



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Kartlegging av grønnstruktur i bebygde områder

Datagrunnlag og metodikk for fremstilling av et nasjonalt grønnstrukturkart

NIBIO RAPPORT | VOL. 9 | NR. 112 | 2023



Bjørn Borchsenius, Arnt Kristian Gjertsen, Henrik Forsberg Mathisen, Linda Aune-Lundberg

Divisjon Kart og Statistikk

**TITTEL/TITLE**

Kartlegging av grønnstruktur i bebygde områder - Datagrunnlag og metodikk for fremstilling av et nasjonalt grønnstrukturkart

**FORFATTER(E)/AUTHOR(S)**

Bjørn Borchsenius, Arnt Kristian Gjertsen, Henrik Forsberg Mathisen, Linda Aune-Lundberg

<b>DATO/DATE:</b>	<b>RAPPORT NR./ REPORT NO.:</b>	<b>TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:</b>	<b>PROSJEKT NR./PROJECT NO.:</b>	<b>SAKSNR./ARCHIVE NO.:</b>
12.09.2023	9/112/2023	Åpen	52783	23/01080
<b>ISBN:</b>	<b>ISSN:</b>	<b>ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:</b>	<b>ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:</b>	
978-82-17-03349-3	2464-1162	46	1	

**OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:**

NIBIO

**KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:**

Bjørn Borchsenius

**STIKKORD/KEYWORDS:**

Grønnstruktur, kart, GIS, fjernmåling, vegetasjon, urban, areal planlegging

Green structure, maps, GIS, remote sensing, vegetation, urban, spatial planning

**FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:**

Fjernmåling, GIS

Remote sensing, GIS

**SAMMENDRAG/SUMMARY:**

Rapporten dokumenterer datagrunnlaget og metodikken bak NIBIOs nasjonale kartlegging av grønnstruktur i og rundt bebygde områder. Grønnstruktur er per nå dårlig dokumentert og ikke systematisk kartlagt i Norge. Informasjon om disse arealene er viktig for analyser knyttet til klimatilpasning, arealplanlegging og arealforvaltning. For en nasjonal kartlegging beskriver rapporten bruk av fjernmåling fra satellitt og fly for å detektere grønnstruktur samt inndeling av grønnstruktur i tre sjiktklasser. Nøyaktigheten av grønnstrukturkartet er dokumentert ved tre kommuner (Drammen, Ullensvang, Bodø). Grønnstrukturkartet har høy nytteverdi innenfor kommunal planlegging; noen eksempler presenteres. Rapporten anbefaler videreutvikling iht. til teknologiutvikling og kartografi.

**LAND/COUNTRY:**

Norge

**GODKJENT /APPROVED**

NAVN/NAME

**PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER**

Linda Aune-Lundberg

NAVN/NAME



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Forord

Denne rapporten ble skrevet som en del av prosjektet *Klima – nytt kunnskapsgrunnlag for planlegging og klimatilpassning*. Prosjektet inngår som et av flere framtidssatsinger (FS) som NIBIO finansierer gjennom grunnfinansieringen fra Forskningsrådet. Prosjektet tar opp problemstillingen om at kommuner og offentlige etater mangler kunnskapsgrunnlag for å vurdere og håndtere effekter av endret arealbruk, klimaendringer og klimagassutslipp. Med dette er prosjektet forankret i Kart- og statistikkdivisjonens strategi.

Rapporten beskriver et nytt nasjonalt grønnstrukturkart som er ment å være et grunnlagsdatasett for å støtte arealplanlegging, klimatilpassning og arbeidet med arealregnskap. Det presenteres datagrunnlaget og metodikk som ble brukt for å fremstille grønnstrukturkartet. I tillegg pekes det mot utviklingsmuligheter framover og hvordan datasettet kan tilgjengeligjøres for interesserte aktører.

NIBIO har i forbindelse med to oppdragsprosjekter med Drammen/Tønsberg og Oslo kommune i 2022 startet utvikling av nye klimakart. Med disse kart skulle kommunene få effektive verktøy som kan inngå i rullering av arealdelen i sine kommuneplaner. Tematisk informasjon om klimagasser, biomangfold, klimatilpassning og areloversikert krevde mer nøyaktig grunnlagsinformasjon om grønne verdier i bebygde områder. Derfor ble det utviklet kart over grønne strukturer i de tre kommunene.

Rapporten viser muligheten for å kartlegge grønnstruktur på nasjonalt nivå, og diskuterer videre utviklingspotensial.

Ås, 12.09.2023

Bjørn Borchsenius

# Innhold

1	Innledning.....	5
1.1	Hva er grønstruktur og hvorfor trengs det informasjon om det? .....	5
1.2	Grønnstrukturkartlegging fragmentert i Norge.....	6
2	Definisjoner og begreper .....	8
3	Datagrunnlag .....	9
3.1	Satellittdata fra Copernicus programmet.....	9
3.2	Offentlig kartdata .....	10
3.2.1	AR5-arealressursskart.....	10
3.2.2	SSB arealbruk .....	11
3.2.3	FKB-veg, FKB-Bygning, FKB-Vann .....	11
3.2.4	FKB-Naturinfo.....	12
3.2.5	Norge i Bilder .....	12
3.2.6	NDH-høydedata.....	13
4	Metode.....	14
4.1	Tilrettelegging av data .....	14
4.1.1	Kartleggingsområde .....	15
4.1.2	Rasterdata .....	15
4.1.3	Vektordata .....	17
4.2	Deteksjon og håndtering av skygge.....	17
4.3	Grønnstrukturklassifisering.....	19
4.3.1	Segmentering.....	20
4.3.2	Klassifisering av grønne og ikke grønne arealer .....	20
4.4	Inndeling av grønne arealer i vegetasjonssjikt .....	21
4.5	Framstilling av grønstrukturkartet .....	22
5	Resultat.....	23
5.1	Objektiv kvalitetskontroll .....	29
6	Diskusjon og usikkerheter.....	32
6.1	Radiometrisk kalibrering av VHR-data.....	33
7	Bruk og nytte .....	35
7.1	Plan- og byggesaksbehandling.....	35
7.2	Forskning og utredningsvirksomhet .....	36
7.3	Avledede temakart .....	36
8	Potensial og videreutvikling.....	37
8.1	Tilgjengeliggjøring.....	37
9	Litteraturreferanse .....	39
10	Vedlegg.....	41
10.1	Radiometrisk nivå på VHR-datasettene.....	41
10.1.1	WorldView.....	41
10.1.2	Pléiades .....	41

# 1 Innledning

## 1.1 Hva er grønnstruktur og hvorfor trengs det informasjon om det?

Kunnskap over grønnstruktur har blitt til en sentral faktor i kommunens arealplanarbeid. Det settes krav gjennom plan- og bygningsloven (2008) om å ta klimahensyn når det vurderes og vedtas arealplaner. Kommunene trenger dermed informasjon over grønne verdier for å løse pålagte oppgaver innen klimatilpasning, arealforvaltning eller miljøforvaltning. Grønnstruktur er definert som veven av store og små areal med vegetasjonen i og rundt bebygde områder (Store Norske Leksikon, 2020; DN håndbok nr. 6, 1994). Grønnstruktur omfatter f.eks. kantsoner, gressplener, buskrekker og tresatte områder. Grønnstruktur er dermed en overordnet struktur på samme måte som bebyggelse eller veinettet og bør dermed være tilgjengelig som grunninformasjon i det offentlige kartgrunnlaget i Norge. Per i dag har kommunene ikke tilgang til et enhetlig informasjonsgrunnlag om grønnstruktur, og kan dermed ikke oppfylle kravene som er satt i forhold til arealplanlegging og klimatilpasning.

Det offentlige kartgrunnlaget i Norge er bygget opp rundt Felles Kartdatabase (FKB). Veier, baner, bygninger og bygningsmessige anlegg er kartlagt med svært stor geometrisk og tematisk nøyaktighet for bruk i teknisk prosjektering og saksbehandling (målestokk 1:1000). FKBs arealressurskart, AR5, er i utgangspunktet tilpasset behov for arealplanlegging og saksbehandling innen jord- og skogbruk utenfor bebygde områder. Kartgrunnlaget er laget i mindre målestokker (1:5000) og skiller ikke ut vegetasjon fra infrastruktur i egne kartfigurer.

