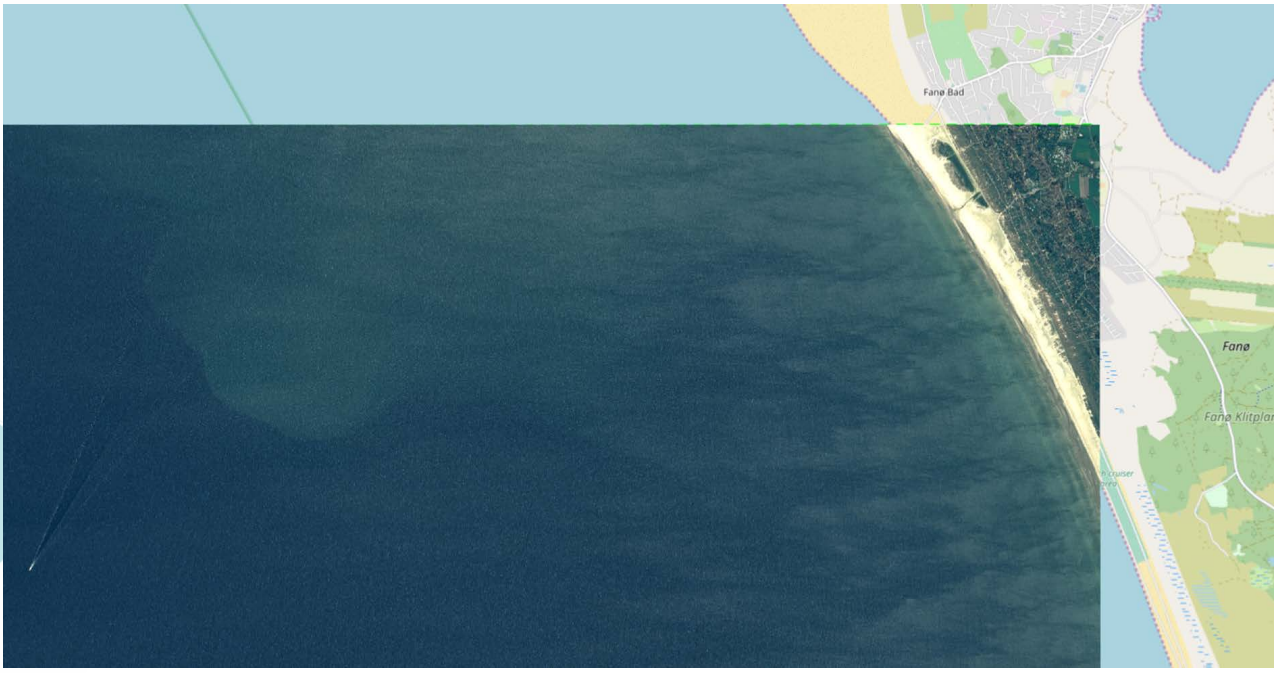
Danmark har stor gavn af Copernicus Maritime Surveillance, som bl.a. bruges til at overvåge de danske farvande. Fokus er især rettet mod naturbeskyttelse, eftersøgnings- og redningsopgaver samt håndhævelse af Danmarks suverænitet og dansk lovgivning i forhold til f.eks. grænseoverskridende kriminalitet. Søværnskommandoen, som er en del af Forsvaret, er kontaktpunktet, når det drejer sig om Copernicus Maritime Surveillance. Her har man med andre ord ansvaret for at oplyse andre myndigheder om, hvilke muligheder Danmark bliver tilbudt, samt assistere med adgang til disse informationer.

Farvandsovervågningen består af flere dele, dels kystradar og udkigstjeneste, dels AIS (Automatic Identification System), som bedst kan oversættes til "automatisk identifikationssystem". AIS er et system, der gør det muligt at identificere skibe over en vis størrelse. Det er baseret på VHF-båndet og gør det muligt at udveksle oplysninger skibene imellem for at undgå kollisioner og gøre navigationen lettere. AIS udsender f.eks. også skibenes position. Disse har EU-medlemslandene pligt til at opsamle, så de kan bruges i f.eks. nødsituationer, hvor redningstjenesten har brug for hurtigt at kunne danne sig et overblik over en ulykke. Man kan via systemet se, om der er andre skibe, der måtte være i nærheden, så man kan dirigere dem mod det forulykkede skib og på den måde komme nødstedte til undsætning.

Man bruger også Satellit-AIS fra Copernicus til at følge et skibs sejlrute, hvis der er behov for det. Det



"Oliespild": Oliespild i havet øst for Bornholm.



"Optisk": Optisk billede af en lystbåd og dens kølvand, taget vest for Fanø.

kan f.eks. være for at lokalisere et skib, der er uden for rækkevidde af det landbaserede AIS-system, ved ulovlig olieudledning i havet, eller hvis man har oplevet en situation med en mand over bord.

Kan opdage olieforurening

Satellitterne i Copernicus kan også tage billeder, og der kan vælges mellem to typer. Den første er et optisk satellitbillede. Det ligner til forveksling et rigtigt fotografi og har altså en forholdsvis høj opløsning. Det er dog sjældent brugbart i Danmark, idet det kræver, at vejret er skyfrit. Det kan desuden kun tages om dagen.

Den anden type kaldes for SAR – Synthetic Aperture Radar (ikke at forveksle med Search And Rescue, som også forkortes SAR). Her bruger satellitter en radar til at opbygge et billede, hvor ændringer i havets overflade afspejles, og det er ikke afhængigt af hverken dagslys eller klart vejr. Satellitbillederne dækker som oftest både danske farvande og nabolandenes farvande. Derfor har EU-landene adgang til hinandens data, som også kan deles aktivt.

Denne type farvandsovervågning er et bidrag til det samarbejde i EU, som kaldes CleanSeaNet. Disse SAR-satellitbilleder kan bruges til at indikere mulige spild af olie. Det er dog behæftet med en risiko for fejl, da billedet viser ændringer i havoverfladen, som også kan være andet end olie, f.eks. pollen fra planter på havoverfladen. Det er derfor altid nødvendigt at få mistanker om oliespild bekræftet af en anden kilde.

Hvis det viser sig, at der er sket en ulovlig olieudledning fra et skib eller en boreplatform, griber de relevante myndigheder ind med bevisindhentning og foranstaltninger til at identificere og straffe de ansvarlige.

Opførelse af vindmøller på land

Satellitbaserede datalag kan gøre det lettere at bestemme den årlige energiproduktion for kommende vindmølleparker på land. Det kan føre til en lavere usikkerhed og besparelser i millionklassen.

Merete Badger [A], Ebba Dellwik [A], Rogier Floors [A], Charlotte Hasager [A], Henning Skriver [A], Jan E. Balling [A], Morten Thøgersen [B], Torsten Bondo [C], Kenneth Grogan [C]

A: Danmarks Tekniske Universitet B: EMD International C: DHI GRAS

Udfordringen

Hver dag udføres hundredvis af vindressourceanalyser alene hos danske virksomheder i vindenergi- og konsulentbranchen. Formålet er at vurdere den mulige elproduktion på en given lokalitet med henblik på opførelsen af vindmølleparker.

Analyserne er typisk forbundet med en stor manuel indsats med at digitalisere og kvalitetskontrollere kortmateriale. Alternativt anvendes globale datasæt, som har en grov opløsning i tid og rum og derfor har åbenlyse problemer med at karakterisere landoverfladen præcist.

> **Den samlede vindenergibranche – vindmølleproducenter, projektudviklere og investorer – stræber efter at reducere usikkerheden på estimater af den årlige energiproduktion. Selv en halv procent tæller, fordi den kan reducere låneomkostningerne med indtil flere mio. euro årligt, afhængigt af størrelsen af det aktuelle vindmølleprojekt.**
>
> *Yavor V. Hristov, Vestas*

Der er en stor metodisk usikkerhed forbundet med klassifikation af arealtyper og estimering af ruheden for hver arealklasse. Ruhedskortene er input til vindmodeller. Kvalitative skøn viser inkonsistens mellem vindressourcer, afhængigt af lokaliteten og specialisten, der analyserer.

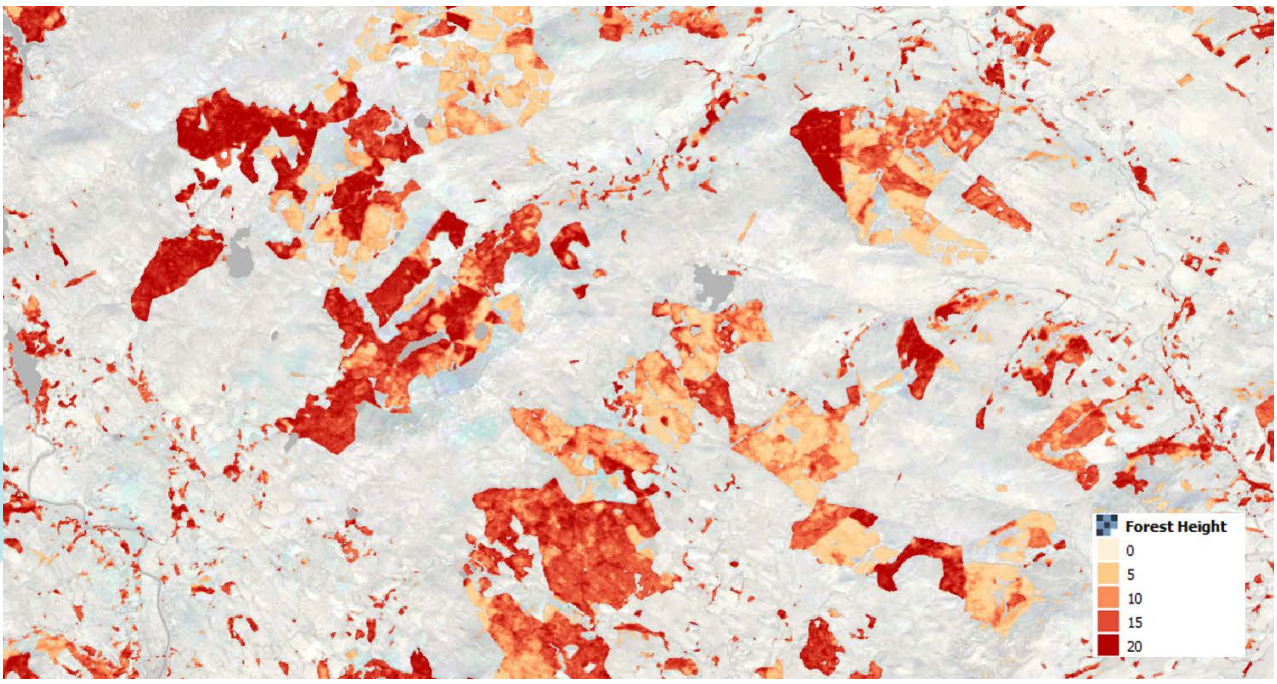
I projektet InnoWind arbejder forskere og specialister fra vindenergi-industrien sammen frem mod automatisering af vindressourceberegninger ved at anvende flere og bedre datalag ud fra de nyeste generationer af højtopløselige satellitdata, som bl.a. er tilgængelige via Copernicus.

Hvordan er satellitdata anvendt

Rådata fra Sentinel-1 og Sentinel-2 danner grundlag for udvikling af et helt nyt produkt: en datapakke med information om vegetationens bladareal, trætype og træhøjde. Tilsammen muliggør disse parametre en helt ny tilgang til modellering af vindressourcer i skovområder, hvor vegetationen nu kan karakteriseres fysisk frem for gennem indirekte klassifikation og ruhedsbestemmelse af landskabet.

Særligt udviklingen af et træhøjdelag kan fremhæves som en innovation, der var stor usikkerhed om ved projektets start. Det viser sig, at kohærensen af observationer med syntetisk aperturradar over tid hænger sammen med højden af træer i skovområder. Og træhøjden spiller en vigtig rolle for vindressourcen og dermed, hvad en given vindmølle forventes at kunne producere.

Analyser af 10 sites overalt på kloden giver en vigtig indikation af potentialet for at udnytte fysisk parameterisering til at opnå en større nøjagtighed af modellering af den årlige energiproduktion. Forbedring af nøjagtigheden skaber i høj grad værdi for den samlede vindenergibranche.



Kort over skovens højde for et område i Skotland baseret på Sentrinel-1- og 2-observationer fra Copernicus.

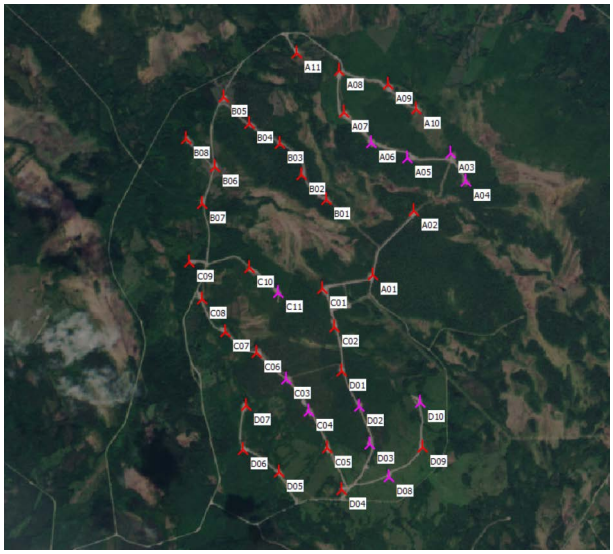
Anvendelser og fordele

Arbejdet med at udvikle satellitbaserede produkter skræddersyet til vindenergibranchen har allerede skabt værdi. Mere end 40 nye dataprodukter fra Copernicus samt andre nationale og internationale kortservices er blevet integreret i porteføljen af online-data, der stilles til rådighed for brugerne af modelværktøjet windPRO. Produkterne benyttes i dag aktivt af mere end 1.500 software-brugere.

Perspektiver og muligheder

De lovende resultater i form af et bedre datagrundlag, som InnoWind har leveret, peger frem mod et stort potentiale for udnyttelse af satellitobservationer i forbindelse med en mere præcis kortlægning af vindressourcer globalt.

Initiativer som Det Globale Vindatlas og Det Nye Europæiske Vindatlas vil inden for kort tid kunne drage nytte af denne type produkter, såfremt der investeres i at udbrede metoder og datasæt til global skala. På national og regional skala, eller for enkelte sites, ligger der et forretningspotentiale i at levere kortmateriale som "Premium products" til brugere af modelværktøjer.



Højtopløselige satellitdata fra Copernicus anvendes til at estimere energiproduktionen. Her for en vindmøllepark i Sverige.

Referencer og partnere

InnoWind er støttet af Danmarks Innovationsfond, og følgende partnere deltager:

- Danmarks Tekniske Universitet
- EMD International
- DHI GRAS
- Vestas
- Vattenfall

Havvindmøller: Planlægning fra rummet

Vindkort over havet fra satellitter anvendes til at beregne vindressourcen og estimere den mulige elproduktion globalt for at fremme omlægning til grøn energi.

Charlotte Hasager [A], Merete Badger [A], Ioanna Karagali [A]

A: DTU Institut for Vindenergi

Udfordringen

Havvindmøller sikrer forbrugerne grøn energi. Det er en udfordring at planlægge havvindmølleparker i Europa, Asien og Nordamerika.

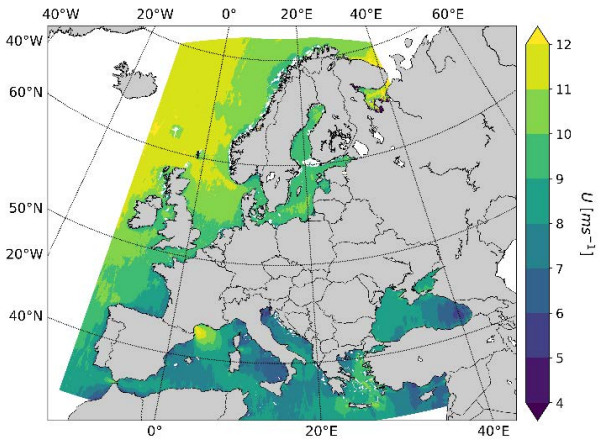
Der er meget få observationer af vinden over havet. Satellitter observerer hele kloden. Der er radar ombord på flere satellitter, og fra disse får man data under alle vejrforhold, dag og nat. Radardata omregnes til vindhastighed og vindretning.

Satellitvindkortene læses ind i software, som beregner vindressourcen. At kende vindressourcen er helt afgørende i planlægningsfasen for at kunne finde de mest vindrige steder til vindmøller. Den forventede elproduktion afhænger af vindhastigheden i tredje potens. Med andre ord, det er vigtigt at kende vindhastigheden så præcist som muligt.

Hvordan er satellitdata anvendt

Copernicus Sentinel-1-satellitten med Synthetic Aperture Radar ombord er supergod til detaljeret kortlægning af vind over havet. Det er muligt at måle vinden i rumlig opløsning på 1x1 km.

Havvindmølleparker dækker som regel arealer fra 30 km² til mere end 100 km². Landet rundt om havet påvirker vinden over havet. Vindressourcen er derfor forskellig inden for den enkelte vindmøllepark. Det er vigtigt at kende vindfordelingen inden for parken for at beregne den forventede elproduktion fra hver enkelt vindmølle.



Det europæiske vindatlas over havet fra Envisat ASAR og Sentinel-1-arkiv fra 2002 til 2018. Middelvind i 100 m højde. Kilde: DTU Vindenergi.

> **Vindkort fra satellitter giver vigtig information om, hvor meget vindhastigheden varierer over store områder og om skyggeeffekter mellem havvindmølleparker.**
>
> *Nicolai Gayle Nygaard, Ørsted*

Radarsatellitbilleder over Europa og udvalgte steder på andre kontinenter modtages dagligt på DTU Vindenergi. Billederne bliver kalibreret og dernæst omregnet til vindhastighedskort. Det sker i nær

Skyggeeffekter af Horns Rev 1 havvindmøllepark i Nordsøen. Kilde: Vattenfall.

realtid, og vindkortene lægges i en database med gratis adgang. Der er mere end 200.000 billeder i databasen https://satwinds.windenergy.dtu.dk/.

Anvendelser og fordele

Fordele ved grøn energi fra havvind er:

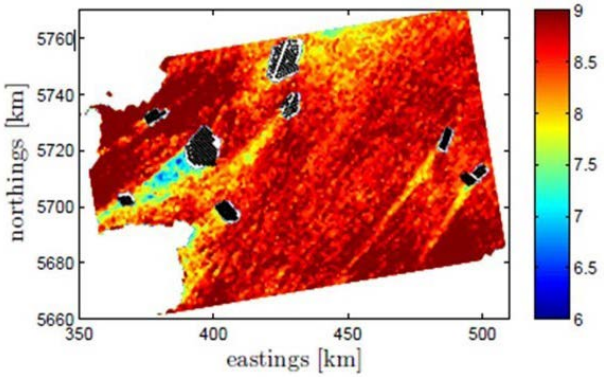
1. Vindressourcen over havet er meget rig.
2. Vindenergi kan levere et stort bidrag til at opfylde FN's verdensmål for energi.
3. Havvind er konkurrencedygtig.
4. Der er mange jobs inden for havvindindustrien, ofte i udkantsområder. Det giver bedre levevilkår der.

Omstillingen til grøn energi fra havvindmøller er afgørende i det moderne samfund. Elektricitet til en konkurrencedygtig pris og sikker levering fra lokale til regionale områder er en vigtig del af den grønne løsning.

Copernicus-data forventes at medvirke afgørende til at introducere konkurrencedygtige løsninger i verden inden for vindenergi baseret på førende europæisk viden.

Perspektiver og muligheder

Vindenergi fra havvindmøller forventes at levere grøn energi til fremtidens energisystemer globalt. Telemåling fra satellitter vil blive anvendt i planlægning og til at optimere produktion, operation og vedligehold. Sentinel-1 i Copernicus-programmet vil være essentielt i den sammenhæng i de kommende år.



Skyggeeffekter af havvindmølleparker i Belgien og Storbritannien set fra radarsatellit. Det sorte markerer mølleparkerne. Der er lav vind sydvest for parkerne (skyggeeffekt). Vind i m/s. Vinden kommer fra nordøst. Kilde: DTU Vindenergi.

Referencer og partnere

Copernicus Sentinel-1-scener. Bevilling til projekterne Det Ny Europæiske Vindatlas ERANET+ og EU H2020 e-shape. Vindberegnings-software fra JHU APL og NOAA.

Grønlandske Anvendelser

Kortlægning af fjeldskred i Grønland 72
Satellitdata til kortlægning i Arktis 74
Detektion af voldsomme forandringer i naturen 76
Kortlægning af Grønlands israndssøer 80
Hvor hurtigt flyder Grønlands indlandsis? 82
Højdeændringer af indlandsisen 84
Israpporter til skibe der sejler i nærheden af kysten 86
Præcis og tidssvarende kortlægning af kystområder er afgørende for sikker navigation i Arktis 88
Haviskortlægning til skibe omkring Grønland 90
Kortlægning af havis med Sentinel-1 og kunstig intelligens 92
Satellitbilleder til taktisk sejlads i isfyldte farvande 94
Detektering af isbjerge omkring Grønland 96
Informationstjeneste for isbjerge i Nordatlanten 100
Forsvarets arktiske kommando bruger Copernicus hver dag 102

Kortlægning af fjeldskred i Grønland

Detaljerede målinger af deformation fra Sentinel-1-satellitterne er et uundværligt redskab til at vurdere risikoen for større fjeldskred i Grønland.

Anne Munck Solgaard [A], Sara Salehi [A], Marie Keiding [A], Kristian Svennevig [A], John Merryman Boncori [B]

A: De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland B: Danmarks Tekniske Universitet

Udfordringen

Den 17. juni 2017 blev den vestgrønlandske bygd Nuugaatisiaq ramt af en flodbølge (tsunami), som var forårsaget af et fjeldskred i Karratfjorden. Tsunamien medførte store ødelæggelser i bygden, og fire personer omkom. Katastrofen gjorde det klart, at der er behov for at vide, hvor der er risiko for kommende fjeldskred i Grønland af en størrelse, der kan forårsage en ny tsunamiulykke.

På grund af Grønlands størrelse og fordi det er vanskeligt og dyrt at komme rundt, er det ikke muligt at besøge alle fjeldsider for at kortlægge, hvorvidt de udgør en risiko. I stedet kan man anvende satellitdata kombineret med viden om geologien til at undersøge, hvilke steder der udgør en fare.

Hvordan er satellitdata anvendt

Copernicus-programmets to Sentinel-1-satellitter bruges til at måle deformation på jordoverfladen som f.eks. løse stenmasser i langsom bevægelse ned ad en fjeldside. Der optages løbende nye satellitdata over Grønlands kystområder, og de er frit tilgængelige, hvilket gør dem ideelle til overvågning af store og øde områder. Deformation kan enten måles ved at sammenligne data fra to forskellige tidspunkter eller ved at sammenligne hele tidsserier af satellitdata. Radardata har desuden den fordel, at brugen ikke er begrænset af mørke eller skyer, som den er for optiske billeder.

Optiske billeder fra Sentinel-2-satellitterne bliver i de lyse årstider optaget flere gange om ugen i Grønland. Billedernes opløsning gør dem ikke egnede til detaljekortlægning, men større fjeldskredsaktivitet såsom større landmasser, der bevæger sig, eller stenfald oven på sne ses tydeligt.

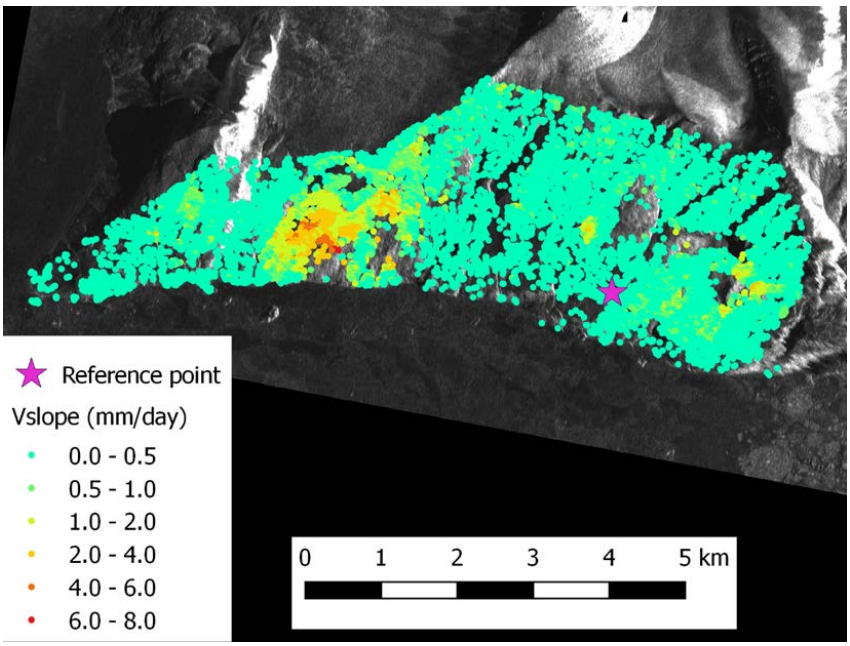
Anvendelser og fordele

Tilsammen giver kombinationen af deformation fra Sentinel-1 og optiske billeder vigtig og hurtig information til at vurdere en fjeldsides stabilitet.

Denne viden kan anvendes til at indskrænke og afgrænse, hvilke områder som må undersøges nærmere i felten. På denne måde spares tid og penge.

Hvis der sker et skred, kan satellitdataene hjælpe med at give et første overblik over hændelsen. Desuden er det muligt at undersøge udviklingen af området i tiden op til skredet ved hjælp af tidsserier af data.

Større fjeldskred bliver også observeret af fintfølende seismografer, som måler rystelser i jorden. Her kan man udnytte, at forskellige typer data har forskellige fordele. Seismiske målinger kan bestemme tidspunktet for en hændelse præcist, men ikke det præcise sted, mens det er omvendt for satellitobservationerne.



Et eksempel på gennemsnitlige deformationshastigheder ned ad en fjeldside i Karratfjorden mellem juni og oktober 2018.