Felles kartdatabase mangler et kartlag som entydig skiller ut områder med vegetasjon innenfor bebygde områder med stor grad av tematisk og geometrisk nøyaktighet. Uten kart over jordsmonnet og vegetasjonen er det svært vanskelig å vurdere utslipp og opptak av klimagasser fra arealbruk og arealbruksendringer, samt tilsig og avrenning av overvann, herunder naturmangfold og friluftsliv innenfor bebygde områder.

Et eksempel fra Drammen kommune viser mangelen på informasjon i FKB-data. Figur 1 viser tilgjengelige FKB-data på nordsiden av Drammenselva (skjermdumpet i målestokk 1:5000). Ortofotoet i figur 2 viser stort omfang av grønne områder som ikke er dekket av dagens kartgrunnlag. Dette gjelder særlig hager mellom småhusbebyggelse og mindre grønne parkområder. Videre viser kartet et grøntområde i form av et idrettsanlegg nederst i høyre hjørne som har et dekke av kunstgress.



Figur 1: FKB-data over Åssiden i Drammen, 1:5000



Figur 2: Ortofoto med 2 cm oppløsning som viser mye grønn areal i det som er definert som bebyggelse i dagens kartgrunnlag.

NIBIO har vært utførende instans i flere oppdragsprosjekter fra kommuner (Drammen, Tønsberg og Oslo) der hovedmålet var å fremstille klimakart for å styrke kunnskapsgrunnlaget i forbindelse med rullering av kommuneplaner (Mathiesen et al. 2022a; Mathiesen et al. 2022b). Klimakartene var i denne sammenhengen tematiske kart over vegetasjonsutbredelsen, klimagassopptak eller

vannfordrøyning i tettstedene. Kartene ble laget basert på et standardisert grønnstrukturkart som inneholder informasjon over vegetasjonsutbredelsen og vegetasjonshøyden i byer og tettsteder.

I dialogen med kommunene gikk det tydelig frem at dagens datagrunnlag for grøntområder og vannveier i tettsteder og byer er både mangelfullt og dårlig standardisert og dokumentert. Eksempelvis mangler det kart over grønnstruktur som er tilstrekkelig oppdatert til å kunne avdekke endringer i vegetasjon langs vassdrag.

Det er etterspørsel etter et datagrunnlag som er mest mulig oppdatert. I tillegg til vegetasjonsutvikling er også klima i stadig forandring. Derfor trengs det et oppdatert kunnskapsgrunnlag som er standardisert, lett tilgjengelig og som treffer behovet. Teknologien og datagrunnlaget vi har i dag svarer til dels på dette behovet og kan aktivt tas i bruk for å lage et standardisert og oppdatert kart over grønnstruktur.

## 1.2 Grønnstrukturkartlegging fragmentert i Norge

Det er store mengder fjernmålingsdata tilgjengelig som gir informasjon over vegetasjonsutbredelsen i og utenfor tettstedene. Arealdekketklassifikasjon basert på fjernmålingsdata er ofte anvendt i områder utenfor byen, og det finnes eksempler av fjernmålingsbaserte karttjenester slik som skogressurskartet SR16 som brukes inn mot offentlig forvaltning. Grønnstrukturkartlegging i et tettsted er imidlertid mer krevende enn fjernmålingsbasert skogkartlegging utenfor byen. For det første kan grønne elementer i et tettsted være ganske små og detaljerte f.eks. trekker og buskrekker, og for det andre er vegetasjon i tettsteder under stort press, og endringer i form av nedbygging skjer hyppig. Bruk av satellittbilder med tilstrekkelig romlig oppløsning og en fast oppdateringssyklus er derfor en forutsetning for å lage og oppdatere kart over grønnstruktur.

Forskningslitteraturen omtaler bruk av hyperspektral data og punktskyer for kartlegging av grønnstruktur i byområder (Neyns & Canters 2022). Kuras et al. (2021) presenterer en omfattende oversikt over ulike metoder for kartlegging av grønnstruktur i tettsteder. Bruk av hyperspektrale bilder og laserpunktskyer fra flybilder har vært brukt til å produsere svært detaljerte kart over vegetasjon i tettsteder ved bruk av maskinlæring og modellering. Avhengigheten av tilgjengelige flybilder gjør det imidlertid vanskelig å skalere opp metodene med sikte på å produsere et landsdekkende og enhetlig kartgrunnlag over grønnstruktur. Grønnstrukturkart som er basert på flybilder vil foreløpig bare kunne brukes på lokalt og regionalt nivå.

Flere kommuner har allerede egne kart over grønnstruktur. Kartene er delvis basert på kompetanse innad i kommunene, delvis også utarbeidet på oppdrag av private konsultentselskaper. Ulempen med slike kart er mangelfull dokumentasjon og manglende oppdatering av kartene. Derfor er disse kartene bare brukt inn mot noen få forvaltningsoppgaver, og etter hvert har de mistet sin aktualitet og betydning for arealplanleggingen i kommunene.

Kart over vegetasjonsdekke for nye Stavanger kommune (Stange et al. 2019) er et slikt eksempel. Hovedmålet var å kartlegge grønnstruktur på detaljert nivå for bruk innen miljøforvaltning og arealplanlegging. Kartene var i stor grad basert på fjernmålingsdata fra blant annet Sentinel-1 og 2, i tillegg til ortofoto fra Norge i Bilder. Selv om det foreligger god dokumentasjon i dette tilfellet, er det generelt vanskelig for kommunene å gjenbruke slike engangskartlegginger. Det kan være flere årsaker til dette: f.eks. at tidligere prosjektmedarbeidere begynner i ny jobb, at den tekniske kompetansen ikke er tilstrekkelig nok å bruke avanserte modellbaserte kart, eller at det mangler kompetanse eller kapasitet for å oppdatere kartene.

Med utgangspunkt i disse erfaringene har NIBIO i 2022 videreført arbeidet med grønnstrukturkartene som ble etablert i oppdragsprosjektene for Drammen og Tønsberg. Målsetningen har vært å utvikle en metodikk for urban grønnstrukturkartlegging som tillater en oppskalering og operasjonalisering på nasjonalt nivå og med periodiske (f.eks. årlige) oppdateringer av kartene. Det ble lagt vekt på at kartene skulle være basert på fjernmålingsinformasjon som er tilgjengelig på nasjonalt nivå i tillegg til

å følge en fast oppdateringssyklus. Satellittbildene med høy geometrisk oppløsning (VHR, Very High Resolution) som ble tilgjengelige gjennom Copernicus samarbeidet høsten 2021, spilte en nøkkelrolle i dette arbeidet. Avklaringen med Norsk romsenter om bruksrettigheter av avleda kart var en viktig forutsetning for operasjonaliseringsarbeidet.

Den etterfølgende rapporten gir en detaljert gjennomgang av metodikken som ble brukt for å kartlegge grønnstruktur. Det gis en fullstendig forklaring over alle inngangsdata og modellene som ble utviklet. I tillegg presenteres verifikasjonsresultater og et kort overblikk over bruk og nytte av grønnstrukturkartet (GSK). Metodikken som presenteres i denne rapporten er operasjonalisert og oppskalert for nasjonal produksjon. En vellykket nasjonal testproduksjon ble gjennomført høsten 2022.

## 2 Definisjoner og begreper

ESA	<i>eng.</i> , European Space Agency
Copernicus	Europeisk jordoberservasjonsprogram som eies av EU og medlemslandene. Norge er gjennom EØS-avtalen part i dette programmet.
NDH	Nasjonal Detaljert Høydemodell
DTM	Digital Terreng Modell
DOM	Digital Overflate Modell
CHM	<i>eng.</i> , Canopy Height Modell, <i>no.</i> , en modell som beskriver objekthøyder på bakken f.eks. trær. Kalles også som kronehøydemodellen.
VHR	<i>eng.</i> , Very High Resolution, <i>no.</i> , satellittdata med romlig (geometrisk) oppløsning bedre enn 5 m.
CCM	<i>eng.</i> , Copernicus Contributing Missions
CLC	CORINE land cover med tilleggskomponenter for arealdekke og arealbruks overvåking på europeisk nivå.
FKB	Felles kartdatabase
DMK	Digitalt markslagskart
SSB	Statistisk sentralbyrå
WMS	<i>eng.</i> , Web Map Service
NDVI	<i>eng.</i> , Normalized Difference Vegetation Index
HSV	<i>eng.</i> , Hue Saturation Value; <i>no.</i> , kulør, metning, lysstyrke
RGB	<i>eng.</i> , Red green blue
GSK	Grønnstrukturkartet
QGIS	Quantum GIS er en fri applikasjon for GIS
GIS	Geografisk informasjonssystem: programvare som kan lese og analysere geografiske data i vektor- og rasterformat.
Hyperspektral	Relatert til fjernmåling beskrives dette, som en teknikk for å måle en stor andel av det elektromagnetiske spektrum: ofte presentert gjennom mange titalls spektrale bånd.
Punktsky	En stor mengde enkeltstående punkter med geografisk informasjon om hvor vaert punkt er plassert i romet. Utover det kan punktene ha annen type informasjon f.eks. spektral informasjon.
EMS	Elektromagnetisk spekter



## 3 Datagrunnlag

I dette kapittelet gis det en oversikt over fjernmålingsdata og offentlig kartdata som ble brukt i produksjonen av grønnstrukturkartet. Datasettene beskrives i egne underkapitler der hvert kapitell beskriver inngangsdataene mer detaljert. Det er også en beskrivelse av FKB-Naturinfo som er offentlig kartdata om grønne elementer i byområder, men som mangler heldekkende informasjon om grønnstruktur. FKB-Naturinfo er ikke brukt for å lage grønnstrukturkartet, men omtales her pga. den tematiske nærheten.

### 3.1 Satellittdata fra Copernicus programmet

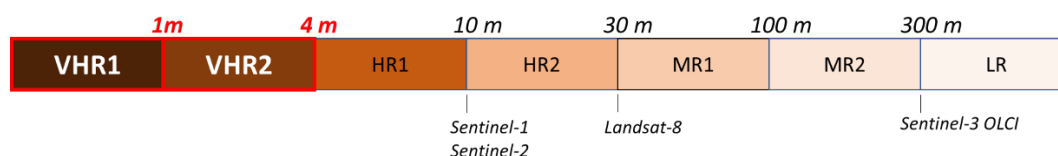
Grønnstrukturkartet er basert på nye satellittdata som er tilgjengelige gjennom det europeiske romsamarbeidet Copernicus. Programmet er kjent for å produsere egne satellittdata fra flåten med jordobservasjonssatellitter kalt Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, osv. Utover disse data kjøpes det inn satellittdata fra kommersielle aktører for å dekke et informasjonsbehov som ikke dekkes av Sentinel-satellitene (f.eks. på grunn av begrenset kartleggingsområde eller for lav romlig oppløsning). Copernicus Contributing Missions (CCM) er et eget program som står bak datainnkjøp av satellittdata med høy geometrisk oppløsning (VHR-data). Fra CCM har prosjektet benyttet satellittbilder med referanseår 2021.

VHR 2021 datasettet er et sammensatt datasett av satellittbilder fra ulike sensorer og satellitter. Datasettet er hovedsakelig fremstilt ved hjelp av europeiske satellitter som f.eks. Pléiades, SPOT og Vision-1 men andre satellitter - slik som WorldView og GeoEye – er også benyttet. At det brukes flere ulike satellittbilder inn mot et datasett skyldes kravet om å sammenstille et felles europeisk datasett med et homogent referanseår som i størst mulig grad skal være skyfritt.

Satellittbildene i VHR 2021 har en romlig oppløsning mellom 2 og 4 meter avhengig av satellitten. Den spektrale oppløsningen er redusert til et felles sett med fire bånd (fire «farger») som dekker det synlige og nærinfrarøde området av det elektromagnetiske spekteret: VHR-datasettet består dermed av fire bånd som dekker det blå, grønne, røde, og nærinfrarøde området.

Informasjonen i disse fire båndene er tilstrekkelig for å kartlegge vegetasjon på et overordnet nivå. Samspillet mellom fotosynteseaktivitet og klorofyllinnhold i vegetasjonen gjør at en stor andel av lyset absorberes av vegetasjonen. Energien fra det absorberte lyset driver fotosynteseaktiviteten: særlig det blå og røde lyset absorberes av plantenes klorofyll, mens det grønne lyset og nærinfrarødt lyset reflekteres fra bladverket. Med de fire kanalene til VHR-datasettet kan arealer med vegetasjon kartlegges.

Det finnes allerede et tilsvarende datasett fra referanseåret 2018 (VHR2018). Figur 3 viser nivåene av romlig oppløsning som inngår i Copernicus programmet.



Figur 3: Nivåer av romlig oppløsning som inngår i Copernicus programmet. Figur hentet fra ESA.

VHR-data brukes hovedsakelig av Copernicus programmet selv for å avlede kart og utføre analyser. Copernicus landovervåkings tjenester bruker bildene for å lage kart som for eksempel CLC eller High Resolution Layers (Aune-Lundberg & Strand, 2010; CLMS, <https://land.copernicus.eu/>, last accessed on 18 april 2023). Dette er pan-europeiske kart med informasjon om f.eks. arealdekke, vegetasjonsutbredelse eller nedbygging. Disse kartdata har spesielle krav til romlig oppløsning og forutsetter VHR-data slik som presentert i figur 1.

Satellittbilder som er brukt for å fremstille grønnstrukturkartet er hentet fra VHR-datasettet med referanseåret 2021 (VHR 2021 ). Norge er hovedsakelig dekket av åtte forskjellige satellitter som oppført i tabell 1. Den romlige oppløsningen varierer fra 2m til 4m mens ca. 70% av Norges landareal er dekket med satellittbilder som har 2m romlig oppløsning. I kartleggingsområdet til grønnstrukturkartet (urbane og bebygde områder) er hoveddelen dekket med 2m romlig oppløsning. Dette tillater en finmasket og detaljert kartlegging av grønne elementer og trær.

Satellittbildene har referanseår 2021. Dette vil si at størstepartene av satellittopptak har opptaksdato i de skyfrie månedene juni, juli og august. På grunn av skydekke eller annet atmosfærisk støy kan det forekomme at enkelte bilder er hentet fra andre årstider. Det kan for eksempel være bilder fra september eller april som viser vegetasjon i starten eller slutten av vekstsesong. Enkelte steder kan det også være satellittopptak fra året 2020 hvis det ikke var mulig å finne opptak med tilstrekkelig kvalitet fra 2021. Totalt er 11,5 % av bildene som er tilgjengelig for Norge fra opptaksåret 2020. Satellittbildene i VHR-datasettet overlapper i kantsonen mot hverandre.

Tabell 1: Oversikt over brukte satellitter deres romlig oppløsning og opptakstidsrom inn mot grønnstrukturkart.

Satellitt	Pléiades	WorldView	GeoEye	KOMP-SAT	Super-View-1	SPOT	Deimos	Vision-1
<b>Romlig oppløsning</b>	2m	2m	2m	2m	2m	4m	4m	4m
<b>Opptakstidsrom</b>	15.06.20	01.06.20	10.06.20	23.06.20	17.08.20	01.06.20	05.07.20	10.07.01
	28.09.21	17.09.21	13.09.21	17.09.21	28.08.21	15.09.21	06.08.21	10.07.21
<b>Andel i grønnstrukturkart</b>	46%	16%	5%	<0,1%	<0,2%	33%	<0,1%	<0,1%

## 3.2 Offentlig kartdata

### 3.2.1 AR5-arealressursskart

Arealressursskartet AR5 er et vektorkart som viser arealtilstand med fokus på produksjonsgrunnlag til skog- og jordbruk. Kartet har et homogent klassifikasjonsskjema for hele landet og forvaltes av NIBIO som fagansvarlig etat for kartgrunnlaget. AR5 inngår i Felles Kartdatabase (FKB) og eies av Geovekst-samarbeidet og gjennom dette samarbeidet holdes kartet oppdatert. Det kontinuerlige ajourholdet gjennomføres av kommunene som oppdaterer kartet når det skjer inngrep og endringer i produksjonsgrunnlaget til jordbruket. NIBIO står for det periodiske ajourholdet og oppdaterer kartet i forhold til endringer fra andre offentlige kartdata (Ahlstrøm et al. 2019).