Figurerne viser eksempler på de anvendte data: et hastighedskort baseret på Sentinel-1-data og et optisk billede fra Sentinel-2. På hastighedskortet ses bevægelser på en bjergside som ændringer i farve hen over skalaen. Figuren med det optiske billede viser, hvordan et område med et tidligere skred (markeret med rødt) stadig er aktivt (nedfaldende sten farver sneen brun).

Optiske satellitbilleder anvendes til at få overblik over større områder og til at kortlægge strukturer.

Perspektiver og muligheder

Når man beskæftiger sig med områder, der er så store og øde som Grønland, er satellitdata en vigtig kilde til overblik. Derudover giver det mulighed for, i en vis grad, at overvåge potentielt farlige fjeldsider uden at skulle være til stede. I samspil med feltobservationer er det muligt at forstå de geologiske processer og omstændigheder, der medfører, at en fjeldside bevæger sig. De er typisk forskellige fra sted til sted og meget afhængige af lokale geologiske forhold.

Referencer og partnere

Dette arbejde bliver udført i samarbejde mellem De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) og Danmarks Tekniske Universitet (DTU Space).

Satellitdata til kortlægning i Arktis

Sentinel-2 billeddata benyttes som det grundlæggende ortofoto, når Grønland nykortlægges. Sentinel-data sikrer aktuelle og ensartede data, hvilket er perfekt til at danne et fælles fundament i kortlægningsbestræbelserne.

Andrew Flatman [A], Mark Falkenberg [A], Niels Johnsen Vinther [A]

A: Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering

Udfordringen

Adgangen til præcise og troværdige kort har stor værdi, men i Arktis kan det betyde forskellen mellem liv og død. Dette er noget, Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering er meget bevidst om, og lige nu, hvor styrelsen er i færd med en fuldstændig nykortlægning af Grønland, er det kun blevet endnu mere tydeligt. Men at nykortlægge i Arktis er ingen enkel opgave. Når mere befolkede områder kortlægges, benyttes som regel foto optaget fra fly, men i øde områder fjernt fra infrastruktur og langt til selv de mindste lufthavne er fly ikke en optimal løsning. Så når Grønland skal nykortlægges, benyttes i stedet satellit.

Men hvordan sikrer styrelsen, at de grønlandske kort bliver præcise og troværdige i øde egne af Grønland, fjernt fra beboelse og infrastruktur?

Hvordan er satellitdata anvendt

Til denne nye generation af kort over Grønland benyttes satellitdata, og Sentinel-2 data spiller her en central rolle med hensyn til at sikre både sammenhængende og ensartede data. Ved at benytte disse satellitdata og supplerende satellitdata med højere opløsning produceres nye ortofoto, højdemodeller og topografiske kort over hele det isfrie Grønland.

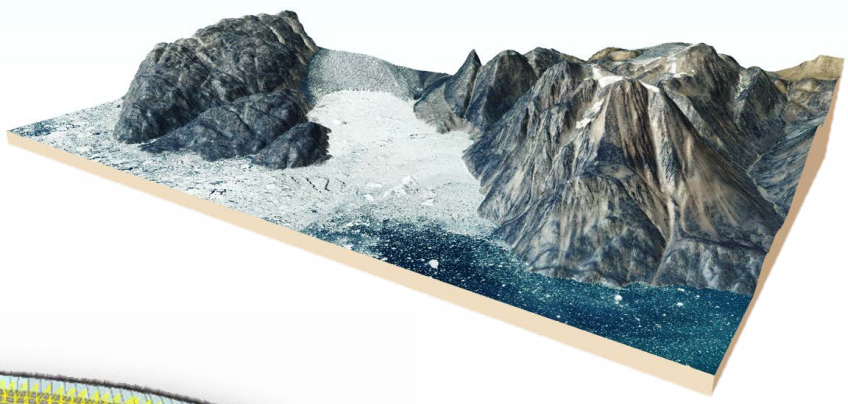
For at sikre at kort er nøjagtige benyttes normalt fikspunkter – Ground Control Points (GCP) målt fra jorden. Men når disse fikspunkter skal indmåles i Arktis, løber man ind i de samme udfordringer som ved flyfotograferingen. Indmålingen bliver meget omkostningstung på grund af de store afstande. Så for at komme omkring dette blev forskere, der alligevel besøger Grønland udstyret med GPS-modtagere, bedt om at opmåle naturlige fikspunkter som f.eks. store sten og hytter. Desværre viste dette sig problematisk, da hytter og selv store sten reelt kan være umulige at se, selv på satellitbilleder med høj opløsning.

> **Adgang til frie Copernicus-data er af stor værdi for kortlægningen af Grønland. At have adgang til løbende data sikrer, at kortlægningsarbejdet kan forblive aktuelt, og vi ser frem til at anvende Sentinel endnu mere i fremtiden.**
>
> *Lola Bahl, Projektleder for kortlægning, Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering*

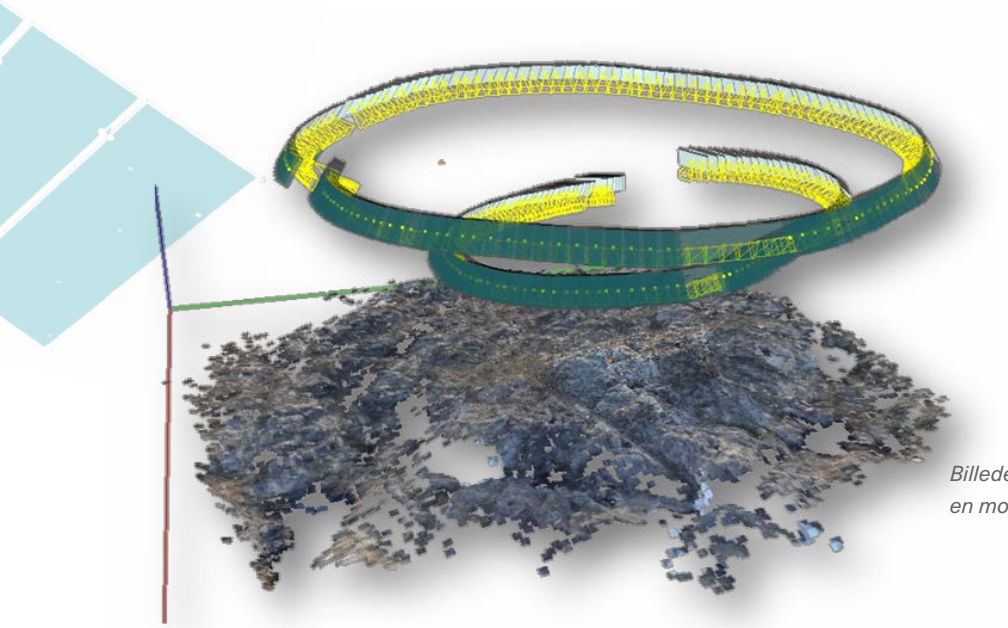
Løsningen på problemet viste sig at være at gentænke det klassiske fikspunkt. Nu anvendes i stedet en fiksflade, Ground Control Area (GCA).

Anvendelser og fordele

For at skabe fiksflader udnyttes nye muligheder fra fotogrammetrien. Som supplement til at indmåle et fikspunkt på jorden optager forskerne nu også et stort antal billeder fra den helikopter, som de ankommer i. Helt specifikt flyver helikopteren to



Nykortlægning af Grønlandmed topografiskkort, ortofoto og højdemodeller.



Billeder optager fra helicopter samles til en model I 3D

runder om fikspunktet i to højder, imens billederne optages med et kamera med indbygget GPS. På baggrund af disse billeder benyttes herefter fotogrammetrisk software til at beregne både en højdemodel og ortofoto, og selvom GPS-koordinaterne i kameraet ikke er specielt nøjagtige, sikrer den fotogrammetriske proces og det præcise fikspunkt målt på jorden, at nøjagtigheden er god. Den store fordel ved denne tilgang er, at den afledte fiksflade nu både visuelt og matematisk kan findes i satellitbilleder med selv dårlig opløsning. Som ekstraudbytte kan fiksfladen i form af højdemodellen nu også benyttes som fikspunkt til andre højdemodeller.

Med denne løsning kan Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering efterprøve og kontrollere, at nye ortofoto, højdemodeller og topografiske kort har en ensartet og acceptabel nøjagtighed.

Perspektiver og muligheder

I de kommende år vil der, i takt med at Grønland genmåles, også komme flere fiksflader, hvilket vil hjælpe til at sikre og forbedre nøjagtigheden og troværdigheden af de grønlandske kort. Som supplement til kortene vil fiksfladerne også blive gjort frit tilgængelige til stor hjælp for andre brugere af Copernicus og andre geografiske datasæt.

Referencer og partnere

Udviklingen af nye ortofoto af Grønland muliggøres gennem data fra Copernicus-programmet. Arbejdet med såkaldt "mutual information co-registration" er udviklet af Allan Aasbjerg Nielsen, DTU Compute, Close Range Photogrammetry Acquisition, og udført af Finn Bo Madsen, DTU SPACE.

Detektion af voldsomme forandringer i naturen

Sammenlignes to SAR-billeder taget på forskellige tidspunkter over et bestemt område fra præcis den samme højde og vinkel, kan man se de forandringer, der er sket i landskabet mellem optagelserne. Denne metode hedder Coherent Change Detection, og den blev testet på det grønlandske område Nuugaatsiaq før og efter tsunamien i sommeren 2017.

Claus Sølvsteen, GeoMETOC (FMI)

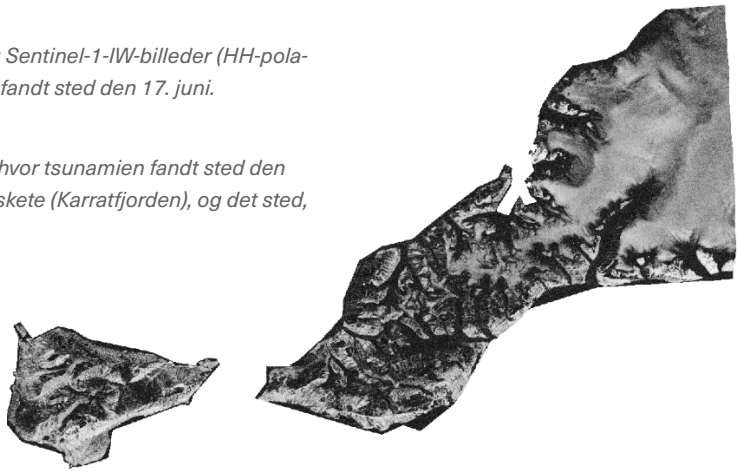
Udfordringen

I mange situationer kan man være interesseret i at undersøge, om der er sket en forandring i et område i et bestemt tidsrum, og/eller hvor en forandring er sket, og/eller hvor stor en given forandring er. Her kan en sammenligning af satellitbilleder før og efter den mulige forandring være nyttig. Både satellitbilleder i det optiske område og radarområdet kan bruges her. Optiske billeder ligner den virkelighed, vi kender, men til gengæld kan man ikke se noget om natten eller ved skydække. Radarbilleder kræver lidt tilvænning, men til gengæld virker de også om natten og ved skydække. Denne analyse undersøger tsunamien i Nuugaatsiaq i Grønland den 17. juni 2017 ved at sammenligne tre Sentinel-1-radarbilleder, to optagelser før og en efter tsunamien.

Hvordan er satellitdata anvendt

Tre Single Look Complex (SLC) Sentinel-1-billeder i interferometrisk mode (IW) er blevet brugt. Der er blevet foretaget en "coherent change detection" (CCD)-analyse på billederne parvis, og de resulterende billedprodukter viser områder med forandringer som sorte/mørke, mens områder uden forandringer vises hvide/lyse.

Forandringerne behøver dog ikke kun at komme fra de undersøgte forandringer (i dette tilfælde tsunamien), men kan også skyldes mange andre ting, dels ting i landskabet som nyfalden sne, smeltet sne, planter, der er vokset, etc. og dels fænomener mellem jorden og satellitten som atmosfæriske forstyrrelser og forskelle pga. lidt forskellige synsvinkler for de involverede satellitter. Som det ses i



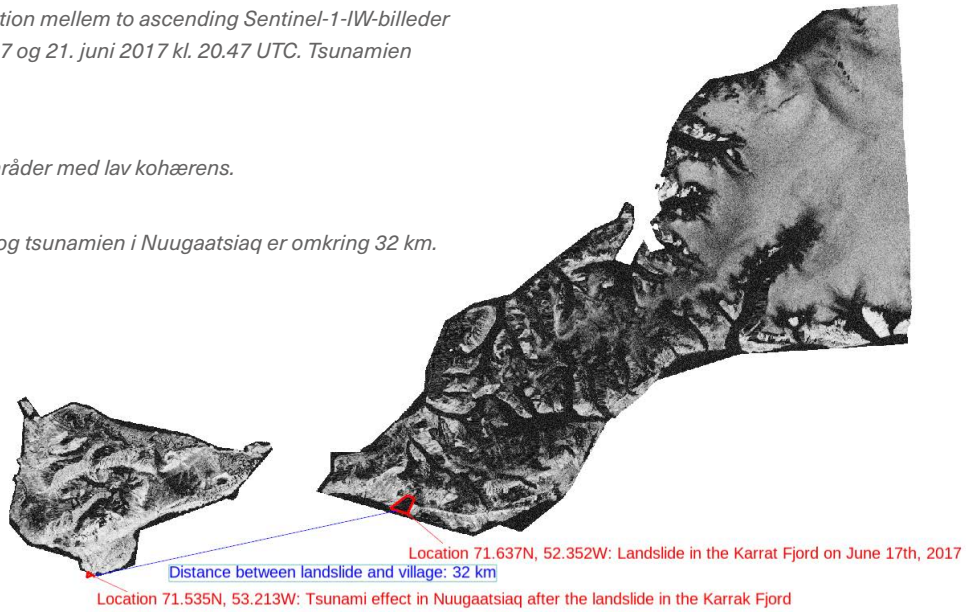
Figur 1: Coherent Change Detection mellem to ascending Sentinel-1-IW-billeder (HH-polarisation) fra 15. og 21. juni 2017 kl. 20.47 UTC. Tsunamien fandt sted den 17. juni.

Når man sammenligner billederne fra 15. juni og 21. juni (hvor tsunamien fandt sted den 17. juni), kan man identificere det sted, hvor jordskreddet skete (Karratfjorden), og det sted, hvor tsunamien ramte (Nuugaatsiaq).

Figur 2: Coherent Change Detection mellem to ascending Sentinel-1-IW-billeder (HH-polarisation) fra 15. juni 2017 og 21. juni 2017 kl. 20.47 UTC. Tsunamien fandt sted den 17. juni.

Bemærk placeringen af de to områder med lav kohærens.

Afstanden mellem jordskreddet og tsunamien i Nuugaatsiaq er omkring 32 km.



CCD-sammenligningen mellem to billeder før tsunamien (hhv. 9. juni og 15. juni 2017), er der mange sorte områder (tegn på forandringer), selvom ingen af disse forandringer har med tsunamien at gøre. Man skal altså vide, hvad man kigger efter, og hvor man skal kigge, for at få noget ud af analysen.

Anvendelser og fordele

Denne type analyser kan ikke blot vise, hvor jordskred og tsunamier har fundet sted, men kan også vise omfanget af oversvømmelser, vulkanudbrud, jordskælv, brande, regnskovsødelæggelser osv. Som nævnt ovenfor viser CCD-analysen alle de ændringer, som er sket mellem optagelserne, og ikke kun de ændringer, som man ønsker at kunne finde. Det kan således være lidt af et detektivarbejde at identificere de relevante ændringer.

Jo flere billeder man har, før den relevante ændring er sket, jo bedre, idet man så kan få en fornemmelse af, hvad der er normale ændringer mellem optagelserne. Derudover er det optimalt med kort tidsafstand mellem optagelserne før og efter ændringen, så irrelevante ændringer så vidt muligt sorteres fra.

Perspektiver og muligheder

Metoden med udnyttelse af Sentinel-1-billeder virker kun, hvis der over det ønskede område optages scener i interferometrisk mode (IW). Sådanne IW-scener med deres relativt høje opløsning egner sig også til at måle landskabsforandringer og -forskydninger, at beregne digitale højdemodeller o.l., så generelt er IW-scener meget relevante over land. Jo flere IW-scener, der optages over et givet område, jo bedre for en lang række landbaserede analyser.

Referencer og partnere

John Peter Merryman Boncori, DTU-SPACE, for værdifuldt bidrag til denne analyse.

Afsmeltning fra Inlandsisen i Sydgrønland

Effekterne af klimaforandringer er især blevet tydelige i Grønland. Ifølge et studie offentliggjort i tidsskriftet Nature, Return to rapid ice loss in Greenland and record loss in 2019 detected by the GRACE-FO satellites, mistede Grønland 586 milliarder ton is i 2019, hvilket var et bidrag til den globale havvandsstigning på 1,5 mm.

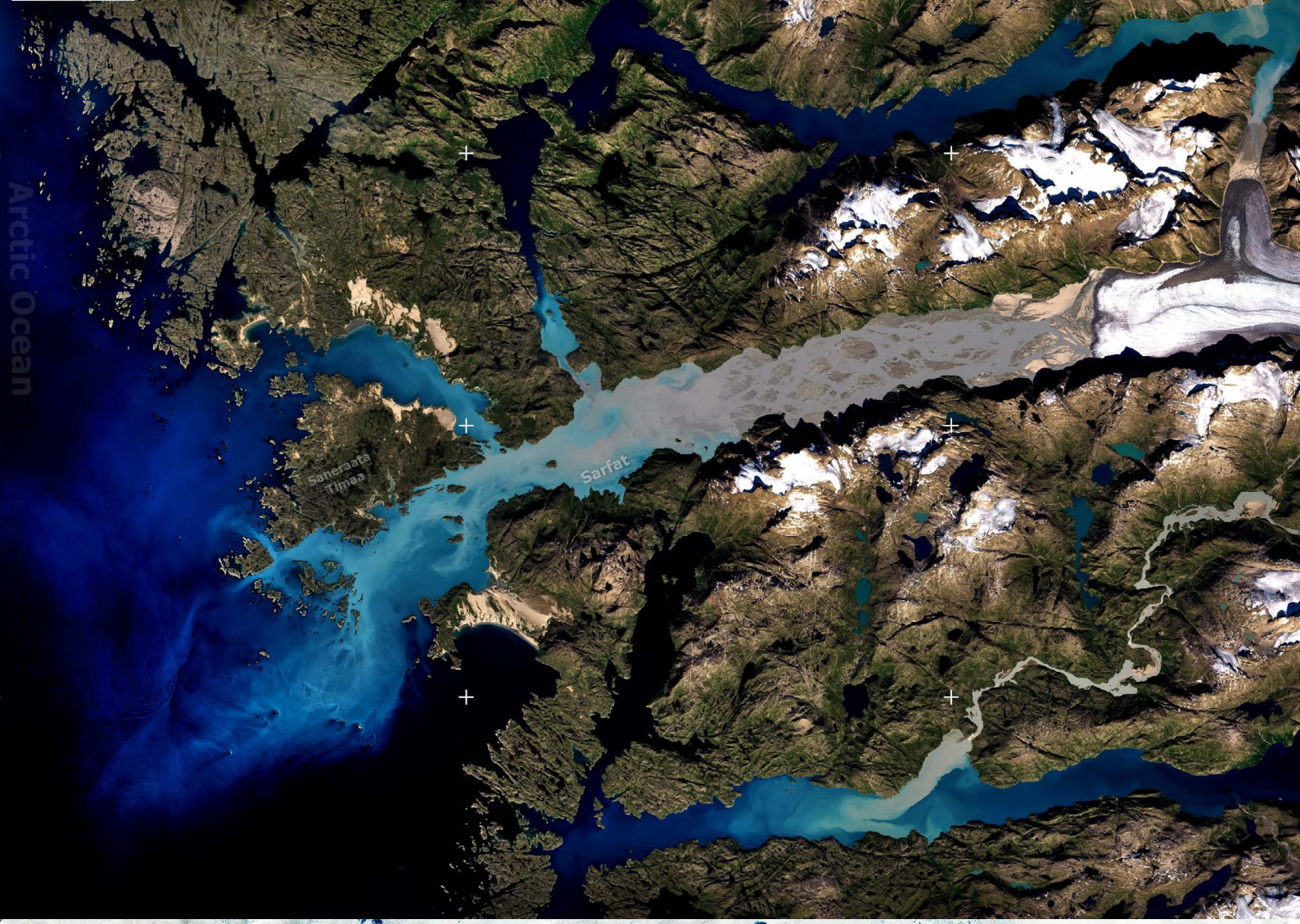
Billedet er optaget med Copernicus Sentinel-2 d. 20. august 2020, og viser afsmeltning og gletsjerudløb i et område syd for Nuuk. Sentinel satellitterne bidrager til monitorering af Indlandsisen og lokale gletsjere i Grønland.

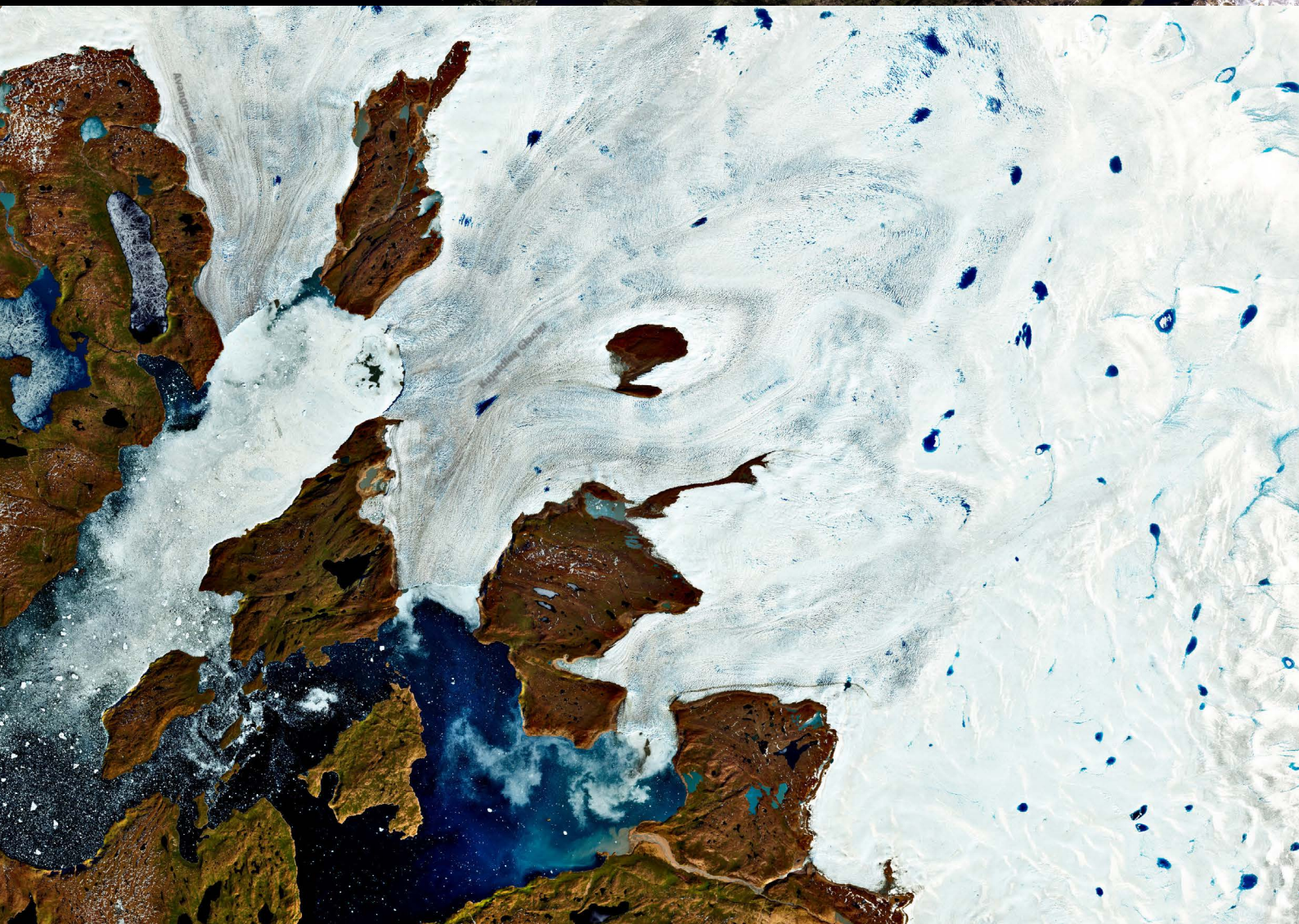
Kilde: European Union, Copernicus Sentinel-2 imagery.

Smeltevandssøer langs Grønlands indlandsis

Billedet her er optaget fra Sentinel-2 d. 28. juni 2020, og viser en række smeltevandssøer omkring gletsjerudløbene Avangnardleq og Kujatdleq.

Kilde: European Union, Copernicus Sentinel-2 imagery.


Arctic Ocean
Sarfat



Kortlægning af Grønlands israndssøer

Grønland har over 3.300 israndssøer. Det er den første optælling af disse søer. Den blev muliggjort ved at kombinere Copernicus datasæt og andre basisdata.

Alexandra Messerli [A], Penelope How [A], Eva Mätzler [A], Maurizio Santoro [B], Andreas Wiesmann [B], Rafael Caduff [B], Kirsty Langley [A], Mikkel Høegh Bojesen [A], Frank Paul [C], Andreas Kääb [D]

A: Asiaq Greenland Survey B: Gamma Remote Sensing C: University of Zürich D: University of Oslo

Udfordringen

Grønland har cirka 3.347 israndssøer. De befinder sig langs israndenog er ofte opdæmmet på et eller flere steder. Nogle israndssøer dræner i en flom, efter at søen har nået et kritisk niveau, og dæmningerne har svigtet.

På grund af klimaforandringer bliver israndenen generelt tyndere og trækker sig tilbage. Det gør, at israndssøerne også forandrer deres afstrømningsmønstre og bliver mere uforudsigelige. Frekvensen af flom forårsaget af israndssøerne kan ændre sig i takt med gletsjernes og indlandsisens tilbagetrækning. Det er kun muligt at overvåge ændringer af israndssøernes omfang og afstrømningsfrekvens ved hjælp af satellitbilleder.

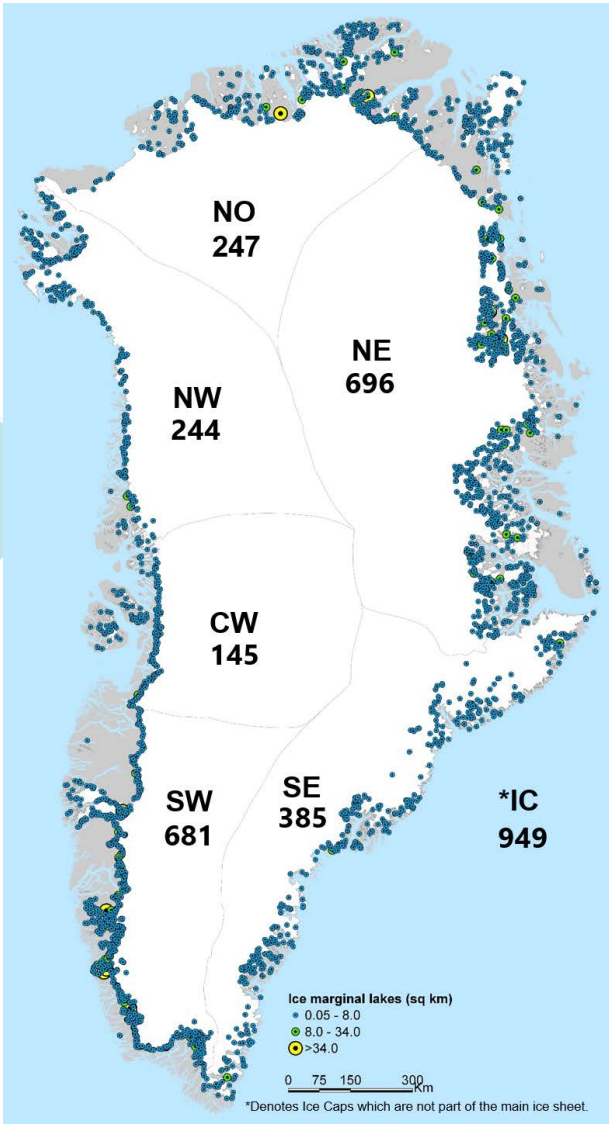
Hvordan er satellitdata anvendt

Grønland er stort, med et areal på over 2 millioner kvadratkilometer. Heraf er næsten 80 % dækket af is, der danner Grønlands indlandsis. Overvågning af miljøændringer i et højt detaljeringsniveau er umulig at opnå ved hjælp af traditionelle feltopmålinger alene, delvis på grund af manglen på veje mellem byer og bygder og vanskelige adgangsforhold. Satellitbilleder er derfor et værdifuldt værktøj til overvågning af Grønland med en høj rumlig og tidsmæssig opløsning. Ca. 147 Sentinel-2 satellitbilleder dækker Grønlands isfrie område i en 10 m opløsning hver 6. dag. Sådanne hyppige, detaljerede data er værdifulde til overvågning af et enormt stort område. Meget af Grønland ligger nord for polarcirklen, og tilgængeligheden af Sentinel-1 data giver os mulighed for at overvåge disse regioner, selv under overskyede forhold eller under polarnatten, når der ikke er sollys. Dette øger hyppigheden af billeder over det samme sted, så vi kan registrere ændringer i søerne og afløbsbegivenheder i en hidtil uset tidsmæssig opløsning.

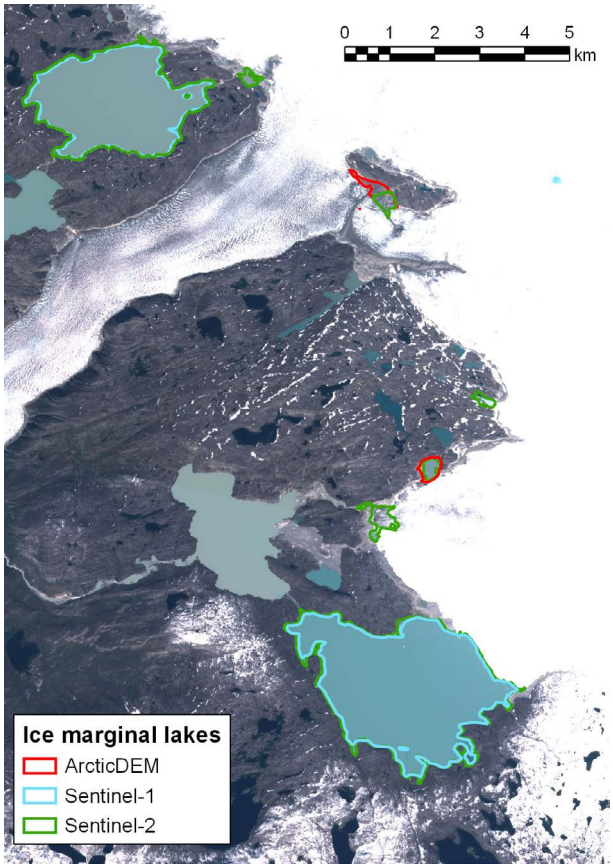
Anvendelser og fordele

Hydrologiske ressourcer i Grønland, inklusive israndssøerne, er af stor betydning. Selvom Grønland sandsynligvis ikke vil løbe tør for vand i den nærmeste fremtid, medfører klimaforandringer ændringer med hensyn til, hvor og hvornår vandressourcer er tilgængelige. Vi har meget detaljerede in situ-målinger fra udvalgte hydrologiske oplande i Grønland. I kombination med satellitbilleder er vi også i stand til at overvåge ændringer af vandoplande i en bredere skala såsom ændringer i reservoirstørrelse for vandkraft.

Israndssøer har potentiale til katastrofale ødelæggelser i Grønland. Selvom landet er tyndt befolket, færdes mange i områder, der ligger direkte i et potentielt oversvømmelsesområde, f.eks. i forbindelse med jagt og fiskeri. Derudover udgør israndssøer en risiko for infrastruktur, som ligger nedstrøms, såsom bosættelser, veje og broer. Flom forekom-



Grønlands israndssøer. De angivne værdier er antallet af søer identificeret I hver sektor.



Et eksempel på søerne fundet ved de forskellige metoder i det sydvestlige Grønland.

mer ofte pludseligt og uden advarsel, hvorved der hurtigt frigives store vandmængder bestående af mudder, sand, stenblokke og isbjerge. Ved at kombinere satellitdata med in situ-målinger kan vi informere brugergrupper og kommuner om ændringer i søernes tilstand og rådgive om mulige risici for oversvømmelse.

Perspektiver og muligheder

Israndssøernes optælling danner et værdifuldt baseline-datasæt, der dokumenterer forekomsten af israndssøer i Grønland. Det kan udbygges med yderligere datasæt fra andre satellitter og gamle luftfoto. Den fortsatte dataindsamling fra satellitterne Sentinel-1 og Sentinel-2 vil sikre den fremtidige overvågning af israndssøer i Grønland. Med yderligere observationer kan vi konstatere ændringer i antallet af disse søer sammenlignet med baseline-optællingen og undersøge deres afløbsdynamik under klimaændringers påvirkning.

Referencer og partnere

Projektet med optælling af israndssøerne blev finansieret at ESA Glacier CCI.

Hvor hurtigt flyder Grønlands indlandsis?

Kortlægning af isens flydning fra Sentinel-1 giver mulighed for at observere isens dynamik i nær realtid.

Anne Solgaard [A], Kenneth Mankoff [A], Robert Fausto [A], Anders Kusk [B]

A: De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland B: Danmarks Tekniske Universitet

Udfordringen

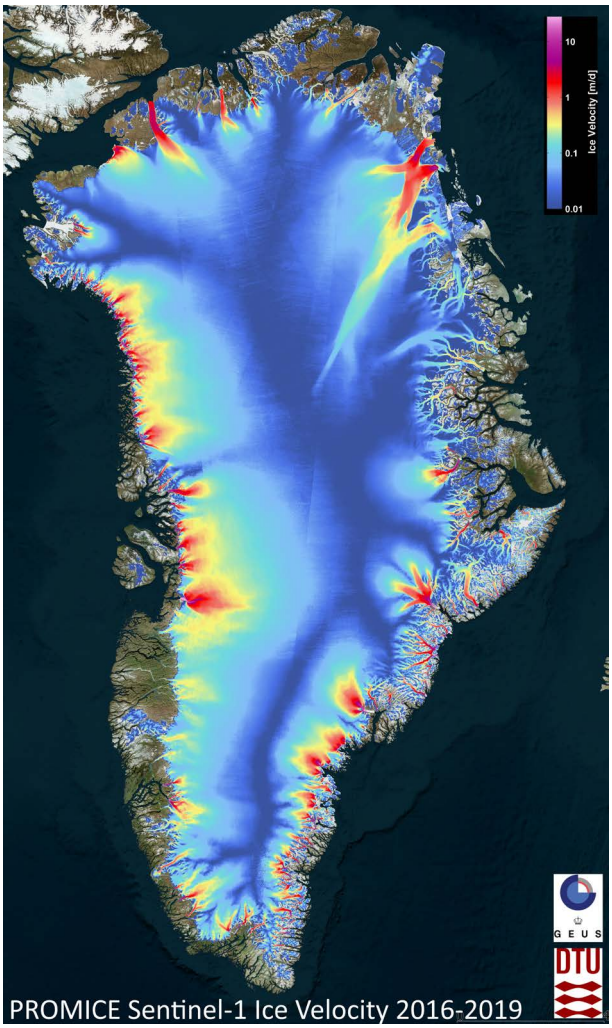
Verdenshavene stiger, i takt med at indlandsisen smelter og bliver mindre år for år. Vand, der før var bundet som is på land, er nu smeltet eller endt som et af de mange isbjerge, der bliver produceret fra indlandsisens mange udløbsgletsjere. Dette har konsekvenser, ikke bare lokalt, men for alle lavtliggende områder i verden. Derfor er det vigtigt at få viden om, hvor meget is iskappen mister hvert år, samt at forstå dens dynamik.

Dette er netop formålet med PROMICE (Programme for Monitoring of the Greenland Ice Sheet), som har til opgave at overvåge Grønlands indlandsis. Indlandsisen dækker et enormt område på 1,8 millioner kvadratkilometer, hvilket umuliggør overvågning udelukkende fra overfladen.

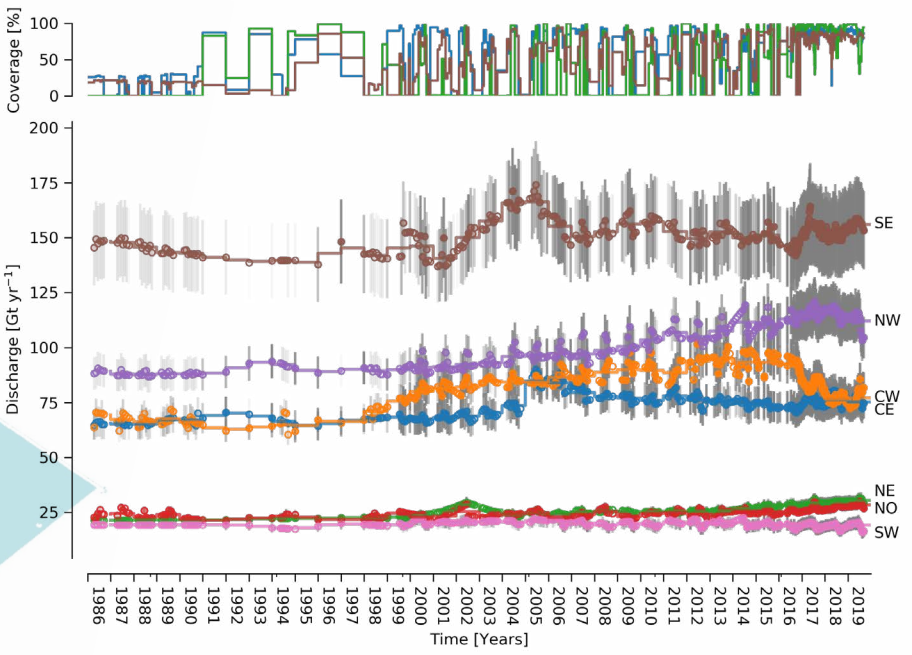
Hvordan satellitdata er anvendt

I PROMICE anvendes syntetisk aperturradar (SAR)-data fra Sentinel-1 til at beregne, hvor hurtigt isen bevæger sig og lave hastighedskort, der dækker hele indlandsisens rand hver 12. dag.

Dette gøres ved at anvende en teknik, der hedder offset tracking på par af radarbilleder, som dækker det samme område. Metoden kan måle forskydning af både genkendelige elementer (såsom sprækker i isen) og mønstre i den statistiske fordeling af støj i billederne (også kendt som speckle-støj). De målte forskydninger mellem de to billeder konverteres til ishastigheder. Ved at bruge mange billedpar, der dækker forskellige områder, kan man til sidst sætte dem sammen til en mosaik, der dækker hele Grønland som vist på figuren ovenfor.



Eksempel på et ishastighedskort. De hurtigt flydende udløbsgletsjere træder frem med røde farve.



Så meget is kælves ud i havet fra forskellige områder af indlandsisen

Anvendelser og fordele

Overfladeishastigheder anvendes i flere sammenhænge:

Indlandsisen mister masse ved afsmeltning, og ved at udløbsgletsjere kælver ud i havet. Hvor meget is, der kælver kan man beregne ved at bruge ishastighederne kombineret med viden om isens tykkelse der, hvor gletsjerne når havet. På grund af den høje tidslige opløsning af satellitdata kan man holde øje med, hvor meget is der transporteres ud i havet stort set "live" (se figuren på denne side). Indlandsisens samlede massebudget kan derved estimeres som summen af den masse, der tilføres (nedbør), samt den masse, der forsvinder (smeltning og kalvningsraterne). Bliver massebudgettet negativt, kan man se, hvilken del af iskappen der mister mest masse.

Isens flydning påvirkes på både kortere og længere tidsskala af mange forskellige faktorer, f.eks. afsmeltning på overfladen eller havvandets temperatur. Her kan ishastighedskortene bidrage til at forstå samspillet mellem de forskellige elementer, og hvordan isens dynamik påvirkes.

Perspektiver og muligheder

Ishastighedskortene baseret på Sentinel-1-data samt kælvingsrater fra alle gletsjere i Grønland produceres rutinemæssigt som en del af PROMICE. De er frit tilgængelige for alle og kan downloades fra www.promice.dk.

Begge aspekter er vigtige: At tidsserien vokser, i takt med at nye data optages, giver unik mulighed for at få indblik i dynamiske processer, og hvordan de spiller sammen lige nu og her. At data er frie for alle gør, at brugerskaren øges, og at andre kan bruge tidsserien til lige netop deres idé.

Referencer og partnere

PROMICE er finansieret af De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) og Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, under Danish Cooperation for Environment in the Arctic (DANCEA), og udføres sammen med DTU Space og Asiaq.

Højdeændringer af indlandsisen

Data fra Den Europæiske Rumorganisations Cryosat-2 og Copernicus Sentinel-3 satellitter kan bruges til at beregne højdeændringer, der er offentligt tilgængelige på polarportal.dk

Sebastian B. Simonsen [A], Louise S. Sørensen [A]

A: DTU Space

Udfordringen

Det arktiske område oplever den globale opvarmning stærkere end andre steder på Jorden. En global opvarmning på 2 grader forventes at blive fordoblet i det arktiske. Derfor er den grønlandske indlandsis en nøgleregion til at overvåge effekterne af den menneskabte globale opvarmning.

Global Climate Observing System (GCOS) har defineret 54 væsentlige klimavariabler (ECV'er). En ECV er en fysisk, kemisk eller biologisk variabel (eller sæt af variable), der bidrager til karakteriseringen af Jordens klima. Derfor er ændring af højden af indlandsisen blevet defineret som en ECV, og det er denne ECV, vi monitorerer på polarportal.dk.

Hvordan er satellitdata anvendt

Den store udstrækning af indlandsisen gør det umuligt at overvåge hele isen på en gang vha. in situ-målinger. Derfor er den eneste relevante datakilde for overvågning af indlandsisens højdeændring telemålinger fra satellitter.

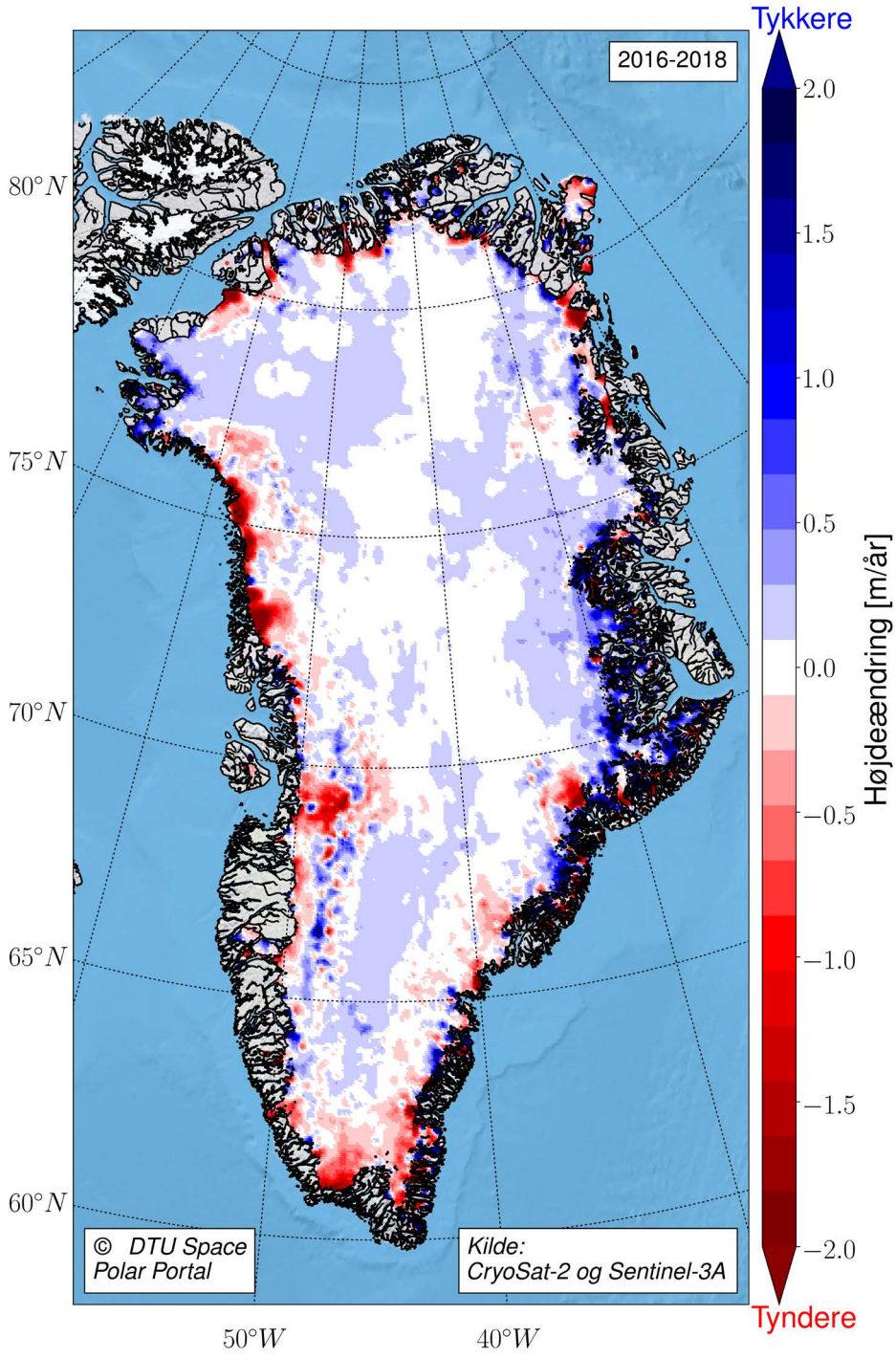
Den Europæiske Rumorganisation (ESA) har en lang tradition for at lancere satellitradaraltimetere med en bane og frekvens, der er egnet til at overvåge de snedækkede områder i det høje arktiske område. Denne tidsserie blev startet i 1991 med opsendelse af ERS-1 og blev videreført af ERS-2, ENVISAT og CryoSat-2, der alle giver estimater af ishøjde. Ved opsendelse af Copernicus Sentinel-3-serien af satellitter er denne lange tidsserie af højdeændring sikret, og derfor kan vi begynde at bygge operationelle tjenester, der giver estimater for højdeændrings-ECV'en.

Den lange tidsserie af målinger af ishøjde analyseres for at give et klimatologisk skøn over højdeændringer hen over 3-5 års data. Da Sentinel-3A missionen nu har været operationel i tre år, bruges data nu fra denne mission sammen med data fra ESA's CryoSat-2 data til at give årlige opdateringer om den aktuelle tilstand på indlandsisen på polarportal.dk.

Sne i bevægelse hen over indlandsisen, er en af de måder, hvorpå højden af indlandsisen ændres.

Anvendelser og fordele

Polarportal.dk er et arktisk overvågningswebsted, hvor de danske arktiske forskningsinstitutioner præsenterer den nyeste viden og tilstand om de to hovedkomponenter i det arktiske klimasystem: grønlandsisen og den arktiske havis.



Årlige estimater af højdeændringer for indlandsisen præsenteres på sitet og giver sammen med de andre klimaparametre et sted, hvor både offentligheden og beslutningstagerne kan finde nødvendig information, når de ønsker at se indlandsisens nuværende tilstand og dens direkte bidrag til den globale havniveaustigning.

Perspektiver og muligheder

Sentinel-3A har været i kredsløb siden den 16. februar 2016, og Sentinel-3B blev opsendt den 25. april 2018. Derfor venter vi nu på, at tidsserien for Sentinel-3B skal modnes, før den føjes til det operationelle produkt, der er tilgængeligt gennem polarportal.dk. Et produkt, der i øjeblikket også indeholder data fra CryoSat-2. Da CryoSat-2-missionen allerede er langt ud over forventet levealder, forventer vi snart kun at kunne stole på datastrømmen fra Copernicus Sentinel-programmet. Da Sentinel-3C og Sentinel-3D er klar til at efterfølge A og B, er den årlige højdeændrings-ECV imidlertid sikret i den kommende tid.

Israpporter til skibe der sejler i nærheden af kysten

Sentinel-1 SAR data i høj opløsning i konstellation med TerraSAR-X har med succes erstattet helikopteroperationer som grundlag for lokal isinformation i Sydgrønland.

Keld Qvistgaard, Grønlands Istjeneste, Danmarks Meteorologiske Institut

Udfordringen

Navigation i visse isdækkede områder udgør ekstraordinære udfordringer for skibsfarten. Et af disse områder er de sydgrønlandske kystnære farvande, hvor der sejler mange små og mellemstore skibe. I de smalle stræder og fjorde forekommer der imidlertid både havis og isbjerge, og det er en stor fare og forhindring for lokal skibsfart året rundt.

DMI's istjeneste har gennem flere årtier haft en dedikeret helikoptertjeneste og specialuddannet personale på stedet for at overvåge, kortlægge og rapportere lokale isforhold til skibsfarten.

Denne opsætning er imidlertid kostbar, arbejdskrævende, sårbar over for dårligt vejr, og den opnåelige opdateringsfrekvens er ikke tilfredsstillende for det stigende antal brugere til søs.

Hvordan satellitdata er anvendt

Opsendelsen af Sentinel-1 konstellationen var en milepæl. DMI kunne i november 2017 lukke det lokale grønlandske kontor og de helikopterbaserede tjenester. Skiftet skete efter fire års forberedelse og implementering af SAR data med høj opløsning i produktionslinjen i DMI-hovedkvarteret i København.

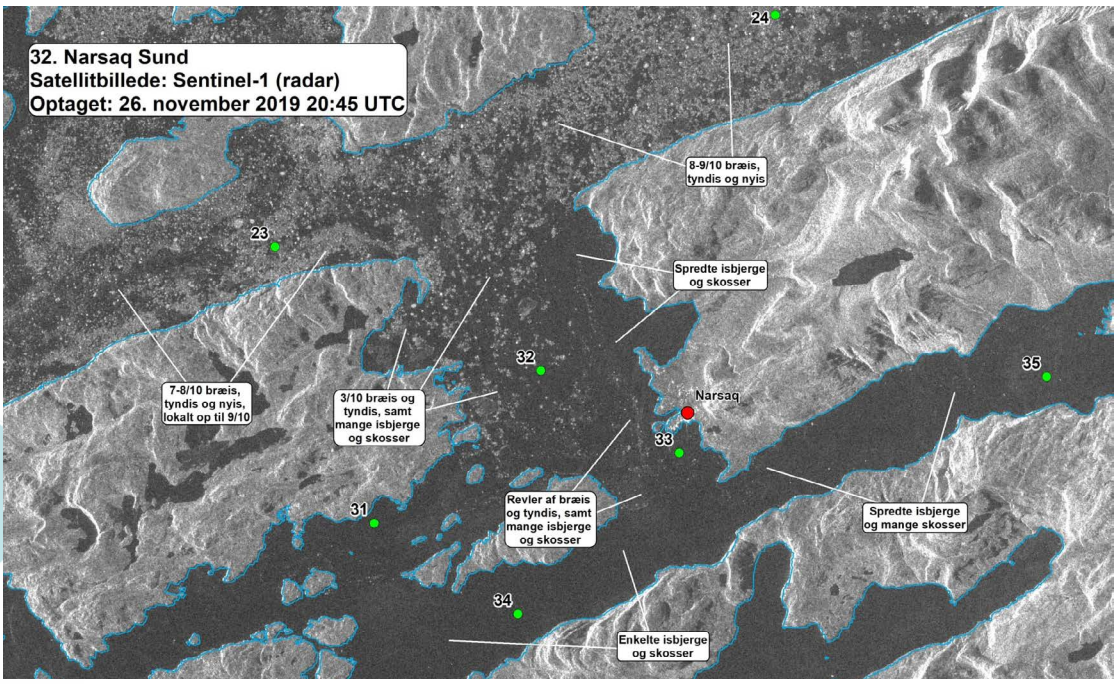
Tilstrækkelig dataopløsning er vigtig. Kun SAR data i HH-polarisering og med pixelstørrelse mindre end 10 m kan anvendes til denne type rutinemæssig kortlægning af is til skibe.