AR5 er delt inn i 11 arealklasser: fulldyrka jord, overflatedyrkajord, innmarksbeite, åpen fastmark, myr, skog, vann, isbre, bebygd, samferdsel og ikke kartlagte områder. I tillegg til disse hovedklassene inneholder datasettet informasjon om grunnforhold, skogbonitet og treslag. Datasettet har en lang historikk og er avledet fra digitalt markslagskart (DMK), som på sin side var basert på Økonomisk kartverk.

Hovedfokus til AR5 ligger nå på produksjonsgrunnlaget til jordbruket. Vegetasjon og plantedekke i tettsteder og bebygde områder er ikke kartlagt i AR5. Figur 4 viser et eksempel hvor AR5 er sammenlignet med et aktuelt ortofoto. Bebygde arealer er sammenfattet i rosa farge som klasse bebygd. Slik generalisering vil treffe bra i næringsområder og industribebyggelse med en høy grad av nedbygging, men er mindre treffsikker i småhusbebyggelse og i mer åpne strøk innenfor byområder.

Klassen AR5-bebygd inngår i definisjonen til kartleggingsområde til grønnstrukturkartet. Det er både sammenhengende arealer i byområder som inkluderes i kartleggingsområdet, men også bebygd areal rundt gårdsbruk i mer rurale områder.

I prosjektet ble AR5 årsversjon fra 2021 benyttet. Årsversjoner lages av NIBIO hvert år.



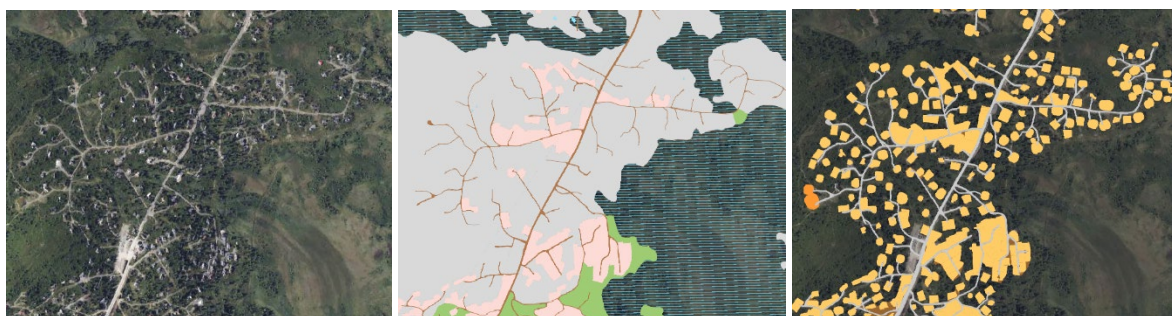
Figur 4: Arealressurskartet AR5 i målestokk 1:5000 i Drammen viser bebygd areal som store sammenhengende rosa flater. Informasjon om vegetasjonsverdien i disse områdene kommer ikke fram. Ortofoto til høyre viser at det er en høy andel av vegetasjon som ikke er kartlagt.

### 3.2.2 SSB arealbruk

SSB arealbruk er et nasjonalt datasett som gir informasjon over arealer i Norge og deres bruksformål. Datasettet fremstilles av Statistisk sentralbyrå (SSB). SSB arealbruk er sammensatt av nasjonale kartdata hentet inn fra ulike etater. Det er sammenstilt av de kvalitetsmessig beste tilgjengelige datasettene og oppdateres årlig for å ta inn endringer og utvikling i bebygd og opparbeidet areal. Dermed er SSB arealbruk egnet til å overvåke og følge med på arealutvikling over tid og kan brukes i planarbeid og analyser på både nasjonalt, regionalt og lokalt nivå (SSB produktark: arealbruk, 2018).

SSB arealbruk er delt inn i 13 hovedklasser slik som boligbebyggelse, fritidsbebyggelse og bebygd områder for landbruk og fiske. Kartet vil dermed inneholder mer areal klassifisert som bebyggelse enn det som registrert i AR5.

Til dette arbeidet er SSB arealbruk brukt for å definere kartleggingsområdet. Alle hovedklasser i datasettet, bortsett fra veiklassene, er brukt for å supplere informasjon som kommer fra AR5 bebygd klassen. Dermed kan f.eks. også hyttebebyggelse falle innenfor kartleggingsområde til grønnstrukturkartet (figur 5).



Figur 5: Et hyttefelt ved Sjusjøen i Ringsaker. AR5 kartet i midten viser areal stort sett som åpen fastmark. Til høyre viser SSB arealbruk fritidsbebyggelse rundt hyttetomter. Dermed kan arealet også kartlegges i grønnstrukturkartet.

### 3.2.3 FKB-veg, FKB-Bygning, FKB-Vann

Informasjon om veinettet, bygningsmassen og vannveien er hentet fra Felles kartdatabase FKB. I FKB ligger Norges mest nøyaktige og oppdaterte kartdata. Disse kan brukes, alene eller i kombinasjon, i geografiske analyser, planarbeid, prosjektering og forvaltning.

FKB-Veg inneholder informasjon om vei areal og avgrensninger inn mot annet areal. Datasettet er koblet tett sammen til den nasjonale veg databasen (NVDB) som forvaltes av Statens Vegvesen.

FKB-Bygning inneholder informasjon om bygninger, takoverbygg, bygningslinjer og tilhørende elementer til bygninger som f.eks. verandaer. Datasettet er knyttet til bygningsregisteret og matrikkelinformasjon.

FKB-Vann inneholder informasjon om vannveiene og innsjøer i tillegg til kystlinjene.

De nevnte FKB-datasettene er brukt til å definere areal der det ikke skal kartlegges grønnstruktur direkte. Høytliggende vegetasjon og trekroner som henger over veiareal og bygninger skal likevel bli detektert i grønnstrukturkartet.

### 3.2.4 FKB-Naturinfo

Grønne elementer som hekker og trær er dokumentert i FKB-Naturinfo, men større sammenhengende arealer som gressplen eller treklynger tas ikke inn i dette datasettet. Datasettet er ikke brukt i modellering her, men benyttes for subjektiv sammenligning med grønnstrukturkartet.

FKB-Naturinfo inneholder informasjon om enkeltstående objekter som beskriver naturen i bebygde områder. Klassene i FKB-Naturinfo er hekk, allè, enkeltstående trær og store steiner. Primærbruken er kartproduksjon i både stor og liten målestokk. Slike kart kan inngå i planarbeidet, prosjektering og forvaltning.

Datasettet er fremstilt gjennom fotogrammetrisk konstruksjon og ajourføres når dette blir bestilt i Geovekst kartleggingsprosjekter. Det vil si at FKB-Naturinfo er tilgjengelig og eventuelt ajourført der dette er bestilt. Med dette utgangspunktet er datasettet verken landsdekkene eller heldekkene, noe som resulterer i at det kun kan brukes på lokalt nivå der dataene er tilgjengelig. Nasjonale og regionale analyser med FKB-Naturinfo vil ikke være gjennomførbart. Dette er også hovedgrunnen at FKB-Naturinfo ikke inngår i produksjon av grønnstrukturkartet. Figur 6 viser et eksempel av FKB-Naturinfo.



Figur 6: Et eksempel av FKB-Naturinfo i et boligfelt i Oslo. Grønne linjer visualiserer kartlagte hekker som er tilgjengelig i datasettet.

### 3.2.5 Norge i Bilder

Omløpsfotograferingen står for produksjon av oppdaterte flybilder og ortofoto for hele landet. I et intervall på seks til syv år fotograferes alle områder på nytt. Disse bildene inngår blant annet i forvaltningsarbeidet til Kartverket, NIBIO og Statsforvalteren. Disse står også for grunnfinansiering av programmet.

Omløpsbildene distribueres gjennom tjenesten Norge i Bilder og er tilgjengelig gjennom en innsynsløsning, men også som WMS og WMTS tjenester. Ortofoto med en bakkeoppløsning på 25cm kan med hjelp av nevnte tjenester brukes inn mot GIS-verktøy til analyse og verifikasjon mot andre kart- og geografiske data. Både de mest oppdaterte (nyeste) ortofotoene og ortofoto fra tidligere prosjekter er tilgjengelige.