Selv ved denne opløsning er der nogle småskala-isforekomster, der ikke ses. Den eneste praktiske måde at kompensere for dette på er at øge opdateringsfrekvensen markant sammenlignet med helikoptertiden. Det giver isanalytikeren bedre mulighed for at spore enhver farlig is i satellitbilleder.

> **Vi er færdige med at sejle i Grønland, og indtil videre har vi ikke brug for denne service længere.**
>
> *Bridge Team, World Explorer*

Isbjerge og/eller havis, der blokerer Sydgrønlands sejlruter, udgør en risiko for alle typer navigation.

Den nye satellitbaserede løsning er delvis baseret på nær realtid-adgang til Sentinel-1-IW leveret af Copernicus. Det stabile Sentinel-1-IW-optagescenarie gentages hver 12. dag. Opdateringsfrekvensen er imidlertid ikke tilfredsstillende, så DMI har også implementeret egne kontraktlige aftaler



Grafisk annoteret Sentinel-1-IW Quicklook, der viser den lokale israpport til skibe i Narsaq Sund i Sydgrønland.

med en dataleverandør om at levere TerraSAR-X ScanSAR-billeder, som er tilgængelige i 8 m pixels.

Sentinel-1/TerraSAR-X-konstellationen har i et par år været den primære datakilde for lokal iskortlægning i Sydgrønland. De to satellitsystemer er tilmed backup for hinanden.

På trods af egen kontrakt med en dataleverandør blev de samlede omkostninger til drift af tjenesterne til søfarten reduceret med omkring 50 %. Derudover er antallet af israpporter til skibe mere end fordoblet, hvilket reducerer informationshullerne til et lavt niveau.

Anvendelser og fordele

Opsætningen reducerer omkostningerne for skatteyderne, men endnu vigtigere forbedrer den satellitbaserede opsætning det lokale overblik over is i hele regionen. Dette forbedrer sikkerheden og giver et solidt grundlag for planlægning og operationelle beslutninger ombord på skibene.

Isen på havet trækker sig tilbage på grund af klimaforandringer, men er stadig meget varierende, og operationsbetingelserne er barske. Antallet af skibe i alle størrelser stiger og kravene til isinformation bliver større og mere forskelligartede. Succesen med den satellitbaserede opsætning til lokal isovervågning i Sydgrønland er også blevet overvejet til implementering i andre regioner, men afventer beslutninger på højt niveau og yderligere undersøgelser.

Perspektiver og muligheder

Den satellitbaserede opsætning vil fortsætte, og så længe Sentinel-1 IW er tilgængelig i nær realtid, vil det være et af de bærende elementer i den indenskærs istjeneste. Den næste generation af Sentinel-1 satellitter og deres tilgængelighed i høj opløsning analyseres omhyggeligt af DMI.

Der vil blive undersøgelser af mulighederne for automatiseret forarbejdning, analyse og produktudsendelse til skibe.

Hurtigere tilgængelighed af de daglige Sentinel-2 data vil kunne give vigtige supplerende data i skyfrie situationer i dagslys.

Referencer og partnere

Copernicus Marine and Environmental Monitoring Services samt European Space Agency for levering af Sentinel-1- og Sentinel-2 data.

Præcis og tidssvarende kortlægning af kystområder er afgørende for sikker navigation i Arktis

Som kritiske bufferzoner mellem land og hav er kystlinjer meget dynamiske og modtagelige for ændringer, men jordobservationer muliggør tidssvarende, præcis og kontinuerlig overvågning og kortlægning af kystzoner.

Torben W. Rasmussen [A], Lotte Nyborg [B]

A: Geodatastyrelsen B: DHI GRAS

Udfordringen

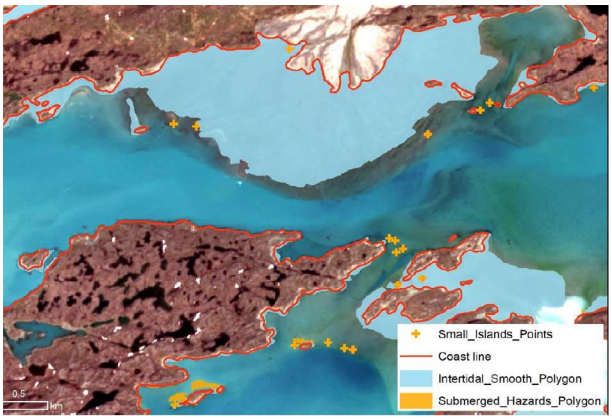
Detaljeret og ajourført viden om kystlinjers reelle beliggenhed, områder med skær, klipper og lignende samt information om lavvandede områder er afgørende for at skabe en mere sikker navigation i kystnære områder.

Detektering af kyster og klipper har stor betydning for navigationen. Navigation er yderst afhængig af nøjagtig og ajourført viden om kystlinjens udstrækning, dynamik og information om beliggenhed af klipper, både over og under vandet.

Kystlinjen i nautiske søkort skal have en høj kvalitet og gerne afspejle den reelle kystlinje, som bliver registreret af en radar 1:1. Dette sikrer, at en søfarende kan stole på de elektroniske kort.

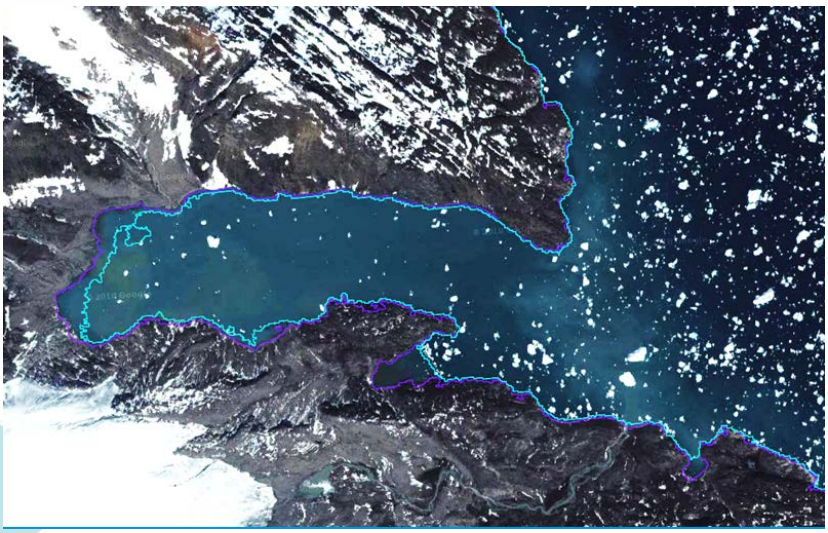
Den rumbaserede løsning

Den nye generation af højtopløselige, frit tilgængelige satellitdata fra Sentinel missionerne har fremmet potentialet for automatiserede og konsistente overvågningsmetoder for kystlinjedetektion og kortlægning af marine farer. I et pilotprojekt udarbejdet af DHI GRAS i det sydøstlige Grønland blev der testet en ny automatisk tilgang til kortlægning af kystlinjer, undersøiske farer (klipper og skær) og tidevandszoner. Mere end 160.000 km kystlinje blev kortlagt, inklusive 40.000 mindre øer og undersøiske farer.



Kortlægning af tidevandszoner, kystlinjers beliggenhed, små øer og undersøiske farer ved brug af Sentinel-baserede data-kompositter.

Forskellige indekser og statistiske parametre blev ekstraheret fra tidsserier af Synthetic Aperture Radar (SAR)-data fra Sentinel-1 og optiske data fra Sentinel-2 for at reducere hundreder af råbilleder til et par optimerede, informationsrige data-kompositter.



Sentinel-tidsserier giver afgørende indsigt i kystzonedynamikken i tidevandsområder.

En automatisk, objektbaseret algoritme blev anvendt på de sammensatte data for at segmentere elementer i forskellige objekter af interesse, herunder kystlinjer, små øer, tidevandsflader og undersøiske farer.

> **Sentinel-2-billederne i tidsserier og automatisk detekterede kystlinjer og klipper har været en ny primær kilde i vores kystklippe-proces for nye søkort i Grønland.**
>
> *Torben W. Rasmussen, Geodatastyrelsen*

Brug af tidsseriekompositter og integration af både optiske og SAR-satellitbilleder minimerede betydeligt påvirkning fra skyer, is og terræn for at reducere klassificeringsfejl og udlede en problemfri klassificering af kystområder i testområder. Desuden gav analyser af tidsserier af Sentinel-billeder en detaljeret indsigt i tidevandsområder og dynamikken inden for tidevandszonen.

Fordele for beboerne

Geodatastyrelsen brugte Sentinel-2-billederne og den autodetekterede kystlinje og klipper i nye søkort i 2018 og 2019. Den største fordel er tidsserien af billeder, hvor det er muligt at se variationen i tidevand og isdækning. Billeder i RGB-farver gør det nemt at adskille objekter som is, klipper osv.

Den autodetekterede kystlinje har været en primær kilde til detektion af kyst og klippe for nye kort i Grønland. Selvom teknologien imidlertid er en stærk og skalerbar tilgang til at kortlægge og overvåge fjerntliggende ikke-kortlagte områder, kræver særlige tilfælde stadig manuel kontrol af resultaterne, inden de anvendes. Med justeringer af algoritmer over tid kan automatisk registrering af kyst og klippe bringes nærmere et operationelt niveau.

Fremtidsperspektiver

Sentinel-missionerne har banet vejen for en konsistent satellitbaseret operationel overvågning af kystregionerne og bærer evnen til at levere en meget detaljeret og konsistent overvågning af store områder, der endnu ikke er kortlagt eller er dårligt kortlagt. Operativ overvågning af store områder ved hjælp af satellitdata afhænger imidlertid i sidste ende af evnen til at automatisere processer og dataanalyser. Deep learning har allerede været en betydningsfuld faktor inden for remote sensing, og fremtidig anvendelse af satellitbaserede operationelle overvågningssystemer i kystregioner vil i sidste ende afhænge af forbedrede muligheder inden for deep learning-teknologi.

Tak

Vi værdsætter DHI GRAS arbejdet med at teste og afprøve, hvordan Copernicus-data kan bruges til at overvåge og kortlægge store ikke-kortlagte områder i fjernt beliggende regioner.

Haviskortlægning til skibe omkring Grønland

Sikker sejlads i isdækkede farvande kræver overblik over issituationen. Ligesom andre nationale istjenester leverer Danmarks Meteorologiske Institut regional isinformation til navigationsbrug ved hjælp af Copernicus satellitter.

Keld Qvistgaard, Grønlands Istjeneste, Danmarks Meteorologiske Institut

Udfordringen

Sikker og effektiv skibsfart i polare farvande udfordres af tilstedeværelsen og variationen af havis og isbjerge. Opdateret, pålidelig og standardiseret isinformation er vigtig for sikker sejlads.

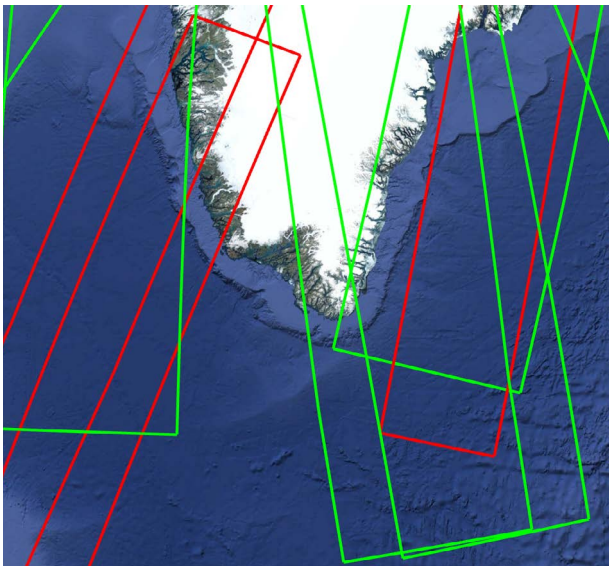
Tidligere brugte DMI Greenland Ice Service fastvingede fly og helikoptere som platform til at producere isinformation til navigation i Grønlands isfyldte farvande.

> **Satellit-iskort er gode i dag, men vi har oftere brug for isinformation i områder med stærk havstrøm."**
>
> *Anonym kaptajn*
>
> *International Ice Charting Working Group,*
>
> *Brugerundersøgelse 2019*

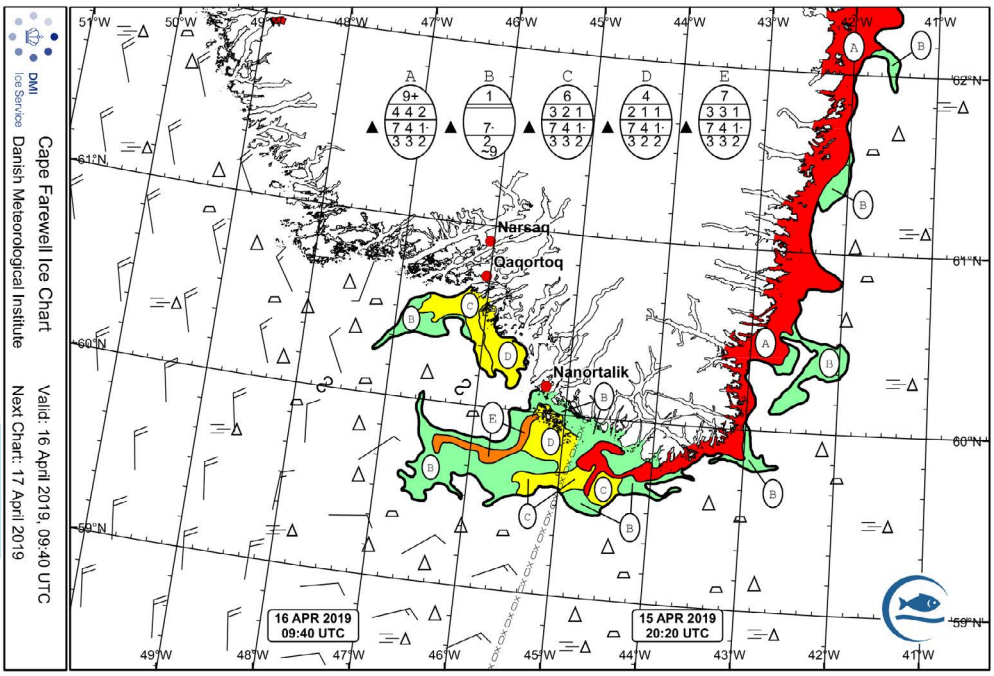
Det giver meget detaljerede oplysninger om isforhold, men det er også sårbart over for vejr, rækkeviddeafhængigt og omkostningstungt. Isen kan ligge langt fra Grønlands kyst, så det kun er dele af isdækket, der kan kortlægges til navigation. Endelig kan kun et begrænset område dækkes på hver flyrekognoscering, hvilket giver en utilstrækkelig opdateringsfrekevns.

Derudover øges skibstrafikken. På grund af klimaændringer bliver operationsvinduerne, de perioder, hvor man kan sejle i områderne, længere. Isens variation er dog betydelig. Farvandene er aldrig helt isfrie, og den stigende skibsfart betyder flere krav til isprodukter til navigation.

Det blev efterhånden klart, at det ikke var vejen frem at opretholde fly som den primære kilde til dataindsamling. Det ville være meget dyrt, ineffektivt, kun tilfredsstille en meget begrænset brugergruppe og stadig ikke drage fuld fordel af tekniske fremskridt.



Sentinel-1 data, nedtaget 15.-16. april 2019, der viser vigtigheden af "Copernicus Contributing Missions" til produktion af daglige iskort.



Standard regionalt iskort for navigation nær Sydgrønland baseret på Copernicus-satellitdata og "Copernicus Contributing Missions data".

Hvordan er satellitdata anvendt

Med SAR-satellitternes indtog blev flyrekognoscering og infrastruktur på jorden gradvist udfaset. I november 2017 var alle isprodukter til navigationsbrug baseret på skyuafhængige satellitter og høj opløsning.

Produktionslinjen er primært baseret på Copernicus-satellitterne, Sentinel-1 og Sentinel-2, og Copernicus Contributing Missions, som udfylder Sentinel-1 huller eller giver afgørende opløsning i visse regioner. Data er tilgængelige i nær realtid, hvilket er vigtigt for at tilvejebringe opdateret isinformation til skibe i isfyldte farvande.

Alle satellitdata behandles automatisk og analyseres af et specielt uddannet team af isanalytikere ved hjælp af specialiseret software. Leverancerne til skibene er tekstbulletiner, skalerbare/grafiske produkter, der beskriver iskanten, samlede iskoncentrationer, flagestørrelse og istykkelseskategorier samt samlinger af isbjerge.

Derudover eksporteres alle regionale iskort, der er produceret af Danmarks Meteorologiske Institut automatisk til Copernicus' maritime tjenester, til CMEMS-portalen i netcdf-format til integration i numeriske prognosemodeller.

Anvendelser og fordele

Is i havet er dels en forhindring og dels en fare for navigation. Mange skibe er ikke designet til sejlads i is, og næsten alle skibe søger altid efter de mest gunstige isforhold for enhver transit. Det ville være sikker omsejling af is, hvis det var muligt.

Det primære formål med at tilvejebringe regionale iskort er at give information til kaptajnernes strategiske beslutninger langs planlagt rute eller ved destination. Baggrunden for dette er risikostyring, da det er vigtigt at tage de rigtige beslutninger.

Grønland er enormt, og infrastruktur samt eftersøgnings- og redningsfaciliteter er ekstremt sparsomme. Enhver opgradering vil være tung omkostningsmæssigt, så informationstjenester fokuseret på eliminering af ulykker er indlysende.

Kortlægning af havis med Sentinel-1 og kunstig intelligens

DMI og DTU anvender kunstig intelligens til at finde havis i Sentinel-1 billeder for at udvikle automatiske havis-produkter, der kan øge sejladssikkerheden omkring Grønland.

Matilde Brandt Kreiner, Danmarks Meteorologiske Institut

Fra manuel iskortlægning ...

I mange år har iskortlægning, baseret på visuel fortolkning af forskellige satellitbilleder, været den metode, som de nationale istjenester rundt om i verden har anvendt til at producere havisinformationer til sejladssikkerhed. Også i Danmarks Meteorologiske Instituts (DMI) grønlandske istjeneste, som hver dag servicerer skibe i grønlandske farvande med havisinformationer, bliver iskort udarbejdet manuelt. Iskortlæggerne anvender i dag primært Copernicus Sentinel-1-radar (SAR)-billeder på grund af den høje opløsning og SAR-sensorens evne til at se gennem skyer og i polar mørke.

Royal Arctic Line fragtskib på vej gennem havisen i Nordøstgrønland. Foto: Jens Jakobsen, DMI.

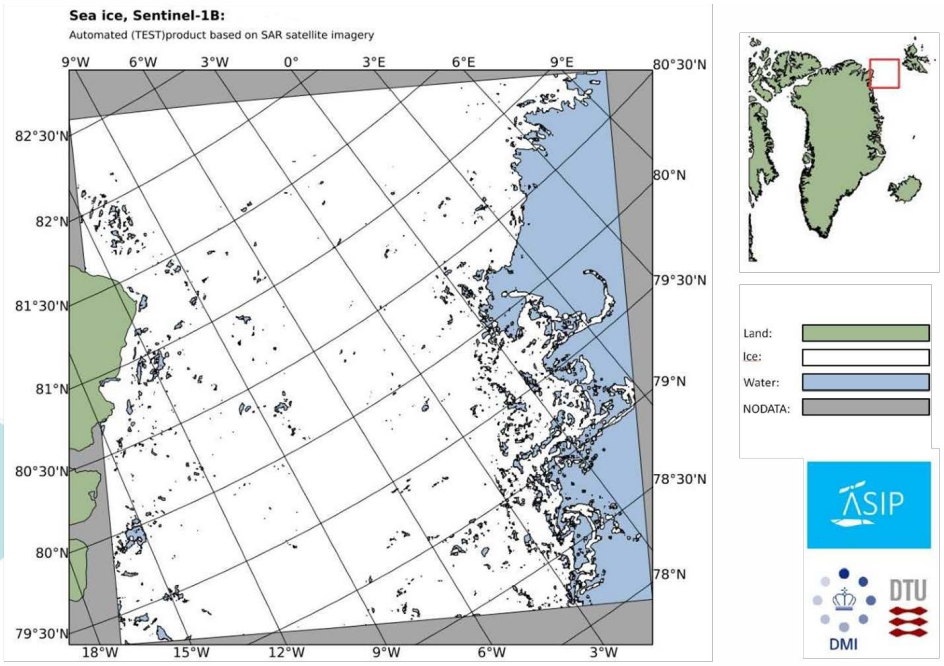
Iskortlægning er en tidskrævende metode, som i stigende grad er udfordret af mange nye og frit tilgængelige satellitbilleder i disse år. Sammen med et stigende antal maritime brugere, som på grund af den klimaskabte udtynding af havisen kan besejle et stadig større område af de grønlandske farvande, kræver det en mere effektiv metode til at producere detaljerede og aktuelle informationer om havisen til brugerne.

... til kunstig intelligens

ASIP (Automated downstream Sea Ice Products) er et dansk forsknings- og udviklingsprojekt, som arbejder på at udvikle automatiske havisprodukter, der kan imødekomme de stigende behov for bedre og mere rettidige havisinformationer, der kan gøre sejladsen omkring Grønland mere sikker og effektiv.

> **De automatiske ASIP-produkter vil kunne forbedre den service, vi yder vores maritime brugerne, især i forhold til havisinformationernes tidslighed og opdatering.**
>
> *Jens Jakobsen, iskortlægger ved DMI's istjeneste*

Ved brug af kunstig intelligens og såkaldte neurale foldningsnetværk har forskerne i ASIP fundet frem til, at kombinationen af Sentinel-1-billeder og mikrobølge-radiometerdata fra den japanske AMSR2 (Advanced Microwave Scanning Radiometer 2)



ASIP-havis-testprodukt på et Sentinel-1-billede over Nordøstgrønland. Testprodukterne bliver valideret af DMI's iskortlæggere.

satellitsensor giver den mest robuste, automatiske fortolkning af havisen i billederne. Sentinel-1 har den høje rumlige opløsning, der kan understøtte maritime formål, men der kan dog optræde tvetydigheder i SAR-billederne, f.eks. mellem is og åbent vand ved kraftig vind. Mikrobølgeradiometre, som måler strålingstemperaturer, har lavere rumlig opløsning, men komplementære egenskaber, når det kommer til at skelne mellem is og åbent vand uafhængigt af vejrforhold.

Projektet har udnyttet arkivet af iskort udarbejdet af DMI's istjeneste og de tilhørende Sentinel-1scener, som iskortene er udarbejdet på. Det har vist sig at være et rigtig godt datasæt til træning af ASIP-modellen. En foreløbig version af modellen er implementeret på DMI og kan processere en Sentinel-1-scene til et automatisk iskort på få minutter. De automatiske havis-produkter har højere rumlig opløsning, bedre geografisk og tidslig dækning af grønlandske farvande end de nuværende iskort.

Flere iskort for hele Grønland

ASIP-produkterne er ved at blive valideret af iskortlæggerne i DMI's istjeneste, som sikrer at de automatiske havis-produkter har en høj kvalitet i alle geografiske regioner og under alle vejrforhold. Herefter vil produkterne blive sendt til evaluering blandt slutbrugerne på skibene og til slut blive gjort frit tilgængelige gennem DMI's istjeneste.

En bred vifte af offentlige og private brugere i Grønland vil drage nytte af disse nye produkter. Den klimaskabte udtynding i havisen omkring Grønland har gjort det muligt med skib at tilgå dele af Grønland, der tidligere var afskåret hele eller dele af året. Det giver nye muligheder for et land med en begrænset landbaseret infrastruktur, men også udfordringer, fordi den tyndere og deraf mere dynamiske havis fortsat vil være til fare for skibene.

Bedre havisprognoser

De maritime brugere har stærkt brug for troværdige og præcise havis-prognoser til deres sejladsplanlægning. Prognose-modellerne kræver input i form af automatiserede, standardiserede og detaljerede havis-informationer fra satellitdata. Derfor er det et mål i ASIP at teste brugen af ASIP-produkterne i DMI's havis-prognosemodel.

Referencer og partnere

ASIP projektet er et samarbejde mellem Danmarks Meteorologiske Institut (DMI), Danmarks Tekniske Universitet (DTU) og Harnvig Arctic & Maritime. Projektet er finansieret af Innovationsfonden og partnerne.

Satellitbilleder til taktisk sejlads i isfyldte farvande

Sikker sejlads i isdækkede farvande er afhængig af en række standardiserede is-, vejr- og oceanografiske produkter, for nylig suppleret med Copernicus satellitbilleder til beslutningstagning ombord.

Keld Qvistgaard [A], Jørgen Buus-Hinkler [B]

A: Grønlands Istjeneste, Danmarks Meteorologiske Institut B: Danmarks Meteorologiske Institut

Udfordringen

Sikker og effektiv sejlads i isdækkede farvande kræver information om isen og havet, som er

- relevant,
- opdateret,
- enkel,
- pålidelig,
- tilgængelig

for kaptajnerne til planlægning og beslutningstagning på broen. Visse områder nær havne eller gletsjerudløb, i stræder eller fjorde kræver særlig information til den taktiske navigation tæt på farlig is. Skibet kræver ofte hyppige (typisk daglige) opdateringer i nær realtid (mindre end et par timer).

Dette er dog ikke rigtig håndterligt for DMI's istjeneste, da det manuelle valg og fortolkning af indkommende billeder er arbejdskrævende og forbundet med forsinkelser, hvilket betyder, at det endelige produkt er mindre nyttigt for skibene. Derudover findes der betydelige båndbreddebegrænsninger vedrørende kommunikation til alle skibe.

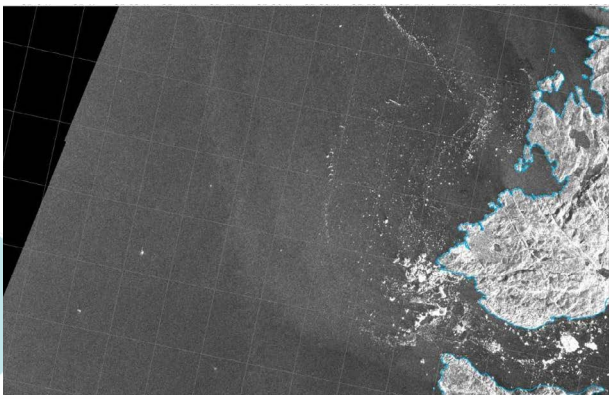
Hvordan satellitdata er anvendt

Da leveringstiden er kritisk for skibe, der opererer i isdækkede farvande, besluttede Danmarks Meteorologiske Institut i 2018 at udvikle en automatiseret løsning i samarbejde med en primær professionel bruger ved hjælp af Copernicus satellitdata med den nødvendige opløsning.

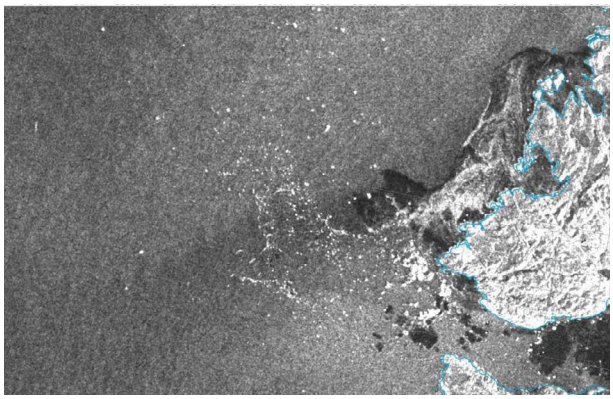
En filstørrelse på maksimalt 1-2 MB kan leveres til de fleste skibe. For det andet skal den nødvendige opløsning være tilgængelig, typisk 10 m eller bedre for at være nyttig for sejladsen og afspejle de faktiske isforhold. Med andre ord skal produktet, der leveres i nær realtid, være afbalanceret mellem den geografiske dækning og opløsning. I samarbejde med slutbrugeren definerede DMI delområder i størrelsen ca. 30 x 20 km til is-inficerede områder, der udfordrer sejladsen.

> **Vi har været meget tilfredse med de fokuserede satellit-quicklooks leveret af DMI. Vi ser frem til at modtage dem igen i 2020.**
>
> *Eyðun Simonsen, kaptajn, Royal Arctic Line*

Den automatiserede produktionsproces for indkommende Synthetic Aperture Radar (SAR)-data med relevant opløsning sker for prædefinerede underområder og producerer et grafisk billedprodukt, tidsstempel, sensor, kystlinje og gradnet. Denne fil distribueres automatisk som en e-mail-vedhæftning til brugeren.



Eksempel på automatiseret billedprodukt udsendt til skib, her fra Ilulissat, Diskobugten. Tolkningen er let for navigatøren.



Eksempel på automatiseret billedprodukt udsendt til skib, her fra Ilulissat, Diskobugten. Tolkningen er vanskelig for navigatøren.

Det skal bemærkes, at denne løsning ikke kan stå alene, men er en "early warning", som supplerer standard-isprodukter til fartøjet. For det andet er søfarerne ikke fuldt uddannede i avanceret SAR-billedanalyse, så DMI har også udviklet undervisnings-værktøjer til at hjælpe navigatørerne ombord.

I 2019 blev den automatiserede satellit-quick-look-service udvidet til tre professionelle brugere for at modtage feedback fra en bredere brugerkreds.

Anvendelser og fordele

Den automatiske opsætning testes i Grønland på udvalgte last-, passager- og krydstogtskibe med danske kaptajner eller lodser. På trods af nogle åbne ender i produktionen er tilbagemeldingerne fra søfarerne positive. De rapporterer, at det forbedrer overblik og opmærksomhed og giver solidt grundlag for beslutninger og sikkerhedsmargener på et tidligt tidspunkt.

Dette betyder, at beslutninger om sejlads kan ske hurtigere og sikrere, og at besejlingen faktisk kan gennemføres.

Den første feedback fra søfarerne ved hjælp af den automatiske opsætning indikerer, at den skal kombineres med eksisterende is-information, og at den også hjælper aktiviteter relateret til krydstogter, rejsearrangører og ressourcestyring i havne. Sidst men ikke mindst er det et mere solidt grundlag for, at sikkerhedsbeslutninger til søs er baseret på de nyeste tilgængelige oplysninger om isen, der er i konstant bevægelse.

Perspektiver og muligheder

Opsætningen skal forbedres på forskellige niveauer såsom træning af søfarende, forbedring af programbrugergrænsefladen, komprimering af produkter, mulig webgrænseflade, flere SAR/Optiske satellitter med nødvendig opløsning og eventuelt inkludere nye brugergrupper.

Referencer og partnere

Copernicus' maritime tjenester, CMEMS, vedrørende levering af daglige satellitdata. Greenland Pilot Service, Royal Arctic Line og Arctic Umiaq Line vedrørende brug af testopsætningen og værdifuld feedback.

Detektering af isbjerge omkring Grønland

Satellitbilleder fra Sentinel-1 anvendes til automatisk detektering af isbjerge i farvandene omkring Grønland. Isbjergsdetektering bidrager til at øge sikkerheden for skibstrafikken og bruges i klimaforskning.

Jørgen Buus-Hinkler, Danmarks Meteorologiske Institut

Opgaven

Isbjerge er til fare for skibstrafikken og andre aktiviteter i havet omkring Grønland, og de udgør en vigtig del af massebalancen for den grønlandske indlandsis.

Historisk set er de fleste observationer af isbjerge foretaget fra skib eller fly. Sådanne observationer er imidlertid meget tidskrævende og omkostningstunge.

I modsætning hertil er satellitbaseret isbjergsdetektering mere effektiv, både i forhold til økonomi, tidsforbrug og geografisk dækning.

Isbjerge – forskellige typer og former, observeret omkring Grønland. Fotos: Martin Nissen, DMI 2010.

De arktiske farvande er ofte plaget af omfattende skydække, og i store dele af året er der intet dagslys. Radar fungerer imidlertid lige godt i lys og mørke og kan "se" gennem skyer. Derfor anvender Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) satellitbaseret radarteknologi til detektering af isbjerge.

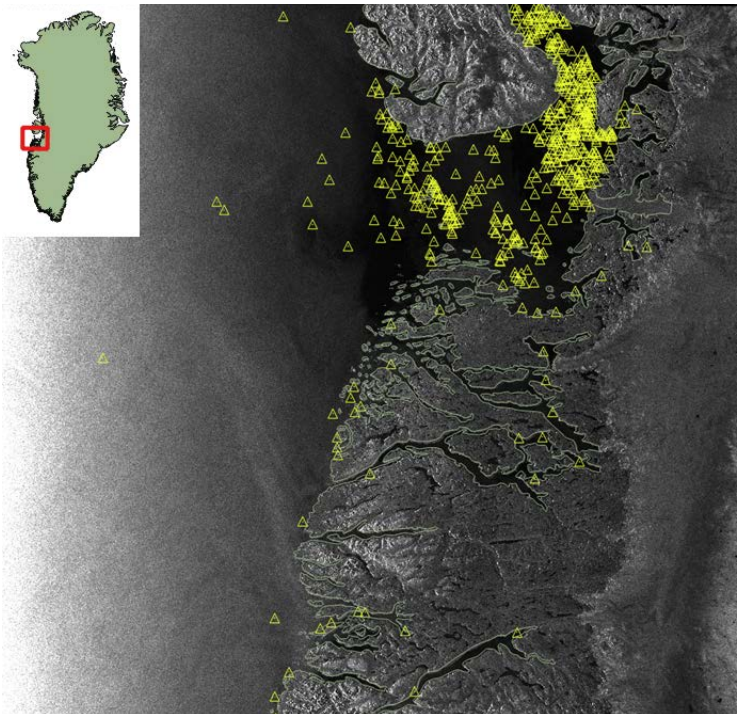
For at håndtere og behandle de store mængder af radardata, der nedtages fra de europæiske Sentinel-1-satellitter, har DMI udviklet dedikerede computeralgoritmer til isbjergsdetektering.

Hvordan er satellitdata anvendt

Hver dag modtager DMI op til 100 satellitscener (radarbilleder) fra Sentinel-1-A- og B-satellitterne. Sammenlagt dækker disse 100 scener mere end ti millioner kvadratkilometer opløst i mere end 35 milliarder pixels. Hver pixel analyseres af algoritmerne, der så afgør, om den givne pixel er en del af eller udgør et isbjerg. På DMI kører isbjergsdetektering operationelt og er en del af det marine observationsprogram: Copernicus Marine Environmental Monitoring Service (CMEMS).

Isbjerge er lavet af ferskvand. De er således dannet på land af en gletsjer og kalvet (brækket af gletsjeren) ud i havet. Per definition er der kun tale om et isbjerg, hvis der er tale om et isstykke med en længde på mere end 15 m. Isbjerge kan imidlertid have mange former og størrelser. De største isbjerge kan være mere end en kilometer i udstrækning.

Computeralgoritmerne må derfor være fleksible og i stand til at fungere på forskellige skalaer og



Radar-billede, Sentinel-1B 2019-09-02 20:54:19 Disko-området Vestgrønland med indikationer af detekterede isbjerge.

til at analysere objekter med forskellige former i billederne. Gennem forskning og udvikling forfines disse løbende.

Anvendelser og fordele

Adgang til isbjergsobservationer fra satellit er en service under Copernicus-programmerne og er dermed gratis for alle, der registrerer sig som Copernicus-bruger. For folk, der opererer til søs omkring og umiddelbart syd for Grønland, er information om isbjerge essentiel i forbindelse med ruteplanlægning og generel risikovurdering.

> **Til fordel for skibstrafikken i arktiske farvande har satellitbaseret isbjergsdetektering åbnet mulighed for at give information om isbjerge i langt større skala end hidtil.**
>
> *Jens Jakobsen, is-analytiker, DMI's istjeneste*

Kalvning af isbjerge er en af to basale komponenter i massetabet fra det grønlandske indlandsis-isskjold (den anden udgøres af afsmeltning). Balancen mellem de to er ikke velbeskrevet, og kvantificering af isbjergene vil give forskerne en bedre forståelse af de faktorer (f.eks. klimaændringer), der styrer isskjoldets massebalance.

Perspektiver og muligheder

På trods af store fremskridt er satellitbaseret isbjergsdetektering stadig forbundet med nogen usikkerhed og begrænsninger. Små isbjerge med en udstrækning på mindre end 50 meter vil ikke altid blive detekteret på radarbillederne. Dette skyldes begrænsning i billedernes rumlige opløsning, som ikke er lige god for alle optagelser. Dårlige vejrforhold og specielt kraftig vind kan forringe signal/støj-forholdene. Undertiden kan støj og også skibe blive fejlfortolket af algoritmerne og dermed optræde som falske isbjerge.

De kommende generationer af isbjergsprodukter i Copernicus vil indeholde forbedringer på disse punkter: Sammen med den geografiske position af det givne isbjerg vil hver observation indeholde information om, hvor sikker observationen er. For at begrænse antallet af falske isbjerge vil satellitdata blive kombineret med skibenes rapportering af deres aktuelle positioner (AIS-tracking).

Referencer og partnere

Udviklingen af DMI's automatiske isbjergsdetektering er muliggjort gennem Copernicus' CMEMS program.

Støvstorm over Nuussuaq halvøen, Grønland

Selvom sand- og støvstorme mest er kendt fra store ørkener forekommer de også jævnligt i Grønland hvor kraftige vinde spreder sedimenter langs kysten. Støvet genereres bland andet via glaciale processer hvor grundfjeld og klipper pulveriseres til finkornet silt. Billedet her er optaget med Copernicus Sentinel-2 d. 1. oktober 2020, hvor en støvstorm blev observeret over Nuussuaq halvøen.

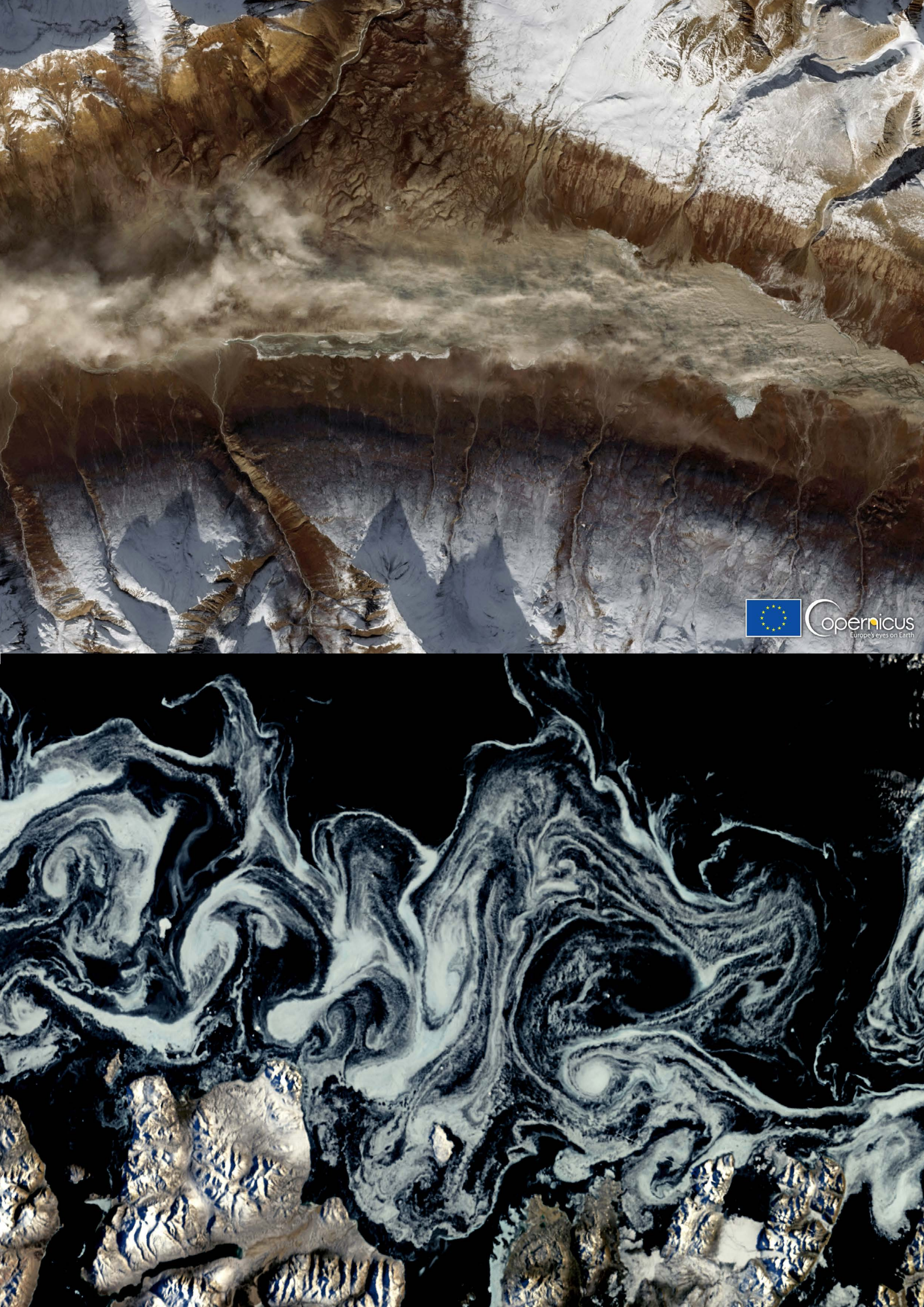
Kilde: European Union, Copernicus Sentinel-2 imagery - Pierre Markuse.

Havis ved østkysten af Grønland

Ifølge US National Snow and Ice Data Center nåede havisudbredelsen i 2020 i Arktis det næstlaveste niveau observeret gennem de seneste 42 år. Dette farvebillede blev optaget af Copernicus Sentinel-3 satellitten d. 25 september og viser strømhvirvler af havis ned langs Grønlands østkyst.

Sentinel-3 missionen består at to tvillingesatellitter (Sentinel-3A og Sentinel-3B), og bidrager til monitorering af havisens udbredelse, temperatur og tykkelse.

Kilde: European Union, Copernicus Sentinel-3 imagery.


Copernicus
Europe's eyes on Earth

Informationstjeneste for isbjerge i Nordatlanten

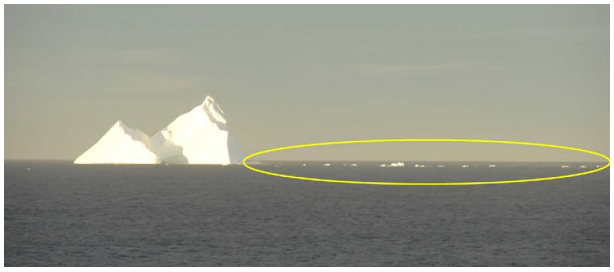
Klimaændringer, havisens tilbagetrækning og stigende skibsfart kræver nye produkter og service til sikker sejlads i eller omkring områder med isbjerge.

Keld Qvistgaard, Grønlands Istjeneste, Danmarks Meteorologiske Institut

Udfordringen

S/S Titanics forlis og tabet af mere end 1.500 menneskeliv i 1912 var på tragisk vis et vink til verden om den ultimative risiko ved sejlads i områder med isbjerge. Overvågning og rapportering om isbjerge i de nordatlantiske skibsruter blev siden implementeret i den første SOLAS-konvention under den internationale maritime organisation, IMO. International Ice Patrol overvåger nu isbjerge i de nordatlantiske skibsruter ved hjælp af C-130-fly, om end operationsområdet er enormt.

Isbjerge forekommer overalt og året rundt i de grønlandske farvande, også hundreder af sømil fra kysten, og de udgør en risiko for alle skibe, inklusive dem i transit i Nordatlanten. Gennem det sidste årti er skibsfarten steget i Nordatlanten, inklusive Grønland. Skibene bevæger sig også længere nordpå, tæt på eller ind i farvande med isbjerge, hvilket stiller krav om nye typer produkter og tjenester til skibe.



Småskala-is observeres ikke via satellit på grund af opløsningen, hvilket skal adresseres i isbjergsprodukter til skibe.

Det primære interesseområde omkring sydspidsen af Grønland er enormt, mere end 1.000.000 km^2, og investering i flyteknologi ville være meget tungt. Et skøn over driftsomkostningerne til indsamling af isbjergsdata har ikke engang været muligt.

Hvordan er satellitdata anvendt

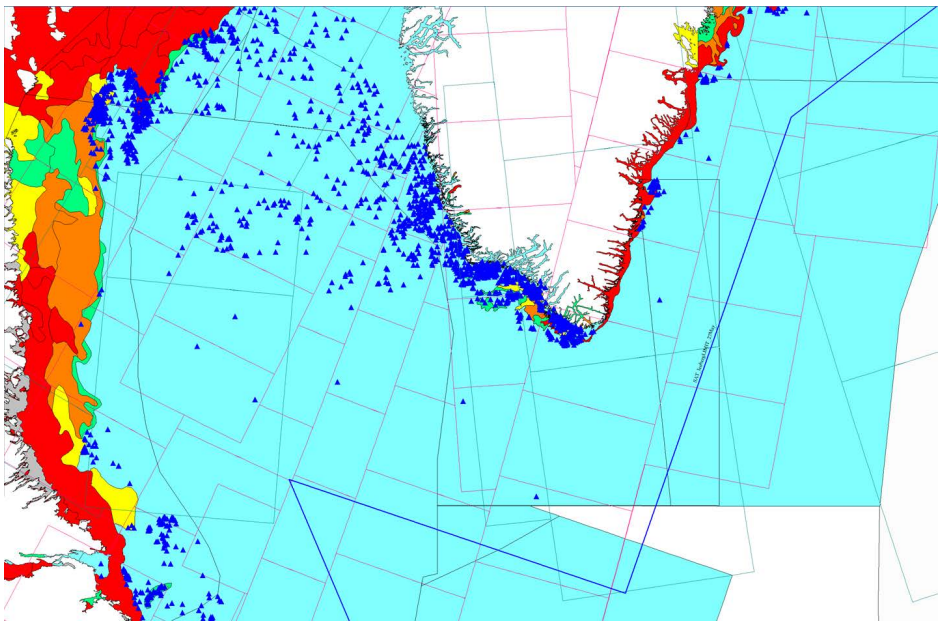
Detektering af "targets" på åbent hav er ikke nyt, men med Sentinel-1-konstellationen blev datatilgang og betydelig dækning en realitet for istjenesterne.

Danmarks Meteorologiske Institut leverer rutinemæssigt automatiserede target-densiteter i netcdf til Copernicus' maritime tjenester, CMEMS, for de grønlandske farvande, der ikke er dækket af havis, baseret på Sentinel-1-IW/EW-mode.

> **Den satellitafledte grænse blev inkorporeret i de daglige produkter, hvilket gav en relevant rekognoscering for skibe i det nordlige Atlanterhav.**
>
> *USCG International Ice Patrol, Annual Report 2019*

Leverancerne kan ikke bruges af istjenesterne, så det er blevet besluttet at gå et skridt baglæns og behandle Sentinel-1-data til en form, som kan håndteres, analyseres og filtreres af iseksperterne.

Test af satellitanalyse og metode til filtrering er udviklet i tæt samarbejde med International Ice Patrol og Canadian Ice Service. Begrænsninger af teknologien blev fundet i områder med små isbjer-



Isbjergsgrænse omkring Sydgrønland, baseret på Sentinel-1.

ge og et stort antal skibe såsom Grand Banks eller i nærheden af Island.

Disse områder blev udelukket fra 2019-sæsonens testproduktion af en satellitbaseret afledt isbjergsgrænse i Nordatlanten, fra nordvest for Island, via den sydlige spids af Grønland til Labradorhavet.

I løbet af 2019, fra begyndelsen af februar til slutningen af august, blev der produceret isbjergsgrænser baseret på satellitter omkring Sydgrønland. De blev dels brugt internt og dels udvekslet med nordamerikanske partnere til gennemgang, anbefalinger og potentiel integration i isprodukter til skibe.

Anvendelser og fordele

Al sejlads i isfyldte farvande er forbundet med en risiko for skib, last, besætning, passagerer osv. Situationsbevidsthed og reduktion af risiko er altid den første prioritet for enhver kaptajn. Pålidelige og opdaterede isoplysninger reducerer risikoen og behovet for search-and-rescue-infrastruktur og giver solidt grundlag for de rette sikkerhedsmargener relateret til enhver rejse i farvande med isbjerge.

Perspektiver og muligheder

2019-erfaringerne implementeres til en ny og mere sofistikeret test i 2020-sæsonen. De vil også blive inkluderet i næste generation af isbjergsprodukter til Copernicus.

Sæsonen 2019 bekræftede også velkendte udfordringer med at detektere is i lille skala, som er den primære fare for skibe. I dynamiske situationer og regioner er Sentinel-1-opdateringsfrekvensen utilstrækkelig. Dette kan løses via fremtidige bidragende missioner eller vedligeholdelse af den nuværende Sentinel-1-konstellation efter lancering af næste generations Sentinel-1-satellitter.

Den fremtidige Copernicus ROSE-L mission bliver en milepæl til detektering af isbjerge i havis, hvilket ikke er muligt med dagens Copernicus-satellitter.

Referencer og partnere

ESA for Sentinel-1 data. Copernicus' CMEMS for finansiering af udvikling af target-detektering, som også gjorde denne test, målrettet skibe, mulig.

Forsvarets arktiske kommando bruger Copernicus hver dag

I det danske kongeriges nordligste områder har man stor gavn af Copernicus. Det er bl.a. blevet brugt ved en omfattende naturbrand.

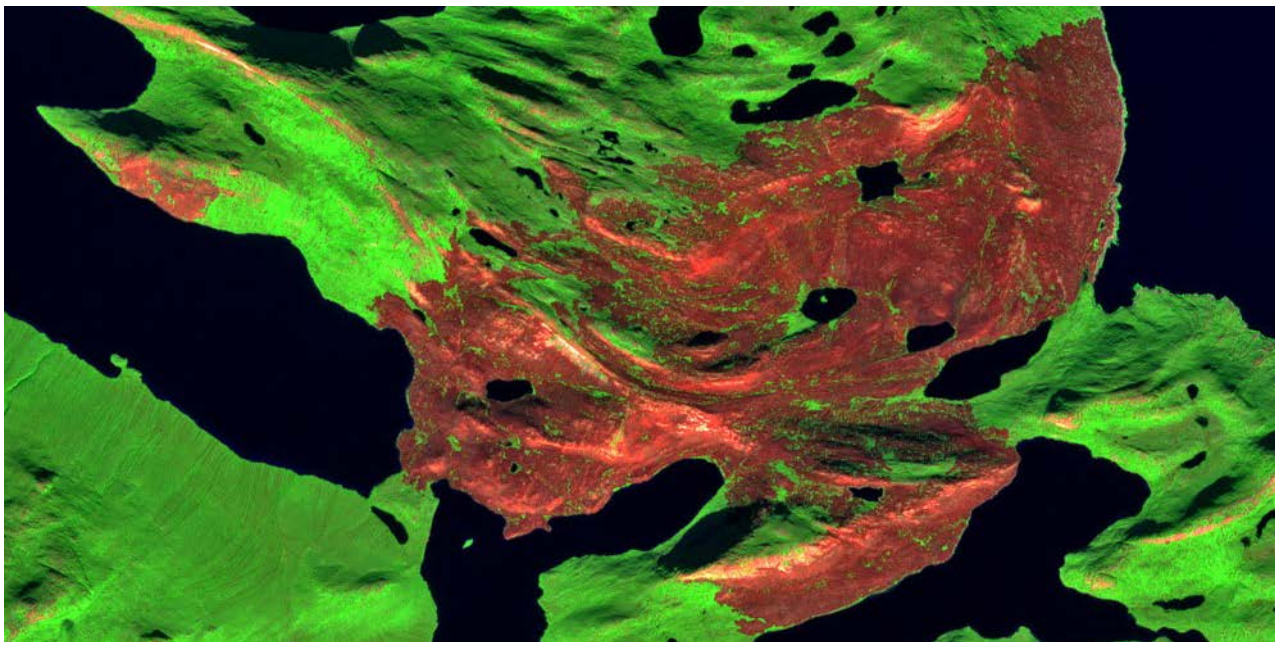
Lise Høiriis, Søværnet

Da en stor naturbrand i sommeren 2019 hærgede fjeldene ved Sisimiut (Holsteinsborg) i det vestlige Grønland, var det danske forsvars styrende enhed i landet, Arktisk Kommando, en af hovedrolleindehaverne i forhold til at inddæmme branden.