Omløpsbildene fra Norge i Bilder er sentrale i verifikasjonsarbeidet til grønnstrukturkartet. Det ferdige kartet blir systematisk sammenlignet med ortofoto som tidsmessig ligger nærmest mulig referanseåret 2021. I Drammen kommune blir grønnstrukturkartet sammenlignet med ortofoto fra opptaksåret 2021.

### 3.2.6 NDH-høydedata

Det nasjonale prosjektet Nasjonal detaljert høydemodell (NDH) står for Norges mest oppdaterte høydedata. Gjennom nøyaktige laserskanninger fra fly ble det målt overbakkehøyden til Norges landareal. Prosjektet ble startet i 2016 og ble avsluttet i 2022 og resulterte i 230.000 km<sup>2</sup> svært nøyaktige høydedata.

Gjennom høydedata.no er data tilgjengelig i flere ulike formater. Rådata punktskyer er tilgjengelig med en punktetthet mellom 2 og 5 punkt/m<sup>2</sup>. I tillegg er det tilgjengelig terrengmodeller (DTM) og overflatemodeller (DOM) i forskjellige romlige oppløsninger. De mest detaljerte modellene har en romlig oppløsning på 1 x 1 meter mens det også er tilgjengelig versjoner med interpolerte 10 x 10 og 50 x 50 meter. Datasettet er også tilgjengelig som WMS og WMTS tjenester. Høydedata kan brukes til alle slags romlige analyser der 3D-informasjon er nødvendig eller gir økt verdi til sluttproduktet. Eksempler kan være kartlegging av flomsone, detaljplanlegging av infrastruktur eller skogforvaltning.

Terrengmodellen og overflatemodellen inngår i produksjon av grønnstrukturkartet.

Høydeinformasjonen er nødvendig for å kunne skille mellom ulike vegetasjonshøyder. For å avlede vegetasjonshøyden må det genereres en kronehøydemodell (eng. CHM). Det betyr at terrengmodellen subtraheres fra overflatemodellen etter følgende formel:

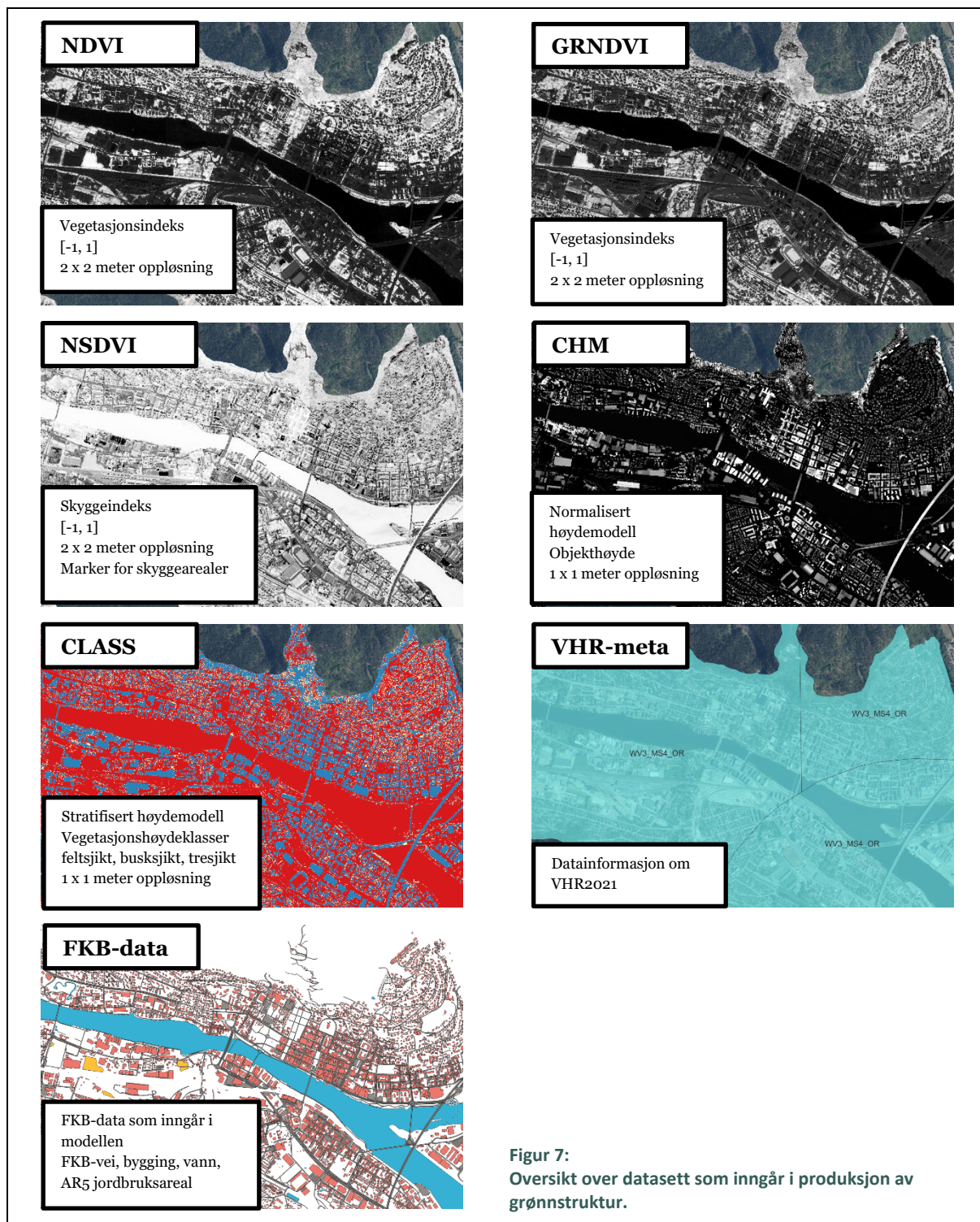
$$CHM = DOM - DTM$$

Resulterende normalisert overflatemodell inneholder informasjon over objekthøydene per piksel. Denne normaliserte overflatemodellen med en romlig oppløsning på 1 x 1 meter inngår i produksjon av grønnstrukturkartet.

## 4 Metode

### 4.1 Tilrettelegging av data

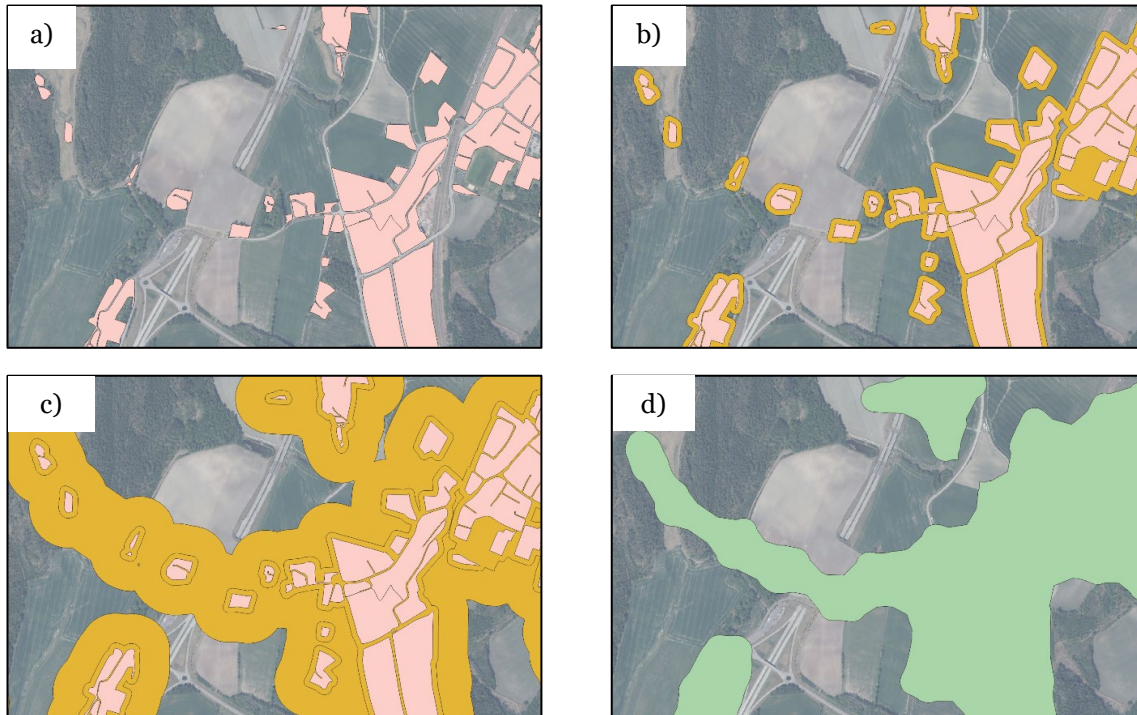
Grønnstrukturkartet fremstilles ved å prosessere en stor mengde geografiske data innenfor et definert kartleggingsområde i en kommune. Alle inngangsdatasett klippes til denne avgrensningen før prosessering. Fra Copernicus VHR-data beregnes det ulike fjernmålingsindekser for å klassifisere vegetasjonen og plantedekket. En oversikt over alle datasett som inngår i modellering viser figur 7.