Aktionen indebar bl.a., at omkring 40 brandfolk fra Beredskabsstyrelsen blev fløjet til området i et af Flyvevåbnets C-130-Hercules transportfly sammen med forskelligt materiel til at lette slukningen. For at kunne planlægge og koordinere slukningsarbejdet så effektivt som muligt blev satellitbilleder fra Copernicus sat i spil.

Både Arktisk Kommando og Beredskabsstyrelsen fik således hver dag opdaterede billeder af området via Copernicus. Her kunne de følge med i brandens seneste udbredelse. Derudover anvendte man satellitbilleder fra satellitten Sentinel-2. Billederne var taget i det infrarøde frekvensområde. Ved hjælp af dem kunne man synliggøre brandens aktuelt mest aktive områder for beskueren.

Det lykkedes brandfolkene at få bugt med branden i midten af august, efter at den havde raset i omkring en måned. I mellemtiden havde Forsvaret også kunnet redde tre vandrere i området, som skulle evakueres med helikopter.



Satellitbillede fra Sentinel-2, som er taget i det infrarøde frekvensområde. Det viser forskellene mellem de mindre og de mere aktive områder af branden.

Foto af naturbranden ved Sisimiut. Billedet er taget fra et dansk Challenger-fly.

Oliespild og fiskeri

Ud over anvendelsen i forbindelse med de lidt ekstraordinære begivenheder såsom større naturbrande bruger Arktisk Kommando også Copernicus til andet, f.eks. generel overvågning af farvandene omkring Grønland på daglig basis for bedre at danne sig et situationsbillede af aktiviteterne omkring det enorme land.

Her kigger man f.eks. på aspekter af miljøbeskyttelse, herunder olieudslip. Hvis et udslip konstateres via radar, og det kan bekræftes ved yderligere at undersøge området, kan man ofte finde frem til det skib, der måtte have spildt olien.

I efteråret 2019 havde man et andet eksempel på en situation, nemlig hvor et skib forliste og gik til bunds. I en sådan situation rekvirerede man satellitbilleder i høj opløsning gennem Copernicus til at holde øje med, om skibsvraget lækkede olie.

Arktisk Kommando bruger også satellitbilleder til at identificere de områder, hvor der er mange fiskerbåde. Man kan så efterfølgende dirigere ressourcer til området for at foretage fiskeriinspektioner eller vise forhøjet tilstedeværelse.

Internationale anvendelser

Understøttelse af finansiel inklusion 106
Satellitbaseret varslingssystem for udbrud af vektorbårne sygdomme 108
Kortlægning og overvågning af vådområder i stor skala 110
Satellitdata til at understøtte effektive kunstvandingsprocesser i landbruget 112
Kortlægning af græsbrakmarker ved brug af Sentinel-2 data 114
Forbedret kortlægning af savannetræer fra Copernicusdata 116
Satellitdata kan understøtte bæredygtig udvikling og implementering af FN's verdensmål 118
Satellitbestemmelse af havstrømme til ruteoptimering 122
MOIST – Managing and Optimizing Irrigation by Satellite Tools 124
Global overvågning af atmosfærens luftfugtighed 126

Understøttelse af finansiel inklusion

Sentinel-1 er blevet anvendt som en central del af udviklingen af et beslutningsunderstøttende system til udbydere af finansielle tjenesteydelser.

Casper Samsø Fibæk, NIRAS

Udfordringen

Finansiel inklusion er en vigtig del af at nå flere af verdensmålene for bæredygtig udvikling. I otte ud af de sytten mål er det inkluderet, men klarest i det første verdensmål: Afskaf fattigdom. Finansiel inklusion bliver beskrevet som målet at sikre lige rettigheder og adgang til finansielle ydelser.

For at nå målene er det nødvendigt at sikre, at ydelserne når landdistrikter og fattige områder. Tidligere research har vist, at det ikke kun er den fysiske afstand til ydelser, der indikerer, om servicerne bliver anvendt, men også en social afstand. Fattige, tætbebyggede byområder kan i finansielt inklusionsøjemed betragtes som landdistrikter. Det er derfor vigtigt at kortlægge forskellige beboelsesstrukturer.

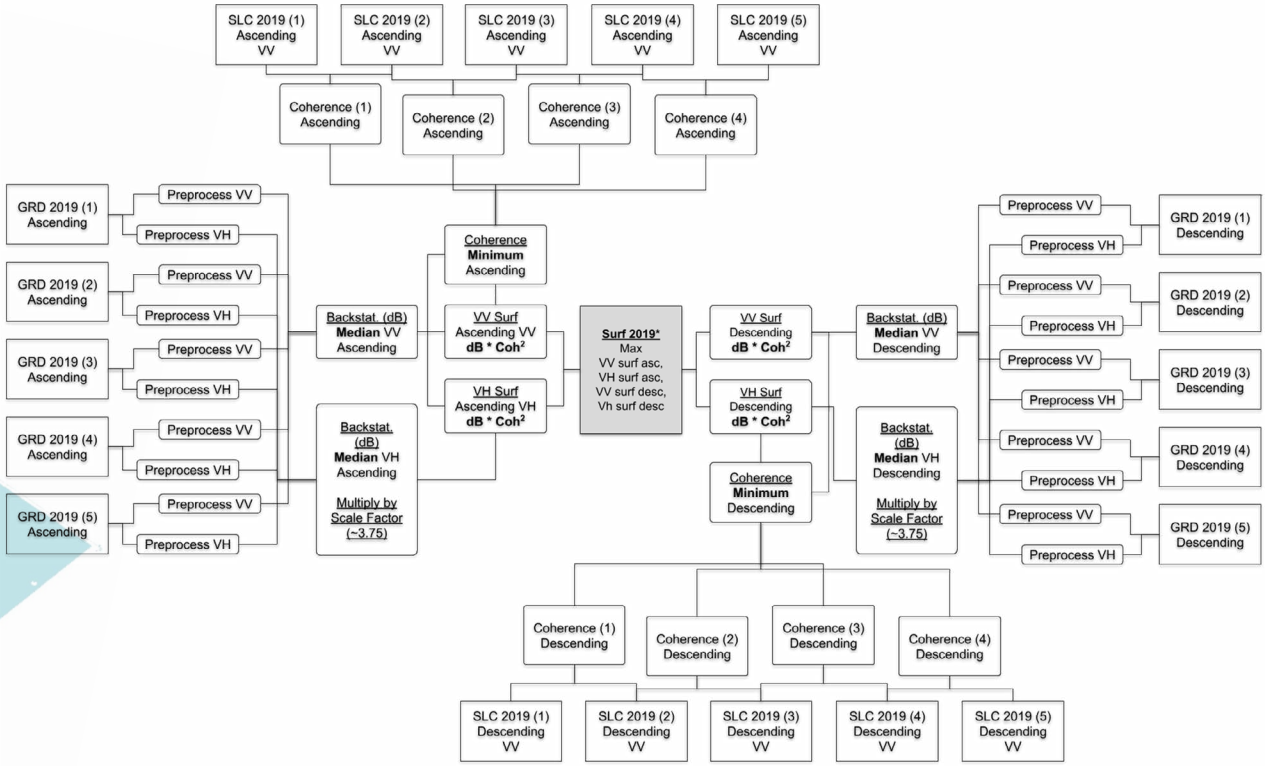
> **This tool is making us more efficient at mobile agent deployment and will help promote trade between rural farming communities and peri-urban (food stuff selling) communities.**
>
> *Abednego Darko, DSS*

Kortlægning af finansiel inklusion er besværliggjort i udviklingslande på grund af mangel på højkvalitetsgrunddata og statistikdata. Derfor er der anvendt satellitdata til at lave kortlægningen af boligstrukturer. Analysen er en del af et større beslutningsunderstøttende system, som har til formål ikke kun at måle, hvor langt vi er med at nå verdensmålene, men også at gøre det muligt for finansielle serviceydere at finde nye business cases, hvilket er nødvendigt for at sikre, at alle parter er engageret i fremdrift af verdensmålene.

Hvordan satellitdata er anvendt

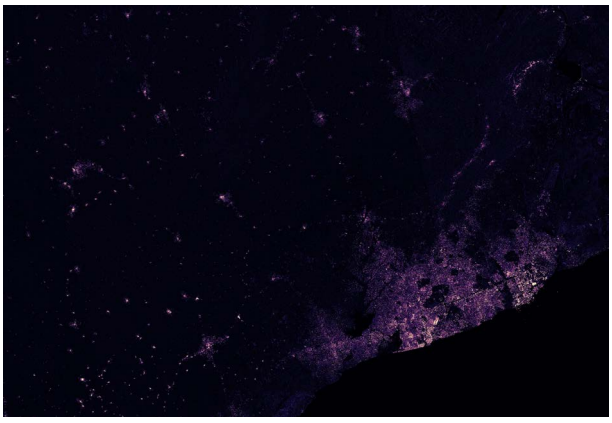
Der er brugt mange forskellige satellitdata-kilder i projektet. Sentinel-1 er anvendt til at lave den første sortering af beboede områder. Det er gjort ved at lave en mosaik af tør- og vådsæsonen for området. Derefter er kohærensen blevet udregnet for begge tidsserier og justeret med backscatter. Det resulterer i et kort over hjørnereflektorer, som har en stærk backscatter-værdi, hvor signalet ændrer sig meget lidt over tid. Disse reflektorer er en god indikator for bebyggede områder. Sentinel-2 og teksturanalyse er blevet anvendt til at segmentere de forskellige beboede områder. Den lokale varians i de røde og infrarøde bånd siger meget om typen af områder. Hvor et slumområde har meget lav varians i det grønne bånd, har forstadsområder og mere velhavende områder højere varians. Ud over Copernicus-data er der også anvendt nattelysdata fra Visible Infrared Imaging Radiometer Suite VIIRS (NASA). Nattelys er en god indikator, ikke kun for tætheden af beboede områder, men også velstand i udviklingslande.

Det primære projektområde er Accra, Hovedstaden i Ghana, Sentinel-1.



Bearbejdning af Sentinel-1 involverer flere billeder og bearbejdningsmetoder.

Satellitdataene er indgået i en større datafusionsopgave, hvor de er blevet kombineret med OpenStreetMap-data, som er foregået ved hjælp af python machine learning-værktøjskasserne.



Bearbejdet kort over overfladestrukturer i hovedstadsområdet "Greater Accra Region". Kombination af Sentinel-1 Coherence og Backscatter.

Anvendelser og fordele

Satellitdata gjorde det muligt at lave et beslutningsunderstøttende system for et område, der har meget lidt grunddata tilgængeligt. Det har været vigtigt at sørge for høj anvendelighed, hvilket har resulteret i, at de færdige analyser og understøttende lag er blevet gjort tilgængelige gennem et offentlig API, som kan tilknyttes forskellige applikationer. Siden det er den finansielle sektor, var det nødvendigt at lave et add-in til Excel, der gjorde det muligt at lave forespørgsler i det underliggende direkte der. I det add-in og API er det muligt at lave forespørgsler som f.eks.: Hvilken type områder er størstedelen af mine banker i? Hvor mange personer kan mine mobile pengeagenter potentielt nå. Hvor er det mest beboede, men mindst servicerede område? Hvor stor en del af befolkningen i regionen lever en halv times gang fra en agent eller bankfilial?

Perspektiver og muligheder

Udnyttelsen af satellitdata i projektet er på et tidligt stadie. På trods af at der foreligger et færdigt pilotprodukt, er der plads til mange forbedringer af metodikken og nøjagtigheden af estimaterne på demografiske og socioøkonomiske indikatorer som f.eks. velstand og befolkningstæthed.

Referencer og partnere

Tak til Copernicus-programmet for at stille data til rådighed. SNAP (ESA) og Orfeo Toolbox (CNES) har været vigtige værktøjer i projektet, som er et samarbejde mellem NIRAS, Oxford Policy Management og Mastercard Fonden.

Satellitbaseret varslingssystem for udbrud af vektorbårne sygdomme

Satellitdata og ikke mindst de operationelle data fra Sentinel-satellitter udgør et unikt redskab i varslings- og moniteringssystemer for vektorbårne sygdomme, herunder malaria og denguefeber.

Per Skougaard Kaspersen [A], Inge Sandholt [B], Martin Drews [A], Morten Larsen [A], Kenan Vilic [B]

A: DTU Mangagement B: Sandholt ApS

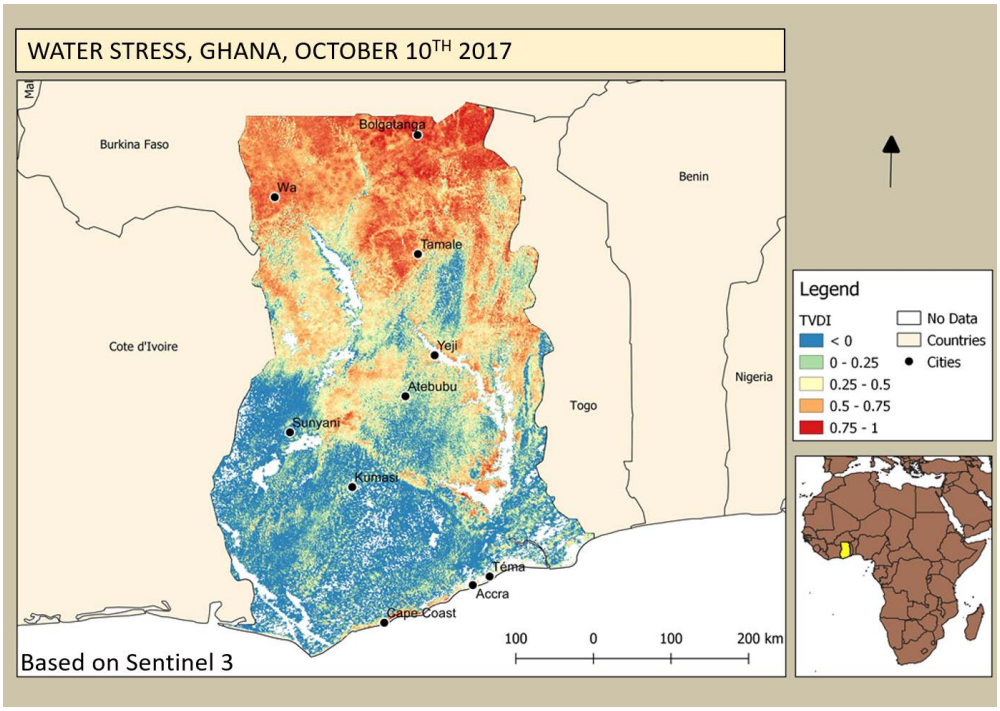
Udfordringen

Vektorbårne sygdomme, herunder malaria og denguefeber, er årsag til mere end 700.000 dødsfald årligt på verdensplan og udgør ca. 20 % af alle infektionssygdomme. Ydermere vurderer WHO, at mere end 4 mia. mennesker fordelt på 128 lande lever i områder med høj risiko for at blive smittet af vektorbårne sygdomme. Vektorer er levende organismer, som myg, tæger og fluer, der kan overføre smitsomme sygdomme mellem mennesker eller fra dyr til mennesker. Vektorbårne sygdomme forekommer hyppigst i subtropiske og tropiske områder og fortrinsvis blandt de mindst velstillede befolkningsgrupper i udviklingslande, og i særdeleshed i Afrika. Udbrud og spredning af vektorbårne sygdomme påvirkes af et komplekst samspil mellem klimatiske, demografiske, sociale og institutionelle faktorer. Klimaændringer og ændringer i landbrugspraksis, f.eks. øget brug af kunstvanding, kan påvirke frekvensen af udbrud og udbredelse af betingelser, som er gunstige for spredningen af vektorbårne sygdomme. Omfanget af mange af sygdommene kan forebygges og begrænses gennem forskellige tekniske, institutionelle og adfærdsmæssige foranstaltninger. Et nøgleelement hertil er overvågning og identifikation af tidspunkter og steder, hvor de klimatiske og samfundsmæssige betingelser er ideelle for sygdomsudbrud. Satellitbaserede varslings- og moniteringssystemer udgør et unikt redskab til rumlig og tidslig observation af klimatiske nøgleparametre som temperatur, nedbør, fugtighed (jord/luft) og vandtilgængelighed i en høj rumlig opløsning. I kombination med relevante socioøkonomiske data vil det netop være muligt at identificere tidspunkter og steder, hvor risikoen for sygdomsudbrud er stor.

Senegal River Valley, september 1999.

Hvordan satellitdata er anvendt

Innovationsforløbet skal bidrage til at undersøge mulighederne (proof-of-concept) for at udvikle nye satellitbaserede metodikker og dataprodukter relateret til operationelle varslings- og overvåg-



Vandstress, Ghana, 10. oktober 2017. Baseret på Sentinel-3-data.

ningssystemer for udbrud og spredning af vektorbårne sygdomme i udviklingslande. Produkterne vil bl.a. indeholde nye, forbedrede estimater af kritiske klimatiske parametre, herunder nedbør, temperatur og jordfugtighed, baseret på state-of-the-art-algoritmer anvendt på Sentinel-satellitdata og andre relevante Copernicus-data.

I innovationsprojektet vil eksisterende datasæt, herunder TVDI (Temperature-Vegetation-Dryness-Index) blive analyseret og testet, og nye datasæt for temperatur og nedbør for udvalgte case-områder i Afrika vil blive udviklet. Det overordnede formål med analyserne er at undersøge, på hvilken måde og på hvilken skala (med forskellige rumlige og tidsmæssige opløsninger) satellitbaserede estimater af klimatiske parametre, specielt vand og jordfugtighed og andre indikatorer relateret hertil, kan bidrage til at forbedre kortlægningen af de særlige forhold, som påvirker udbrud og spredning af vektorbårne sygdomme. Og dermed hvordan de kan indgå som et centralt element i operationelle varslingssystemer for disse sygdomme.

Anvendelser og fordele

De satellitbaserede datasæt relateret til vand vil blive koblet sammen med andre data (in situ-målinger og reanalysedata), epidemiologiske data samt relevante informationer om de sociale, institutionelle, økonomiske og demografiske forhold, som også er markører for vektorbårne sygdomme. På den baggrund vil en simpel model til at forudsige risikoen for et sygdomsudbrud blive opstillet og benyttet til at benchmarke og validere satellitprodukterne. Herudover vil DTU forskerne bidrage med en analyse af klimamodelfremskrivninger for de relevante klimatiske parametre (nedbør, temperatur) med henblik på at estimere konsekvenserne af fremtidige klimaændringer for udbrud og spredning af vektorbårne sygdomme (og dermed implicit markedspotentialet).

Referencer og partnere

Undersøgelsen finansieres af European Regional Development Fund (ERDF) og Vækstforum Hovedstaden gennem et Water-Innovation-SME-projekt under Water DTU.

Kortlægning og overvågning af vådområder i stor skala

Sentinelbilleder anvendes til udvikling af metoder til kortlægning af bevoksede vådområder i høj opløsning.

Torsten Bondo [A], Christian Tøttrup [A]

A: DHI GRAS

Udfordringen

Mere end 1 milliard mennesker er afhængige af de økosystemtjenester, vådområder bidrager med, og sunde og funktionelle naturlige vådområder er tæt forbundet med menneskets eksistensgrundlag, trivsel og bæredygtige udvikling. På trods af deres værdi står vådområder imidlertid over for store trusler, heriblandt: omdannelse til kommerciel udvikling, overfiskeri, turisme, forurening og klimaforandringer mm.

Der er således et presserende behov for at styrke de nationale politikker og juridiske rammer for at hjælpe lande til at beskytte og genoprette økosystemer i vådområder. Bestræbelserne på at bevare og gendanne vådområder er imidlertid blevet hæmmet af manglende data om placering, type og størrelse af vådområder.

Disse data og oplysninger er nødvendige for at måle effekten af politiske, juridiske og lovgivningsmæssige mekanismer og for at måle fremskridt mod verdensmålene for bæredygtig udvikling.

Den rumbaserede løsning

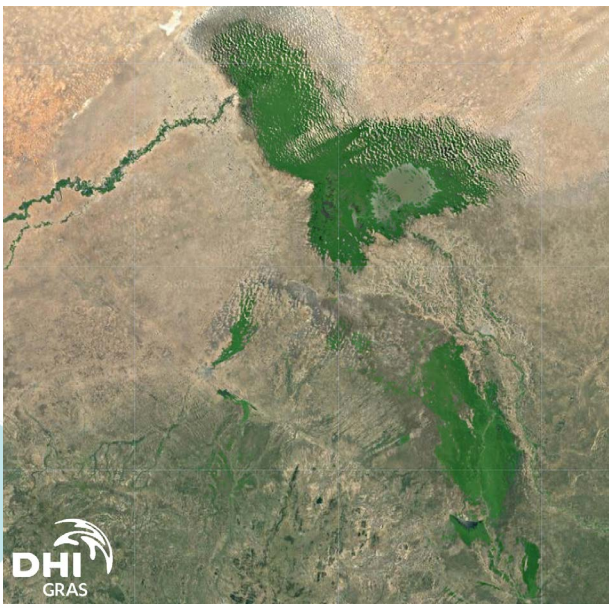
Præcis kortlægning af vådområders udstrækning er afgørende for overvågning af habitatfordeling, tæthed og sammenhæng, som er kritiske parametre for at udvikle mål, planer og prioriteter for fremtidig genopretning, beskyttelse og forbedring.

Dynamikken og den store mangfoldighed af vådområder er en udfordring for kortlægning på verdensplan, og nu om dage findes der kun data i grov opløsning på globalt plan.

Traditionelt har arbejdet med kortlægning af vådområder været afhængigt af almindelige billedbehandlingsteknikker (korttolkning, digitalisering, samling af supplerende data og billedanalyse) for at samle rumlige oplysninger om vådområders udstrækning. Denne proces er både ressource- og arbejdskrævende, inkonsekvent og svær at skalere.

> **Brugen af satellitbaserede jordobservationsdata til overvågning af vandrelaterede økosystemer anerkendes som en vigtig informationskilde for beslutningstagerne.**
>
> *Gareth James Lloyd, UNEP-DHI Center*

Copernicus-programmets Sentinel-satellitter bidrager med global dækning af data i den rette tidsmæssige og rumlige opløsning, hvilket gør det muligt at udlede nøjagtige oplysninger om vådområder i høj opløsning. Seneste bestræbelse på kortlægning fra GlobWetland Africa-projektet (http://globwetland-africa.org/) har vist, at Sentinel-missionerne har en mangfoldig kapacitet til at understøtte kontinuerlig monitorering af vådlandsområders tilstand og omfang på tværs af forskellige regioner i Afrika.



Overvågning af et vådområde i Tchad. Vådområdets udbredelse kan være input til FN's nationale rapporter om bæredygtighedsmålet SDG 6.6.1.

AI-teknologien er perfekt positioneret til at automatisere analyse og fortolkning af satellitbilleder til at detektere og afgrænse vådområder på globalt niveau og med minimalt menneskeligt input.

Sammen med United Nations Environment har DHI GRAS ved hjælp af kunstig intelligens-maskinlæring udviklet en globalt anvendelig metode til kortlægning af vådområder i overensstemmelse med overvågningskravene i verdensmålene for bæredygtig udvikling (jf. https://www.sdg661.app/).

Fordele for borgerne

Overvågning af vådområder er afgørende for bevarelse og gendannelse af økosystemerne og nævnes eksplicit i en række nationale bevaringsplaner. Derfor er overvågning og rapportering ikke kun vigtig i forhold til afrapportering over for SDG-målene, det bør være forankret i og anvendt af de nationale agenturer for at undgå yderligere degradering af vådområder.

Fremtidsperspektiv

Det forventes, at metodologien under udvikling kan bane vejen for en avanceret skalerbar overvågningsmetodik for vådområder, der kan forbedre forvaltningen og bevarelsen af globale vådområder.

Resultaterne kan have global indflydelse, da de data og algoritmer, der er udviklet inden for rammerne af dette projekt, vil være frit tilgængelige for alle lande i verden som en kritisk ressource til sporing af status og omfang af nationale og regionale vådområder.

Dette vil bygge bro over informationskløften i mange lande, regioner og byer, så de kan handle og reagere på vandrelaterede problemstillinger og belastninger gennem informeret beslutningstagning.

Tak

Tak til FN's miljøprogram.

Satellitdata til at understøtte effektive kunstvandingsprocesser i landbruget

Mere effektiv forvaltning af kunstvandingsprocesser i landbruget vil bidrage til større fødevaresikkerhed, fattigdomsbekæmpelse og økonomisk vækst. Satellitdata kan understøtte beslutningsgrundlaget for kunstvanding i landbruget og bidrage til at sikre en mere effektiv og bæredygtig forvaltning af begrænsede vandressourcer.

Torsten Bondo, DHI GRAS

Udfordringen

Kunstvanding er en måde at udvide landbrugsproduktionen på og sikre øget afgrødeproduktivitet. På grund af den hurtige befolkningstilvækst samt ændringer i tørke og nedbørsmønstre, bl.a. som følge af klimaforandringer, forventes det, at kunstvanding vil overtage en central rolle i det fremtidige landbrug.

Mens kunstvandingsordninger giver en egnet platform for effektiv mobilisering og fordeling af vand, er landmænd/ledere nødt til at vide, hvornår og hvor meget der skal kunstvandes for at opnå det optimale vandforbrug.

Den rumbaserede løsning

Satellitter kan bidrage til at understøtte en mere effektiv styring af kunstvanding ved at afdække vandingspotentiale og bidrage med pålidelige oplysninger om den rumlige udbredelse af "Crop Water Stress". Derved kan vandstressede markområder let udpeges og således bidrage til at understøtte datadrevet og mere effektiv kunstvanding.