Figur 7:  
Oversikt over datasett som inngår i produksjon av  
grønnstruktur.

### 4.1.1 Kartleggingsområde

All vegetasjon i bebygde områder i kommunene skal kartlegges. Kartleggingsområdet for grønnstrukturkartet er definert ved å kombinere informasjon fra AR5 og SSB-arealbruk. Arealklassen «bebygd» i AR5 og areal med grunnforhold «konstruert» inneholder ønsket kartlagt areal, men vil ikke inkludere arealer slik som hytteområder, parker eller åpne områder i tettsteder. SSB-arealbruk er derfor brukt for å generere en mer fullstendig avgrensning av areal som skal kartlegges. SSB-arealbruk utvider avgrensningen til AR5 med arealer som fritidsbebyggelse eller idretts- og sportsområder. Videre er det lagt vekt på å lage en mest mulig sammenhengende avgrensning uten for mye restareal og for mange enkeltstående små områder. Dette er særlig relevant i områder som ligger utenfor byene.

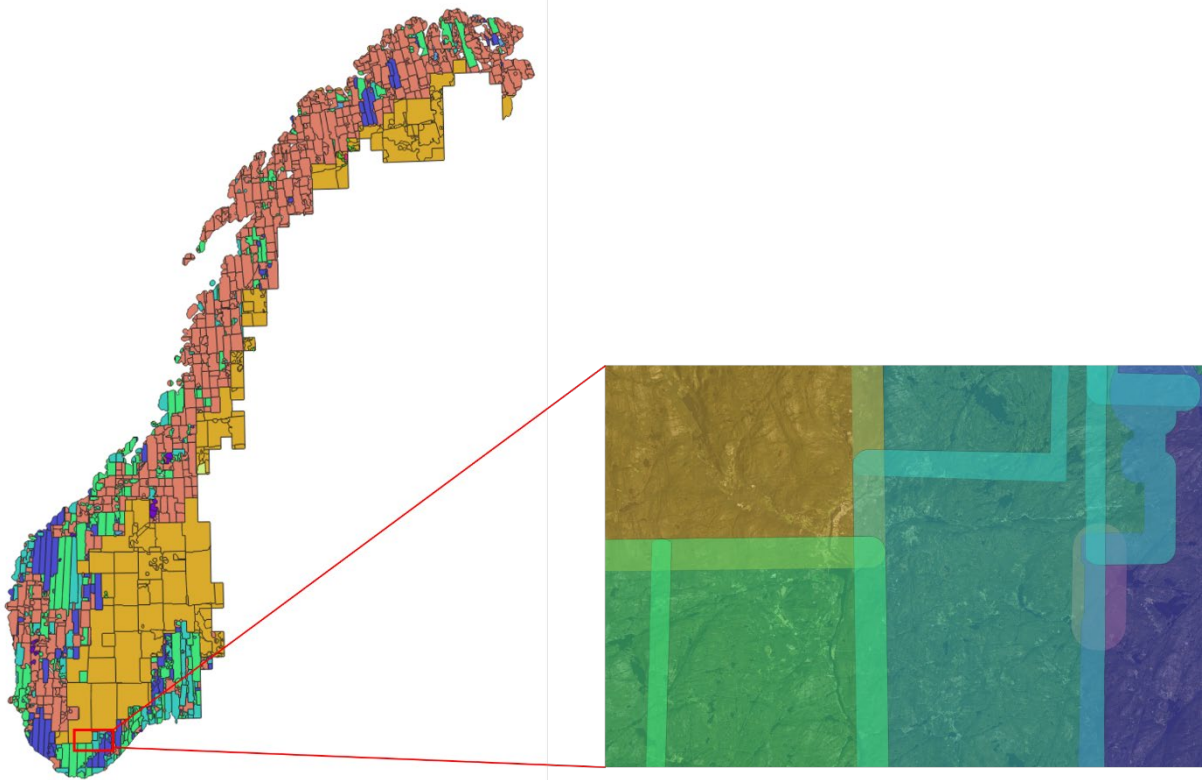


Figur 8: Eksempel av kartleggingsområde for grønnstrukturkart og produksjonsfølge. a) Viser utgangspunkt i form av AR5 bebygd areal i mer tettbebygde strøk og rurale områder. b) Gul areal viser buffring av AR5 bebygd med 20 meter for å fjerne gap og slå sammen nærliggende arealer. c) Gult areal blir videre buffret (110 meter) for å fjerne gap mellom enkeltstående gårder og mindre areal i landlige områder. d) Grønt areal viser det endelige kartleggingsområde etter at arealer blir buffret tilbake med -80 meter. Kartleggingsområdet blir på denne måten mer sammenhengende og er lettere å håndtere i videre prosessering.

Avgrensningen er utført ved å prosessere data i PostgreSQL databasen med PostGIS-ekstension. Utvalgt areal fra AR5 og SSB-arealbruk slås sammen i en felles tabell, og gjennom geometriske operasjoner genereres det en mer sammenhengende maske. Oppsummert blir mindre områder sammenslått gjennom naboskapet til større arealer. Minsteareal er satt til 10 dekar. Figur 8 viser trinn for trinn hvordan masken er bygget opp.

### 4.1.2 Rasterdata

Spektral informasjon er en forutsetning for å klassifisere vegetasjon basert på fjernmålingsdata. Copernicus VHR-data tilbyr med fire spektrale kanaler (R,G,B og NIR) nok informasjon for å bygge opp en modell som kan skille mellom grønne og ikke grønne arealer. Før VHR-data brukes inn mot en nasjonal modell må datasettet tilpasses i forhold til sensor og opptakstidsrom. VHR-2021 datasettet består av 1852 ulike opptak som samlet dekker 99% av Norges landareal (figur 9). Enkelte opptak overlapper i kantsonene som gjør det nødvendig å definere faste regler ved mosaikking til et heldekkende datasett.



Figur 9: Oversiktskart over alle tilgjengelige VHR 2021 satellittpopptak for Norge. Satellittpopptakene overlapper mot hverandre. Ulike farger visualiserer de forskjellige satellittene. Utsnittet til høyre viser overlappen for satellittpopptak fra samme sensor (lik farge) og forskjellige sensorer (ulike farger).