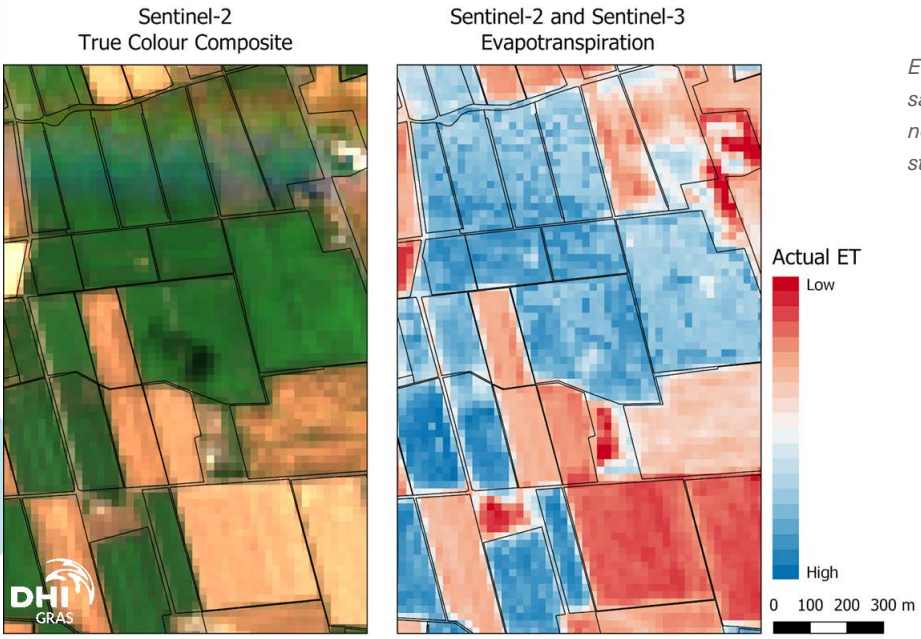
Let adgang til pålidelige estimater af evapotranspiration betragtes som en vigtig faktor, da "Crop Water Stress" er afledt af netop disse målinger.

Når evapotranspiration kan estimeres i høj opløsning, kan det bruges til at kortlægge afgrøders vandstress på markniveau.

Evapotranspiration (ET) er en nøgleparameter og del af vandcyklussen i landbruget. Ny teknologi til vurdering af ET baseret på Sentinel er udviklet.

Mens omfattende forskning har været i stand til at afdække evapotranspiration vha. af satellitdata på regionalt niveau, har det indtil nu ikke været muligt udlede evapotranspirationsdata på markniveau (landbrugsniveau).

Dette har nu ændret sig, og data fra Sentinel-2- (optisk 10 m) og Sentinel-3- (termisk 1 km) satellitterne har den rigtige kombination af hyppige revisionstider, nye spektralkapaciteter og billeder i høj opløsning, der gør satellitterne ideelle til at udlede evapotranspiration på markniveau.



Evapotranspiration beregnet fra satellitdata i høj opløsning. Denne teknologi vil blive brugt af landmænd til at styre kunstvanding bedre i fremtiden.

Termiske data er essentielle for beregningen af evapotranspiration, da jordoverfladetemperatur (LST) udgør den nedre grænse i systemet for energioverførsel mellem overflade og atmosfære. LST er fremstillet fra termiske observationer fra Sentinel-3-satellitten med en rumlig opløsning på 1 km. Denne opløsning er ikke tilstrækkelig til overvågning af "Crop Water Stress" på markskala, og derfor skærpes den til 20 m ved at anvende optiske observationer fra Sentinel-2.

> **Landbrugerens adgang til beslutningsmateriale, baseret på pålidelige data om evapotranspiration på markskala, kan potentielt ændre, hvordan landmænd kunstvander vandintensive afgrøder.**
>
> *Rita Hørfarter, SEGES*

Denne skærpelse er ny og anvender en nyudviklet maskinlæringsalgoritme. De første resultater viser, at metoden fungerer bedst, når der er en klar termisk kontrast i billedet, hvilket bl.a. typisk er tilfældet i kunstvandede områder.

Konceptet bygger på velafprøvede teknikker og koder, som er baseret på en kombination og integration af frit tilgængelige softwarepakker som QGIS, BEAM og SNAP. Indtil videre er resultater fra denne nye metode offentliggjort og testet i projektet "Sentinels for evapotranspiration" støttet af Den Europæiske Rumorganisation (ESA). Nye brugere tester i øjeblikket produktet med lovende resultater. Se projektwebstedet http://esa-sen4et.org/

Fordele for borgerne

Værktøjer, som kan bidrage til at understøtte en mere effektiv og optimeret brug af vores begrænsede vandressourcer, er kritiske i forhold til at sikre, at vi bevæger os i en mere bæredygtig retning, både socialt, økonomisk og miljømæssigt. Denne metode til at kortlægge evapotranspiration på markniveau udgør et vigtigt redskab til at sikre mere vidensbaseret og datadrevet beslutningstagning om brug af kritiske vandressourcer i landbruget.

Fremtidsperspektiv

Det forventes, at teknologien kan føre til betydelige vandbesparelser for det samme udbytte, hvilket vil være til stor fordel for landbrugerne og bestyrerne af kunstvandingsordninger.

Tak

Tak til ESA for at finansiere den indledende forskning i udviklingen af koden til evapotranspiration i projektet "Sentinels til evapotranspiration" (http://esa-sen4et.org/).

Kortlægning af græsbrakmarker ved brug af Sentinel-2 data

Præcis og rumligt detaljeret kortlægning af græsbraklagte marker i udviklingslande er en essentiel, men hidtil overset del af fødevaremonitorering.

Xiaoye Tong [A], Martin Brandt [B], Rasmus Fensholt [B]

A: DHI GRAS B: Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet

Udfordringen

Remote sensing-baseret bestemmelse af landbrugsarealer bliver til stadighed mere detaljerede og præcise. Dog har der traditionelt ikke været fokus på at skelne mellem marker, der bliver aktivt dyrket, og marker, der ligger brak. Dette er i særdeleshed tilfældet for græsbrakmarks-systemer i nogle af klodens tørre egne. I Sahel-regionen syd for Sahara, som er et af verdens største semi-aride områder, praktiserer man i vid udstrækning rotationssystemer mellem afgrøder og flerårig braklægning, for ikke at udpine landbrugsjorden. Vi ved dog i dag ganske lidt om udbredelsen af brakmarker, da brak ikke bliver kortlagt som en selvstændig klasse i eksisterende globalt dækkende satellitbaserede arealanvendelseskort.

Hvordan satellitdata er anvendt

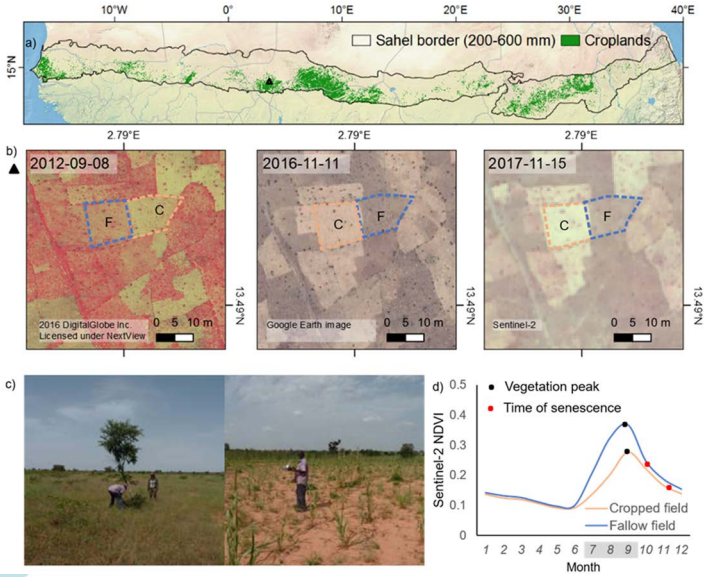
Med en 10 m rumlig opløsning og en 5-dages tidslig opløsning er det blevet muligt fra Sentinel-2-data at bestemme, om landbrugsjord bliver aktivt dyrket eller ligger brak, ved brug af Google Earth Engine, designet til at kunne håndtere store datamængder (cloud-computing). Her har vi genereret et brakmarkskort dækkende hele Sahel i en 10 m rumlig opløsning for 2017. Træningsdata for klassifikationen blev indsamlet fra Very High Resolution-billeder fra Google Earth, og Sentinel-2-satellitdata blev bearbejdet i Google Earth Engine. Analysemetoden drager fordel af den spektrale forskel mellem græsbrakmarker og aktivt dyrkede marker set over en vækstsæson. Et fuldt år af Sentinel-2- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)-data, repræsenterende alle stadier af græs og afgrødevækst, blev brugt som inputvariable til den endelige brakmark/afgrødekortlægning. Vi benyttede en machine learning-klassifikations-algoritme (random forest) baseret på en automatiseret totrinsmetode til indhentning af trænings- og referencedata. Denne metode er i stand til at repræsentere landskabets heterogenitet og er på samme tid reproducerbar for andre områder.

> **Sentinel-2 har åbnet en spændende ny mulighed for kortlægning af græsbrakmarker, som kan forbedre grundlaget for monitorering af fødevareproduktion i udviklingslande.**
>
> *Rasmus Fensholt, Københavns Universitet*

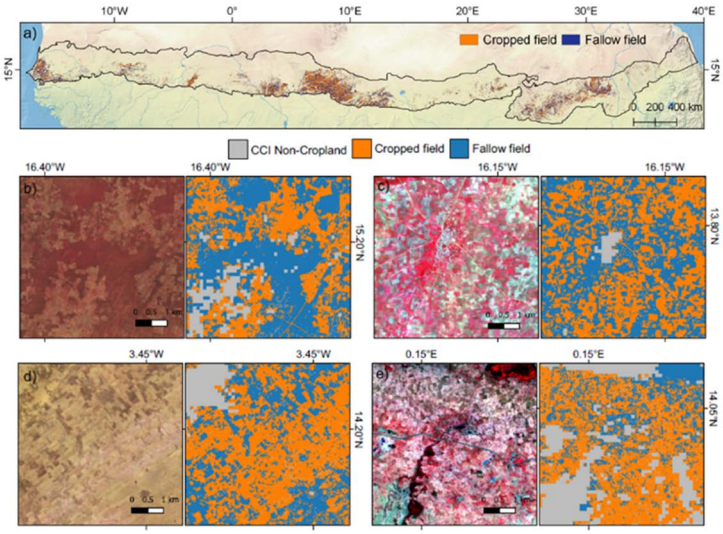
Analysen viste, at 57-63 % af alle marker i Sahel (udregnet på basis af seks forskellige tilgængelige state-of-the-art remote sensing-afgrødekortlægninger) var braklagt i 2017.

Anvendelser og fordele

Denne anvendelse af Copernicus-data har forbedret vores forståelse af landbrugssystemer i regionen, da den viser, at græsbraklægning er langt mere udbredt end hidtil antaget. Metoden udgør en ny standard for kortlægning af græsbraklægning i Sahel-regionen, som muliggør en forbedret



NDVI-sæsonsignaturer for dyrkede og braklagte marker i Sahelområdet syd for Sahara. Forskellen i NDVI-signaturer mellem braklagte og aktivt dyrkede marker er tydelig.



Klassifikation af braklagte og aktivt dyrkede marker i 10 m rumlig opløsning for Sahel. Eksempler er vist fra billedudsnit dækkende Senegal, Mali og Burkina Faso.

forståelse af braklægning som redskab i forhold til forøget pres på perioden, marker ligger under brak, forringelse af jorden samt fødevaresikkerhed. Resultaterne viste, at over halvdelen af Sahels dyrkbare jord, klassificeret som landbrug, ikke producerede afgrøder i 2017, hvilket selvfølgelig er afgørende, når fødevareproduktion bestemmes ud fra satellitbaseret landbrugskortlægning.

Det faktum, at arealet af braklagte marker er større end aktivt dyrkede marker, modsiger den gængse opfattelse, som er, at befolkningspres og et forøget behov for fødevarer har medført, at braklægning som fænomen i Sahel er forsvundet med fare for det traditionelle landbrugssystems bæredygtighed. Den udviklede metode anses for at være reproducerbar for andre af klodens landbrugsområder, hvor flerårig græsbraklægning praktiseres.

Perspektiver og muligheder

En fremtidig anvendelse baseret på længere tidsserier af Sentinel-2 vil yderligere kunne forbedre vores viden om rotationsfrekvensen af græsbrakmarkssystemer. Denne viden er essentiel for at forstå, hvordan landbrugsintensivering og arealudvidelse påvirker miljømæssige forhold som jordkvalitet og høstudbytter i udviklingslande såsom landene, der tilsammen udgør Sahel.

Referencer og partnere

Denne case er baseret på arbejde udført under projektet: Greening of drylands (DFF-6111-00258): Towards understanding ecosystem functioning changes, drivers and impacts on livelihoods. Danmarks Frie Forskningsfond.

Forbedret kortlægning af savannetræer fra Copernicusdata

Hvordan Sentinel-1 og Sentinel-2 data forbedrer monitorering af savanne-trævegetation, fra kortlægning af trædække til kortlægning af enkelte træer.

Wenmin Zhang [A], Martin Brandt [A], Rasmus Fensholt [A]

A: Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet

Udfordringen

Trævegetation er en vigtig del af savanne-økosystemer og bidrager med økosystemgoder i form af levebrød for den lokale befolkning. Det er derfor væsentligt at kunne monitorere trævegetation med stor præcision fra satellitdata. Remote sensing-kortlægning er dog i dag baseret på data af lav rumlig opløsning, som ikke direkte kan bestemme forekomsten af savannetræer pga. deres spredte forekomst i landskabet. Nuværende satellitbaseret information af savannetræer er derfor beroende på estimater af et procentuelt trædække per arealenhed. Kvaliteten af eksisterende produkter er middelmådig, og det er ofte uklart, hvilken slags trævegetation der er medregnet i kortlægningen (f.eks. buske, høje træer, fuldt trækronedække i en pixel eller egentlig skov).

Hvordan satellitdata er anvendt

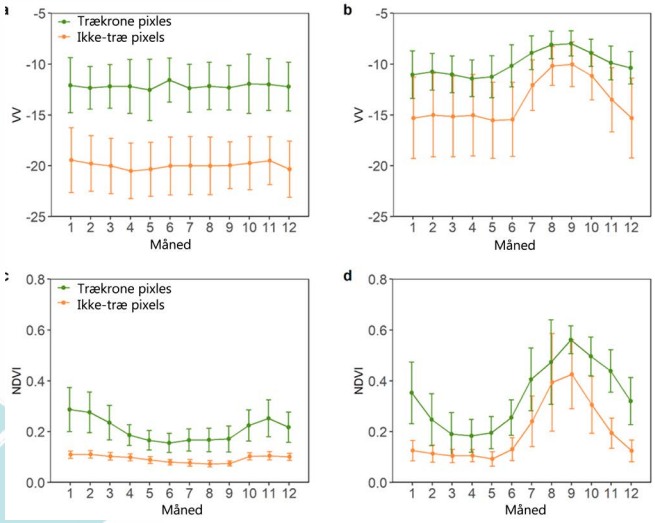
Med opsendelsen af Copernicus' Sentinel-satellitter (Sentinel-1 og Sentinel-2) nærmer den rumlige opløsning af billeder sig størrelsen af en gennemsnitlig trækrone, hvilket giver mulighed for at kortlægge tilstedeværelsen af enkelte træer i stedet for at estimere trædække per arealenhed eller skov/ikke-skov. Her har vi anvendt en machine learning-algoritme (support vector machine) til at klassificere tilstedeværelse/fravær af trævegetation fra Sentinel-1- og Sentinel-2-data i 10 m rumlig opløsning for hele Sahel-området beliggende syd for Sahara i Afrika. Information til at træne en sådan billedklassifikation blev indsamlet ved brug at højopløsningsdata fra Google Earth, og Sentinel-2-satellitdata blev analyseret vha. Google Earth Engine. Klassifikationsmetoden drager fordel af spektrale forskelle i træer og græs/afgrøders vækstmønstre set gennem et års vækstcyklus. Månedlige VV (Sentinel-1) og Normalized Difference Vegetation Index NDVI (sentinel-2)-signaturer fra pixels dækkende hhv. træ og ikke-trævegetation blev bestemt fra tidsserier af Sentinel-data (fra perioden juli 2015 til december 2018) og blev sammenholdt med træningsinformation.

> **Copernicusdata har åbnet helt nye muligheder for storskalakortlægning af savannetræer helt ned på niveau af enkelte trækroner.**
>
> *Rasmus Fensholt, Københavns Universitet*

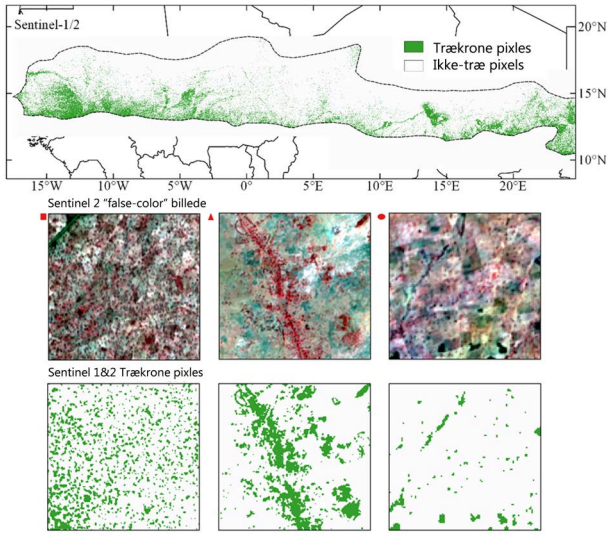
Kortlægningen blev sammenlignet med eksisterende satellitbaseret trædækkeinformation og viste markante forskelle, der i al deres tydelighed viser behovet for nye metoder til trækortlægning tilpasset savanne-økosystemer. Kortlægning af enkelte træer fra Sentinel-data har vist sig at fungere udmærket og er fuldt ud i stand til at reproducere mønstret af spredte trækroner.

Anvendelser og fordele

Dette er den første regional-skala-kortlægning af trævegetation i savanne-økosystemer i relation til



Sæsonsignaturer af pixels dækkende trækroner og ikke-træer for savanne med 5 % (a+c) og 25 % trædække (b+d). Forskellen i NDVI- og VV-signaturer de to klasser imellem er tydelig.



Klassifikation af savannetræer i Sahel-området syd for Sahara ved brug af Sentinel-1-VV and Sentinel-2-NDVI-spektrale signaturer.

årsager og konsekvenser af et ændret trædække, det være sig udvidelse eller reduktion.

Opdateret remote sensing-baseret information om fordelingen af trækroner i forhold til græsdække i 10 m rumlig opløsning giver mulighed for en forbedret forståelse af de økosystem-goder, som savanne-økosystemer leverer. Sentinel-baseret kortlægning kan bidrage væsentligt til at administrere træressourcer i relation til f.eks. tætheden af trædække i såkaldte agro-forestry-systemer, hvor det er velkendt, at et vist trædække har en gavnlig indvirkning på afgrødevækst og kan levere økosystem-goder i form at frugter, træ til brænde og byggematerialer. Endvidere kan en forbedret kortlægning af savannetræer kaste nyt lys over ressourcens påvirkning af klimaændringer, savannebrænde og mennesker/planteædere for at forbedre vores viden om, hvordan savanne-økosystemer kan bidrage med økosystem-goder i fremtiden.

Perspektiver og muligheder

En "skybaseret" kortlægning er et afgørende skridt i retning af kortlægning af træer for klodens globale savanneområder. En sådan direkte bestemmelse af enkelte trækroner vil på langt sigt også åbne døren for detaljeret analyse med fokus på ændringer, i takt med at Sentinel-tidsserierne bliver længere.

Referencer og partnere

Denne case er baseret på arbejde udført under projektet: Greening of drylands (DFF-6111-00258): Towards understanding ecosystem functioning changes, drivers and impacts on livelihoods. Danmarks Frie Forskningsfond (DFF).

Satellitdata kan understøtte bæredygtig udvikling og implementering af FN's verdensmål

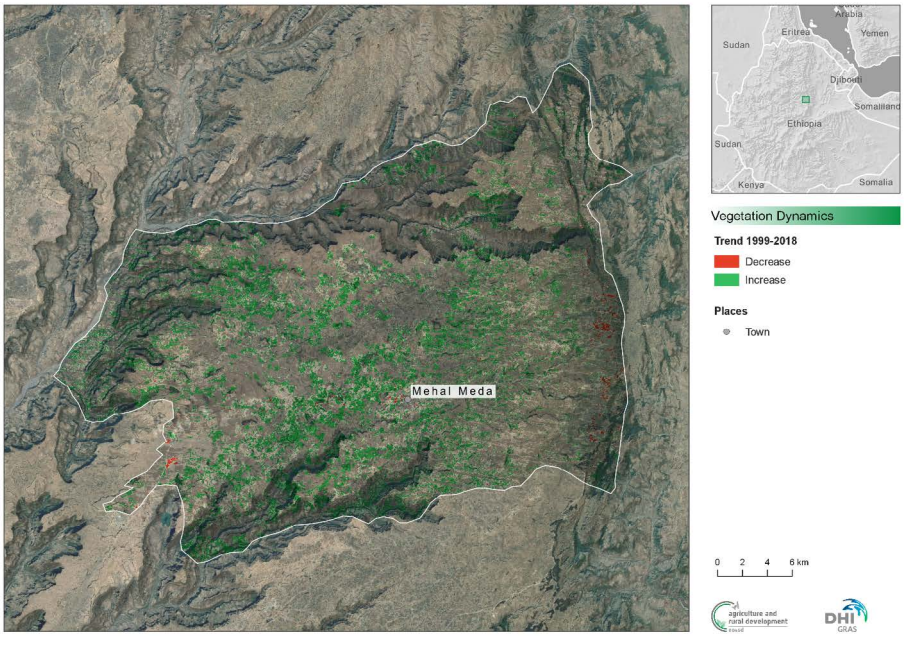
Forbedring af evidensbaseret planlægning, overvågning og evaluering af internationalt udviklingsarbejde for fødevaresikkerhed ved hjælp af satellitbaserede data og informationer.

Silvia Huber [A], Mads Christensen [A]

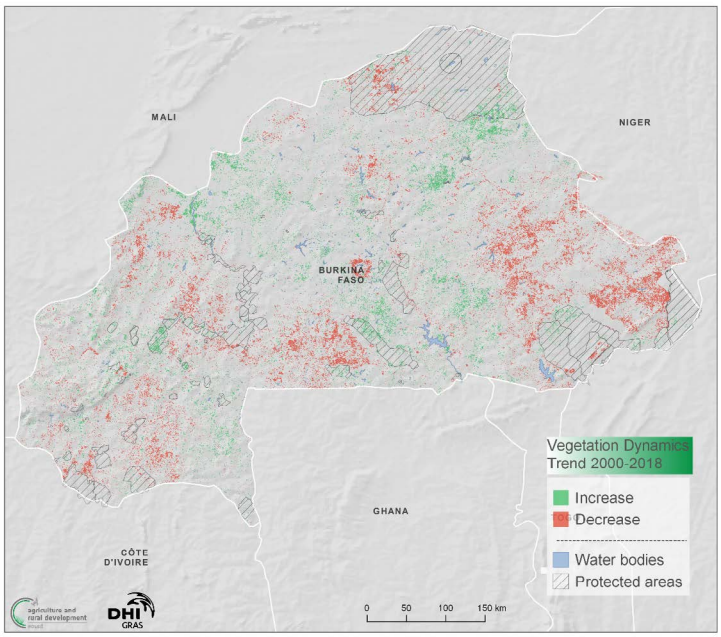
A: DHI GRAS

Udfordringen

Stigende efterspørgsel efter fødevarer, vand og energi til at forsørge en hurtigt voksende global befolkning har øget efterspørgslen efter jordressourcer markant. Som et resultat af intensiveringen af den menneskelige aktivitet har mange landdistrikter oplevet en markant degradering af landområder, hvilket har reduceret jordens produktionsevne, med andre ord betydeligt reduceret produktionen af fødevarer pr. landenhed. Landdegraderingen er en kompleks proces, der involverer forskellige drivende faktorer, blandt hvilke klimaændringer, arealanvendelse/dækningsændringer og menneskedomineret jordforvaltning spiller en betydelig rolle. Da degradering af jorde er direkte relateret til fødevaresikkerhed, sætter internationalt udviklingsarbejde fokus på bæredygtig jordforvaltning og neutralitet i jorddegradering. Imidlertid findes der ikke konkrete beviser for effekten af disse investeringer, og de underliggende drivkræfter



Satellitbaseret vegetationsdynamik i lokal skala for Menz Gera Midir i Etiopien. Vegetationsvækst blev kortlagt i store områder. Årsagen bag denne tendens kendes ikke. Hotspots for vegetationsreduktion er hovedsageligt relateret til byvækst og stejle områder.



Satellitbaseret vegetationsdynamik på national skala i Burkina Faso. Faldende vegetationsdækning i perioden 2000-2018 er hovedsageligt relateret til landbrugsudvidelse og byvækst på grund af en stigende befolkning. Stigende vegetationsdækning kan relateres til beskyttede områder, men også mango- og cashewplantager.

for processer i jorddegradering er ikke helt klare. Dette gør det vanskeligt at identificere fremgangsmåder og investeringer, der effektivt kan bekæmpe ørkendannelse for at standse og vende jorddegradering og standse tab af biodiversitet.