Produksjonsløypen som presenteres her er basert på et heldekkende datasett med et enhetlig koordinatsystem, homogen pikselstørrelse og uten overlapp mellom ulike satellittpopptak. Den radiometriske målenheten som ble brukt er digital numbers (DN). I kapittel 10.1 (vedlegg) er radiometriske målenheter til VHR-datasettet beskrevet. Det blir gjennomført en koordinattransformasjon fra opprinnelig EPSG: 3035 til EPSG: 25833 (UTM sone 33). Samtidig blir pikselstørrelsen definert til 2 x 2 meter. Det vil si at der det er 4 x 4 meter pikselstørrelse gjennomføres en resampling til 2 x 2 meter. Overlappen håndteres etter følgende to regler:

1. **Opptakstidspunkt:** Det sorteres først etter opptakstidspunkt innenfor like sensorer. Det er satt 15.07.2021 som referansedato. Det vil si at rekkefølgen til en stack av satellittpopptak sorteres relativt til denne datoen. F.eks. hvis det overlapper to satellittpopptak fra WorldView satellitten der et bilde er tatt opp 17.07.2021 og det andre bilde er tatt opp 23.08.2021 vil det bilde fra 17.07. overskrive informasjon i overlappssonen fra satellittpopptak tatt opp i august. På den måten fjernes det overlapp innenfor en type sensor. Referansedatoen er satt i forhold til vegetasjonsutvikling og andel av klorofyll i plantene som antas å være høyest i midten av juli.
2. **Satellitt/sensor:** Etter at overlapp basert på opptakstidspunkt er sortert og fjernet, vil det fortsatt være overlapp mot ulike sensorer når det settes sammen en heldekkende mosaikk. Denne overlappen fjernes basert på en fast definert rekkefølge som vist i tabell 2. Denne rekkefølgen er definert i henhold til romlig oppløsning og dekningsgrad av satellitten i VHR 2021 -datasettet. F.eks. hvis to satellittpopptak fra WorldView og SPOT overlapper, vil bilde fra WorldView overskrive informasjon i overlappssonen fra SPOT satellittpopptak.



Tabell 2: Prioriteringsrekkefølgen (1 størst prioritet og 9 lavest) av ulike sensorer i VHR 2021 for å håndtere overlappssonene.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
Pleiades	WorldView	GeoEye	KompSat	SuperView	SPOT	Deimos	TripleSat	Vision-1

Resultatet av denne sorteringen blir et sammenhengende VHR 2021 mosaikkdatasett uten overlapp. I tillegg til dette genereres det en metadatafil som inneholder informasjon på pikselnivå om anvendt sortering og satellittbildeopphav.

Med utgangspunkt i VHR 2021 mosaikkdatasett beregnes det flere indekser som inngår i modellen for å skille mellom vegetasjon og ikke vegetasjon. Først beregnes det to vegetasjonsindekser som ligger i intervallet [-1, 1]:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

$$\text{GRNDVI} = [\text{NIR} - (\text{G} + \text{R})] / [\text{NIR} + (\text{G} + \text{R})]$$

hvor NIR, R, og G er reflektans i hhv. det nærinfrarøde, røde og grønne båndet av spekteret. Reflektans er enkelt forklart forholdet mellom stråling fra sola (irradians) på et areal og reflektert stråling (radians) som forlater arealet. Reflektans er en dimensjonsløs størrelse med verdier i intervallet [0, 1].

NDVI er definert som et forhold mellom NIR og R. I den synlige delen av spekteret er det klorofyll i bladene som definerer vegetasjonens spektrale egenskaper: klorofyll absorberer blått og rødt lys og bruker energien i fotosyntesen; grønt lys blir absorbert i mindre grad og derfor ser plantene grønne ut. I den nærinfrarøde delen av spekteret blir lite av strålingen absorbert og reflektansen øker dermed sterkt i dette området: vegetasjon kan derfor detekteres basert på relativt høye NDVI-verdier. Arealer med jord, grus, og fjell (impediment) har ganske lik reflektans i det nærinfrarøde og røde båndet og får derfor lave positive NDVI-verdier nær null (Tucker et al. 1979). Vann kjennetegnes med negative NDVI-verdier da vann absorberer sterkt i det nærinfrarøde båndet og har følgelig høyest reflektans i det røde båndet.

NDVI bruker synlig lys, men legger vekt på på absorpsjonsegenskapen til vegetasjonen i det røde båndet og ignorerer dermed informasjonen i det grønne delen av det synlige spekteret. Wang et al. (2007) foreslo å teste ulike vegetasjonsindekser som beregnes basert på en større del av det naturlige lyset, og gjennom empirisk testing ble det konkludert med at den foreslåtte grønn-røde vegetasjonsindeksen (GRNDVI) kan brukes for å skille vegetasjon fra ikke vegetasjon.

Høydedata ble brukt for å modellere vegetasjonshøyden. Med utgangspunkt i DTM og DOM beregnet vi en kronehøydmodell (CHM) med en romlig oppløsning på 1 x 1 meter, og basert på denne CHMen stratifiseres pikslar til tre vegetasjonshøydeklasser: feltsjikt, busksjikt, tresjikt.

### 4.1.3 Vektordata

De mest detaljerte og oppdaterte kartdata ligger tilgjengelig som FKB-data. Herunder faller f.eks. FKB-Vann, FKB-Veg, FKB-Bygning og FKB-AR5. Disse FKB-lag inngår i produksjon av grønnstrukturkartet. Arealer som er dekket av vektordata blir ikke klassifisert på nytt. Fra AR5 tas bare jordbruksareal inn i prosessering (Fullldyrka jord og overflatedyrka jord). Vektordata blir klippet mot kartleggingsområde for videre prosessering.

## 4.2 Deteksjon og håndtering av skygge

Produksjonen av grønnstrukturkartet ble i stor grad bygget opp på den spektrale informasjonen fra VHR-satellittbildene. Bruk av optiske data kan ha ulempen at områder i billedata kan være påvirket av skygge f.eks. fra skyer, topografi, bygninger eller vegetasjon (skyskygge, terrengskygge,

objektskygge). De spektrale egenskapene i skyggepartier vil variere fra de arealene som ikke er påvirket. En klassifikasjonsmodell som er bygget opp på områdene som ikke er påvirket av skygge vil ikke fungere like bra på områder som er utsatt for skygge. Derfor ble det undersøkt om det er mulig å detektere områder med skygge, og lage en tilpasset modell som kan anvendes for skyggelagt areal.

Skyggedeteksjon og skyggehåndtering er et eget forskningsfelt innen bildeanalyse. Det finnes en rekke ulike tilnærminger som blir brukt i preprosesseringsfasen ved bruk av spektrale data. Detaljer for ulike teknikker kan f.eks. studeres i Shahtahmassebi et al. (2013). For å lage grønnstrukturkartet ble det testet ut en tilnærming som Ma et al. (2020) foreslår. Utgangspunktet til denne tilnærmingen er å overføre den opprinnelige RGB fargemodellen til satellittbildene til Hue-Saturation-Value (HSV) fargemodell. HSV-fargemodellen er mer egnet for å beskrive fargene på en naturlig måte i forhold til lysstyrke og glød. Fargen beskrives gjennom en kromatisk sirkel fra 0 grader til 360 grader. I tillegg beskrives lysstyrken og metningen i verdier fra 0 til 100. HSV-fargemodellen er derfor mer sensitivt til lysstyrke og metning, og kan dermed anvendes for å detektere skygge.

Ulike arealtyper reflekterer det naturlige lyset ulikt i forhold til fargemetningen og lysstyrke. Sammenlignet med vanlige arealtyper (vegetasjon eller infrastruktur) har skyggete arealer et lokalt maksimum i lysforholdet og et lokalt minimum i fargemetningen. Denne informasjonen brukes for å avlede en normalisert metnings og lysforholds indeks (NSVDI) med verdier fra -1 til 1. Indeksen ble testet ut for å detektere skygge, og er beregnet basert på nedstående formel:

$$NSVDI_{(i,j)} = \frac{\text{fargemetning } (S)_{(i,j)} - \text{lysstyrke } (V)_{(i,j)}}{\text{fargemetning } (S)_{(i,j)} + \text{lysstyrke } (V)_{(i,j)}}$$

Når et kart med en beregnet NSVDI-indeks sammenlignes med et RGB-satellittbilde eller et ortofoto blir det tydelig at indeksen kan brukes for å detektere områder som er skyggelagt. Figur 10 sammenligner ortofoto, VHR-satellittbilde og avledet NSVDI indeks. De lyseste arealene (positive verdier) indikerer skyggelagt areal. Denne sammenhengen kan brukes for å definere en positiv terskelverdi som kan brukes for å bestemme om en piksel er skyggelagt.