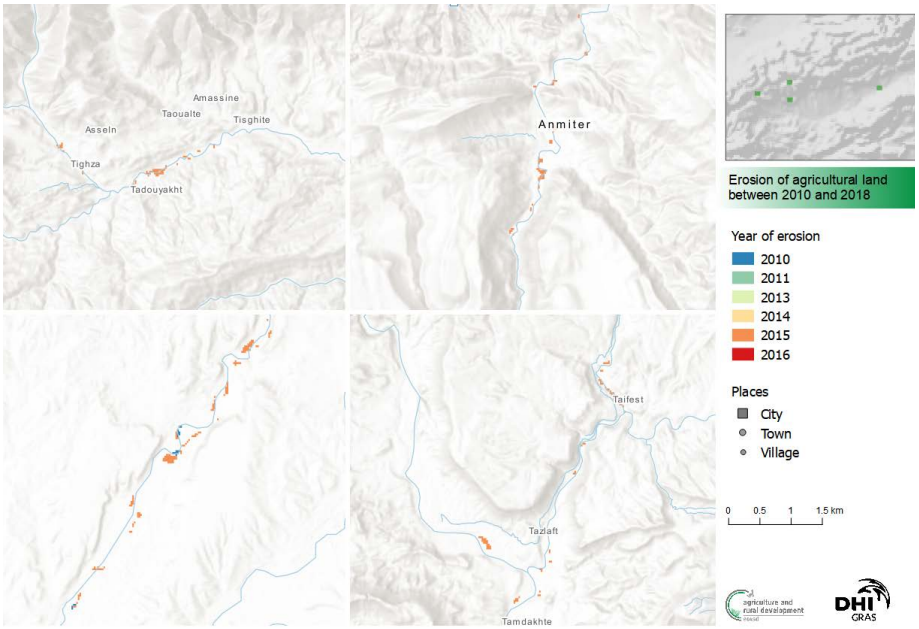
> **EO4SD introducerede den satellitbaserede informationsindsamling og analyse til vores projekt og partnere. Det var en øjenåbner for mig at overveje brugen af sådan information til at dokumentere vores basislinje og udvikle et overvågningssystem. Jeg bruger stadig de data, som EO4SD gav mig for to distrikter som et eksempel, når jeg præsenterer værdien af satellitbaseret information til vores overvågningssystem. De data, jeg fik, hjalp mig med at demonstrere, hvordan satellitdata, analyseret og tolket, kan bidrage med meningsfuld information til beslutningstagerne.**
>
> *UNDP-projektleder, GEF IAP Food Security Child-project*

Den rumbaserede løsning

Satellitbaseret jordobservation indebærer et stort potentiale til at informere og facilitere internationalt udviklingsarbejde på en global sammenhængende måde. EO4SD – jordobservation for bæredygtig udvikling – er et initiativ fra Den Europæiske Rumorganisation (ESA), der har til formål at opnå en forøgelse i opsamling af satellitbaseret miljøinformation inden for de regionale og globale programmer for de multilaterale udviklingsbanker (MDB).

Mange af de drivende faktorer for jorddegradering kan overvåges ved hjælp af jordobservations-satellitter. Med lanceringen af Sentinel-satellitterne under EU's Copernicus-program er en hidtil uset mængde gratis og åbne data blevet tilgængelige, som tillader overvågning, selv i lokal projektskala. Integration af information fra forskellige satellitter, der adresserer arealanvendelse/dækningsændring, jordproduktivitet, langtidsdynamik i vegetationsdække, klimatiske såvel som andre medvirkende faktorer, kombineret med lokal information, muliggør en omfattende vurdering af den biofysiske basislinje ved projektstart og overvågning af fremskridt under implementeringen. Den samme tematiske information er tilgængelig i forskellige rumlige opløsninger, der forbinder den regionale dimension med nationale og lokale processer. Afhængigt af indikatoren er de afledte oplysninger typisk tilgængelige dagligt, ugentligt, månedligt eller årligt, både historisk og i nær realtid. Med disse egenskaber kan rumlige evidensbaserede indikatorer for status af jorden udvindes, og statistikker

I provinsen Ouarzazate i Marokko ligger den eneste agerjord ofte tæt på floderne i dalene. På grund af oversvømmelser eroderes jorden regelmæssigt. Dette kort viser de eroderede områder og året for begivenheden. Som det kan ses, var 2015 året med store oversvømmelser, hvilket resulterede i, at meget af det dyrkede land blev eroderet.



→ beregnes til investeringsplanlægning, projektovervågning og evaluering (M&E) af projekter implementeret af MDB'er.

Fordele for befolkningen

Engagementet af EO4SD resulterede i implementeringen af satellitbaserede overvågningssystemer i flere pilotlande, herunder i Etiopien, til projektet: *Integrated Landscape Management to Enhance Food Security and Ecosystem Resilience in Ethiopia*, finansieret af det globale miljøfaciliteringsprogram (GEF) om fødevaresikkerhed. Systemet, der er implementeret i Etiopien, leverer regelmæssige EO-baserede data og oplysninger til at understøtte kravet om evidensbaseret M&E. Den biofysiske basislinje blev også afledt af satellitter for 2017, hvilket giver et godt grundlag for at følge udviklingen i implementeringen. Resultaterne af den endelige evaluering vil være nyttige til at vurdere, hvilke tilgange der var succesrige og derfor egnede til anvendelse på andre områder. Satellitbaserede tilgange til at informere evidensbaseret planlægning og M&E af internationale udviklingsprojekter har potentialet til at forbedre projektplanlægningsprocesser og implementering væsentligt, samtidig med at det giver en solid og objektiv begrundelse for de offentlige udgifter til internationalt udviklingsarbejde.

Fremtidsperspektiv

DHI GRAS vil fortsætte med at optimere værktøjer til overvågning af økosystemets sundhedsindikatorer, bl.a. ved at integrere information fra forskellige datakilder, herunder radar, optiske undersøgelser og feltundersøgelser. Fremtidige missioner såsom Copernicus-kandidatmissionen om overvågning af jordoverfladetemperatur (LSTM) vil yderligere forbedre satellitdataenes evne til at understøtte jord- og miljøovervågning i høj rumlig og tidsmæssig opløsning i fremtiden. Desuden vil den hurtige udvikling inden for deep learning-metoder til at automatisere satellitdataanalyse og identificere diskrete mønstre inden for dataene være skelsættende for fremtiden, hvilket vil bane vej for en ny mulighed for at levere operationelle overvågningssystemer i nær realtid.

Tak

Vi takker ESA for at yde finansiering til EO4SD-projektet, og vi takker vores partnere i EO4SD-landbrugsklyngen. Vi takker også MDB'erne og de lokale aktører der har bidraget til dette projekt gennem deres engagement og samarbejde, herunder Verdensbanken, FN's udviklingsprogram (UNDP), Den Internationale Fond for Landbrugsudvikling (IFAD) og Global Environment Facility (GEF).

Satellitbestemmelse af havstrømme til ruteoptimering

Satellithøjdemålinger fra Sentinel-3 er et unikt værktøj til at forbedre realtidsestimater af havets overfladestrømme, der er vigtige for navigation og ruteoptimering og til at hjælpe i den grønne omstilling.

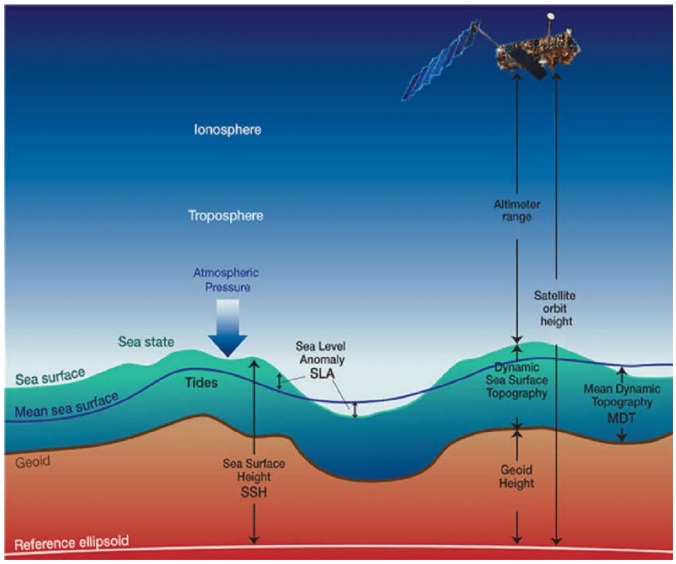
Ole Baltazar Andersen, DTU Space

Udfordringen

Skibsdrift påvirkes af en række miljøpåvirkninger såsom tidevand, strømme, bølger og vinde. Det maritime samfund har anerkendt fordelene ved at udnytte havstrømme i hvert fald så tidligt som i 1769, da Benjamin Franklin trykte et kort over Golfstrømmen for at fremskynde rejser mellem Europa og USA. I de fleste oceaner er der regelmæssige strømme, som skibe muligvis kan udnytte til hurtigere passage. Derfor er det fordelagtigt at udnytte havstrømme, når de er langs den planlagte rute, og at undgå strømme, når de går imod. Metocean-nøjagtighedsdata er også vigtige for skibssikkerhed og enheder, der udfører komplekse operationer under ugunstige forhold som eftersøgning og redning.

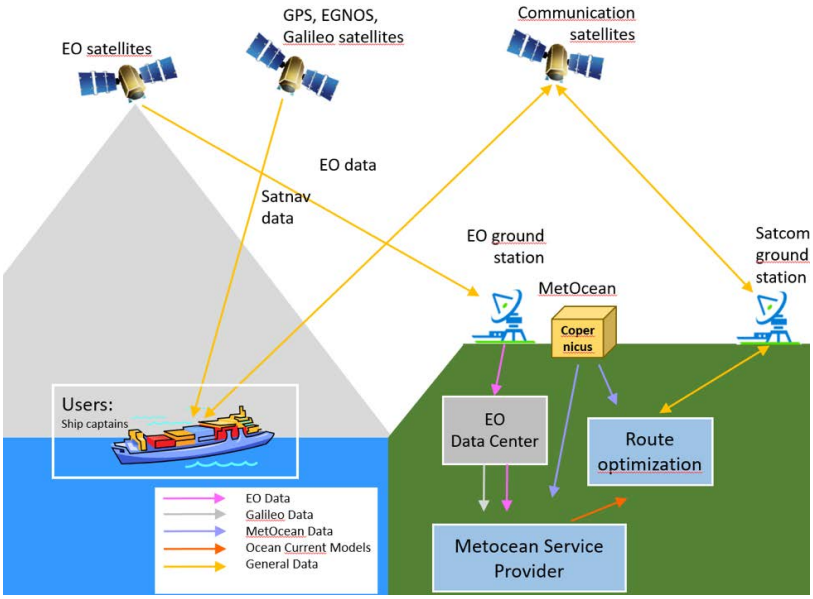
Den rumbaserede løsning

Virkningerne af dynamiske strømme ignoreres som oftest i ruteundersøgelser, fordi pålidelige og rettidige estimater af dynamiske strømningsmønstre ikke findes. Imidlertid giver den teknologiske udvik-



Satellithøjdemålinger forklaret.

Fra information af den dynamiske havoverfladetopografi langs en transekt på havoverfladen er satellitten i stand til at bestemme havoverfladens højde og geostrofiske strømme, vindhastighed og signifikante bølgehøjde.



Brug af jordobservationsdata til ruteoptimering og til gavn for skibets kaptajn.

ling inden for satellit-højdemålinger nu potentialet til at give nøjagtige estimater af strømme, vindhastighed og bølgehøjde i nær realtid, som kan bruges til at forbedre metocean-data eller fungere direkte som metocean-information. Metocean-information danner basis for ruteoptimering støttet af modelforudsigelser og simuleringer.

Fordele

Forbedret brug af satellit forventes at medføre betydelige tids- og brændstofbesparelser som følge af forbedret planlægning, selv på visse kystrejser, mens sådanne besparelser i fortiden hovedsagelig blev realiseret på rejser over havet. Ruteoptimeringer er et voksende marked, og med den forventede stigning i maritim aktivitet i Arktis er det vigtigt, at høje breddegrader indgår i fremtidige systemer. Her vil afhængigheden af EO-information være endnu større, da de generelle metocean-data vil være mindre nøjagtige, og kun de europæiske Sentinel-satellitter vil være i stand til at give EO-oplysninger til optimering af søtransport og operationer i de arktiske oceaner.

Fremtidsudsigter

Data fra Copernicus og vigtigst af alt Sentinel-3-efterfølgeren til Sentinel-3A og 3B satellitter blev indledt med opsendelsen af Sentinel-3A den 16. februar 2016 og Sentinel-3B den 25. april 2018. I dag giver de nøjagtige skøn over strømme, vindhastighed og bølgehøjde i nær realtid. I løbet af få år vil yderligere satellitter i Copernicus-programmet som Sentinel-6/JasonCS samt Sentinel-3C og -3D fortsætte med at levere data i høj kvalitet.

Referencer og partnere

Blue_Siros er et ESA-feasibilitetsstudie støttet via Artes programmet.

MOIST – Managing and Optimizing Irrigation by Satellite Tools

Førende danske og europæiske eksperter inden for satellitapplikationer arbejder med landbrugssektoren for at udvikle et system, baseret på Copernicusdata, til at optimere brugen af vandressourcer i landbruget.

Inge Sandholt [A], Henning Skriver [B], Francesco Mattia [C], Joaquim Belvert [D], Mathias Andersen [E], Søren Kolind Hvid [F], Anton Thomsen [E], Jesper Kaae Pedersen [G], Kenan Vilic [A]

A: Sandholt ApS B: DTU Space C: IREA-CNR D: IRTA E: Aarhus Universitet F: SEGES G: COWI

Udfordringen

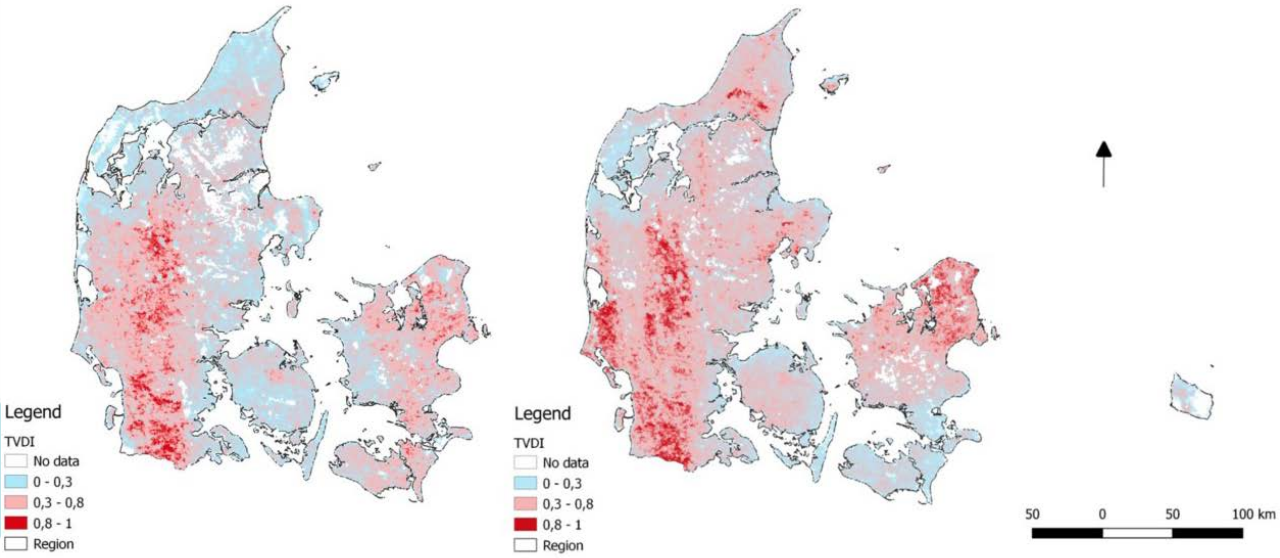
Vandressourcer er under pres på grund af den stadig stigende efterspørgsel og dermed behov for øget landbrugsproduktivitet til at brødføde verdens befolkning. Vandknaphed forventes at stige i fremtiden, hvilket fører til globalt fokus på udvikling af smarte vandstyringssystemer. Et operationelt kunstvandingssystem er meget efterspurgt. I øjeblikket har landmændene ikke adgang til rumligt distribueret information om fugtighedsforhold på deres marker eller rettidig information direkte relateret til observationer af afgrøder. MOIST-projektet vil give jævnligt opdaterede kort over vandstatus og vandingsbehov for marker og gøre dem tilgængelige for landmænd online for at give dem information om, hvornår, hvor og hvor meget der skal vandes.

Kunstvandet kartoffelmark, Foulum, Danmark. Foto: Jens Bonderup Kjeldsen.

> **Systemet øger udbyttet for hver liter vand, der bruges på en mark. Dette vil gavne landmændene i form af øget indtjening, og der er også miljømæssige fordele i form af reduceret udvaskning fra landbrugsområder.**
>
> *Mathias Neuman Andersen, Aarhus Universitet*

Hvordan satellitdata er anvendt

MOIST vil udvikle et system baseret på tidsserier med satellitdata, frit tilgængeligt fra Sentinel-satellitterne via Copernicus-programmet. Satellitdata erstatter og supplerer konventionelle meteorologiske data med den merværdi, at satellitbilleder giver direkte observationer af den rumlige variation i afgrødens vækst og vandstress. MOIST vil udnytte og kombinere forskellige former for billeder, hver med specifikt informationsindhold, som muliggør kortlægning og ajourføring af afgrødens vandbehov i rette tid, inden afgrøden er blevet beskadiget af vandstress. Filosofien bag MOIST er således at



Vandstress, Danmark 6. maj (venstre) og 14. maj 2018 (højre). Baseret på Sentinel-3.

kombinere forskellige satellitprodukter om vegetation, fordampning, jordfugtighed og afgrødestress i landbrugsområder. De primære datakilder er Sentinel-1, -2 og -3, der fungerer i optiske, termisk infrarøde og mikrobølgebånd. Synergier mellem sensorer og bølgelængder på tværs af produkter udnyttes. Testning og validering af systemet sker på danske hovedafgrøder såvel som vigtige afgrøder i semi-aride middelhavsklimaer (Syditalien og det nordøstlige Spanien) med varme og tørre somre og korte og tempererede vintre.

Anvendelser og fordele

Projektet vil tilbyde landmændene et nyt værktøj, der bidrager til at optimere kunstvanding af landbrugsafgrøder. Projektet vil styrke indsatsen fra lokale konsulenter med hensyn til optimering af markvanding. På de 450.000 hektar landbrugsjord, der kan kunstvandes i Danmark, er kunstvanding den vigtigste faktor for at øge afgrøderne. Ud over højere udbytte sikrer optimal kunstvanding meget mere stabilt udbytte og ofte afgrøder af højere kvalitet. Baseret på vinterhvede som eksempel har SEGES estimeret det direkte økonomiske potentiale for de danske landmænd ved at indføre mere præcis kunstvanding til 240 kr./ha/år, hvilket svarer til i alt 100 mio. kr./år. Mens vand generelt ikke er en begrænset ressource i Danmark, er det tilfældet i de sydlige dele af Europa eller andre dele af verden, især for de 40 % af verden, der er klassificeret som halvtør. Her forventes MOIST at have et betydeligt potentiale, der understøtter vækst i afgrøder og samtidig betyder mere miljømæssigt bæredygtig kunstvanding og vandforvaltning på regional skala.

Perspektiver og muligheder

Generelt kan man forvente en mere bæredygtig brug af vandressourcer med mindre miljøpåvirkning, f.eks. i form af udvaskning af næringsstoffer fra jorden. Sektorer uden for landbruget såsom energi, miljø og klimatilpasning kan drage fordel af de satellitprodukter, der er udviklet i projektet.

Referencer og partnere

Projektet modtager finansiering fra Innovationsfonden, kontraktnummer: 7049-00004B (MOIST) og projektpartnere: Sandholt ApS (DK), DTU (DK), Aarhus Universitet (DK), SEGES (DK), COWI (DK), AgroSens (DK), IRTA (Spanien) og CNR (Italien)

Global overvågning af atmosfærens luftfugtighed

Vanddamp spiller en vigtig rolle for jordens klima. Copernicus Climate Change Service (C3S) kan nu levere luftfugtighedsdata i global skala baseret på måling af GPS-signaler, der passerer gennem atmosfæren.

Hans Gleisner [A], Kent B. Lauritsen [A], Johannes K. Nielsen [A], Stig Syndergaard [A]

A: Danmarks Meteorologiske Institut

Udfordringen

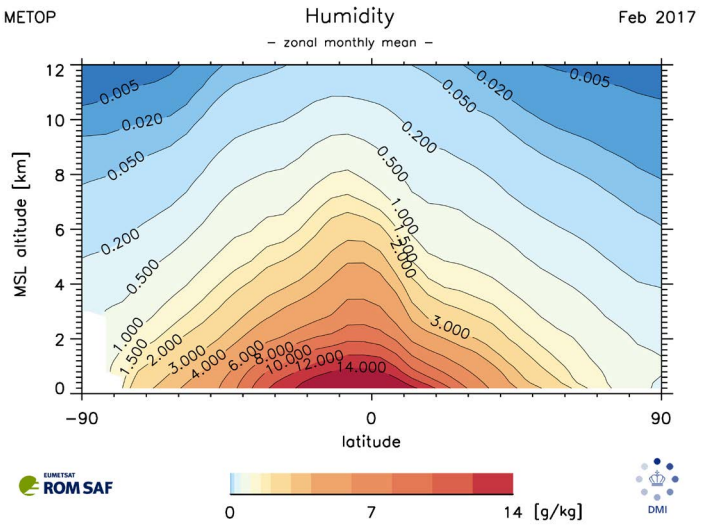
Luftfugtighed spiller en vigtig rolle for jordens klima på grund af vanddampens drivhuseffekt, men også for dens rolle i den globale energitransport mellem geografiske regioner og vertikalt mellem forskellige lag i atmosfæren. Luftfugtigheden er central for dannelsen af skyer og bestemmer de grundlæggende betingelser for biosfæren, herunder fordeling af nedbør og tørke.

En vigtig opgave for klimaforskere er altså at forstå, hvordan vanddampen er fordelt og bevæger sig rundt i atmosfæren. Men det er også vigtigt at være i stand til at overvåge udviklingen af det globale klima på kortere tidsskalaer, fra måned til måned. Et eksempel er El Niño-fænomenet, der begynder som en lokal opvarmning i det tropiske østlige Stillehav, men som efterhånden får udbredte globale konsekvenser, blandt dem en generel stigning i den atmosfæriske temperatur og luftfugtighed. Udfordringen er at få adgang til observationer, der har en global dækning og samtidig har den nødvendige nøjagtighed.

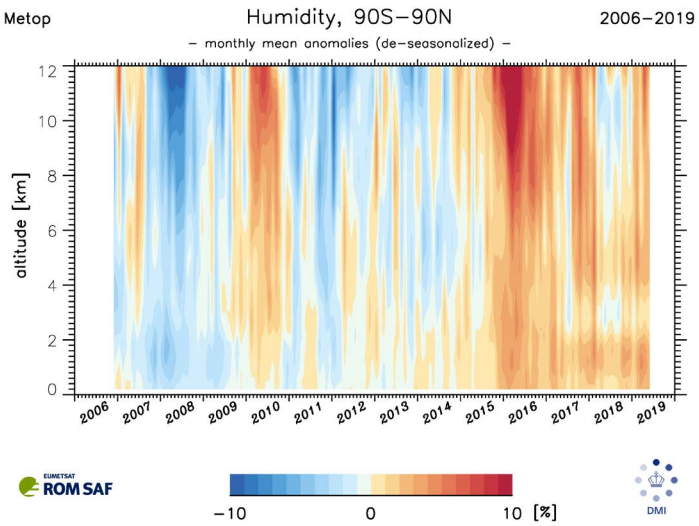
Luftfugtighed er vanskelig at måle nøjagtigt på global skala. Lokale målinger ved vejrstationer eller fra vejrballoner er sjældent repræsentative for en større region og er for få til at give et virkeligt globalt billede. Global overvågning af luftfugtighed kræver observation fra rummet.

Den rumbaserede løsning

Rumbaserede observationer af den globale luft-



Figur 1: Den globale luftfugtighed fordelt over breddegrad og højde i de nederste 12 km af atmosfæren.



Figur 2: Den globale luftfugtighed (målt som anomalier, dvs. differenser fra en middelværdi) i de nederste 12 km af atmosfæren, fra 2006 til 2019.

fugtighed er nu tilgængelige gennem Copernicus Climate Change Service (C3S). Disse observationsdata er baseret på radio-okkultationsmålinger dvs. måling af GPS-radiosignaler, der passerer gennem atmosfæren. En fordel ved denne teknik er, at den ikke påvirkes af skyer, eller af om målingen foretages over land eller hav. Observationerne har en virkelig global fordeling.

Serien af radio-okkultations-luftfugtighedsdata starter i 2006 og opdateres regelmæssigt til også at dække den seneste sæson. Data leveres på et globalt breddegrad-højde-gitter, der dækker de nederste 12 km af atmosfæren. Figur 1 viser den globale fordeling af luftfugtighed i februar 2017 målt ved radio-okkultations-instrumenter ombord på Metop-satellitterne og derefter kombineret med modeldata. Data i Figur 1 er fra februar (dvs. vinter på den nordlige halvkugle), hvor luftfugtigheden toppede lige syd for ækvator. Gennem klimatjenesterne kan vi følge, hvordan toppen i luftfugtighed bevæger sig frem og tilbage over ækvator, da den følger den intertropiske konvergenszonens vandring over året.

Fugtighedsdata, der er tilgængelige via Copernicus-klimatjenesten, dækker i øjeblikket omkring 14 år. Sammenligning af disse data med andre typer af klimadata afslører interessante sammenhænge i jordens klimasystem. Vi kan følge, hvordan den globale luftfugtighed reagerer på El Niño-episoderne i Stillehavet. Figur 2 viser den globale gennemsnitlige luftfugtighed fra slutningen af 2006 til midten af 2019. De største El Niño-begivenheder i 2009-2010 og i 2015-2016 følges af en relativt stor stigning i den atmosfæriske luftfugtighed. En nærmere undersøgelse afslører, at den globale luftfugtighed også påvirkes af svagere variationer i det tropiske Stillehav.

Fordele for samfundet

De klimadata, der leveres af Copernicus-tjenesterne, herunder globale luftfugtighedsdata, hjælper forskere med at forstå mekanismerne bag variationer af atmosfærisk vanddamp. Dette er vigtigt for forbedring af de globale klimamodeller, der giver vigtig information til beslutningstagere nationalt og internationalt. De nye klimatjenester bruger satellitbaserede data til at overvåge, hvordan det globale klima reagerer på f.eks. episoder med temperaturvariationer i havet. Dataene, som præsenteres, er instruktive og let forståelige, også for ikke-specialister.

Perspektiver og muligheder

Luftfugtighedsdataene er baseret på radio-okkultationsmålinger, der er en forholdsvis ny måleteknik under hurtig udvikling. Vi kan forvente at se en forbedring af detaljeniveauet i den geografiske fordeling af vanddamp samt at kunne få information om fænomener på kortere tidsskalaer.

Radio Occultation Meteorology Satellite Application Facility , som er en decentral enhed hørende under den europæiske organisation for meteorologiske satellitter, EUMETSAT, takkes for levering af radio-okkultationsdata, gjort tilgængelig gennem Copernicus klimatjenesten.

Styrelsen for
Dataforsyning og
Effektivisering

KØBENHAVNS KOMMUNE