Figur 10: Eksempel fra Drammen som viser skyggelagt areal i et ortofoto og et VHR-satellittbilde. a) viser et ortofoto der vegetasjon og objekter på bakken kaster slagskygge mot nordvest. b) viser et VHR-satellittbilde med litt grovere romlig oppløsning. Allikevel blir slagskygge fra vegetasjon synlig på bakken. Ved sammenligning med ortofoto kastes slagskygge nå mot nord i bilde. c) viser den avledede NSVDI indeksen fra VHR-satellittbilde. De røde boksene markerer områdene der NSVDI-verdien er svært høy. Ved sammenligning med VHR-satellittbilde er de samme områdene skyggelagt. Sammenhengen kan brukes for å detektere skyggelagt areal.

Selv om et område i et satellittbilde er skyggelagt kan den spektrale informasjon fra disse områdene brukes i bildeanalyse. En tilpasset modell kan anvendes for å definere grønne arealer. For produksjon av grønnstrukturkartet ble det testet ut om NDVI indeksen med en tilpasset terskelverdi kan brukes for å klassifisere om skyggelagt areal er vegetasjonslagt. For produksjon av grønnstrukturkartet ble grønne arealer først klassifisert som beskrevet i 4.3.2. Deretter ble gjenstående areal uten vegetasjon

analysert for skygge. Skyggelagt areal ble så prosessert med en tilpasset NDVI indeks for å fange opp vegetasjon i skyggelagt arealer.

### 4.3 Grønnstrukturklassifisering

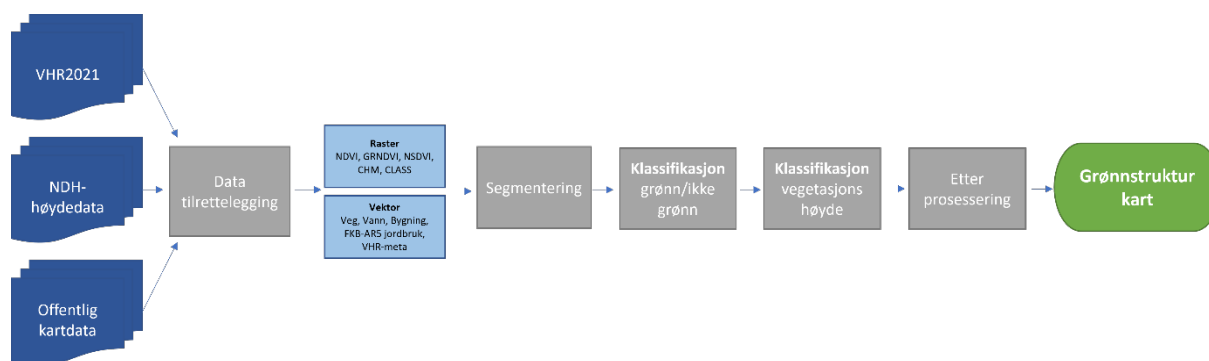
Kartlegging av grønnstruktur basert på satellittdata er i utgangspunktet en klassifisering av arealdekket. Basert på VHR 2021 satellittopptak skal det detekteres grønne arealer i urbane områder og tettsteder; de grønne arealene skal deretter deles inn i tre vegetasjonshøydeklasser eller vegetasjonssjikt. I urbane områder og tettbebygde strøk er det mange ulike arealdekketøyper som skaper utfordrende forhold for å anvende satellittdata.

Klassifikasjonsmetoder kan grovt sett deles inn i piksel- og objektbaserte metoder (Blaschke 2010). Den første metoden tar utgangspunkt i egenskapene til enkelt piksel og klassifiserer disse enkeltvis; i den andre metoden defineres først multi-piksel objekter i en segmenteringsprosess og objektene klassifiseres deretter basert på statistikk beregnet på objektnivå (Myint et al. 2011). Basert på erfaringer som NIBIO har bygget opp gjennom tidligere prosjekter (Debella-Gilo et al. 2020) har vi valgt en objektbasert metode for grønnstrukturkartet.

Metoden, også kjent som Object Based Image Analysis (OBIA), grupperer piksler til segmenter som skal korrespondere med arealfigurer på bakken. OBIA er derfor godt egnet i urbane områder med mange forskjellige arealtyper som har veldig lik romlig og spektral signatur: det finnes for eksempel nedbygd areal som asfalterte parkeringsplasser, grusveier eller oppkjørsler med belegningsstein med nesten samme spektrale egenskaper. På den andre siden finnes det ofte små objekter i et tettsted (f.eks. sandkasser, private veksthus eller redskap i hagene) som kan påvirke en klassifisering som er basert på enkelt piksel.

Det gir et positivt bidrag til en arealklassifisering å utføre OBIA på den spektrale objektinformasjonen i tillegg til å påføre informasjon om objekthøyden. For eksempel konkluderte Banzhaf et al. (2020) med at det er mulig å oppnå bedre klassifikasjonsresultater med OBIA når spektral informasjon brukes i kombinasjon med høydedata fra en avledet CHM.

Vi genererte først homogene objekter (arealfigurer) i en automatisk segmenteringsprosess; deretter fulgte en trinnvis klassifiseringen av objektene: i første trinn ble alle objekter klassifisert som enten grønt eller ikke grønt areal. Klassifiseringen ble utført med å anvende en terskelverdi (th) for GRNDVI og tilordne objekter med  $GRNDVI \geq th$  til klassen grønt areal og alle andre til klassen ikke grønt areal. Denne teknikken er en effektiv måte å anvende vegetasjonsindekser på for både klassifisering av arealdekket og deteksjon av endringer i arealdekket (Ghandi et al. 2015, Hashim et al. 2019). I trinn to av prosessen klassifiseres grønt areal i vertikale vegetasjonssjikt basert på inndelingen i vegetasjonsøkologi (Artsdatabanken 2017, UiO 2018), som bruker fire vertikale vegetasjonssjikt: tresjikt (høyde > 2 m), busksjikt (høyde 0,8 – 2 m), feltsjikt (høyde < 0,8 m), bunnsjikt (moser og lav). Inndelingen blir blant annet brukt i vegetasjonskartleggingen og i overvåkingen av jordbrukets kulturlandskap (Rekdal & Larsson 2005, Dramstad et al. 2003). I grønnstrukturkartet har vi valgt å dele vegetasjonen i tre sjikt: tresjikt (høyde > 3 m), busksjikt (høyde 1 – 3 m) og feltsjikt (høyde < 1 m). Vi brukte CHMen for å tilordne et grønt areal til ett av vegetasjonssjiktene. En oversikt over hele prosessen vises i Figur 11.



Figur 11: Oversikt over prosessene som er nødvendig for å lage grønnstrukturkartet.

### 4.3.1 Segmentering

For å definere objekter med homogene kartegenskaper har vi brukt programvaren eCognition™ (Trimble 2023) som tilbyr ulike segmenteringsalgoritmer for å gruppere piksler i objekter (segmenter). Vi brukte algoritmen Multiresolution Segmentation (MRS) (Trimble 2023), en iterativ algoritme som starter med å gruppere piksler i homogene objekter og stopper når et objekt har nådd definerte terskelverdier for to parametere som styrer prosessen: *skaleringsfaktor*, en parameter som styrer den tillate variansen beregnet for objektene basert på datasettene og *form*, objektene geometriske form (hvor glatt omkretsen og hvor kompakt arealet er). Det ble valgt følgende datasett for MRS (vektorer i parentes):

1. GRNDVI (20)
2. CLASS (10)
3. CHM (5)

Det betyr at segmentene blir laget med stor innflytelse av den spektrale egenskapen representert med GRNDVI; videre blir det brukt høydeinformasjon (CLASS og CHM) for å vektlegge informasjon om objekthøyde. I tillegg ble samtlige vektordata brukt i segmenteringsprosessen for å oppnå en avgrensning mot f.eks. bygninger eller veiareal som stemmer med offisielle kart. Skaleringsfaktoren i MRS ble bestemt empirisk, og ble satt relativt lav for å oppnå små og kompakte segmenter. Etter segmenteringen med MRS ble segmentene bearbeidet videre i eCognition gjennom en iterativ prosess med klassifikasjon, gruppering av like segmenter, og generalisering og fjerning av små segmenter. Figur 12 viser hvordan segmentene ser ut over et område i Drammen.



Figur 12: Et urbant område i Drammen som viser næringsbygg og småhusbebyggelse. De røde linjene avgrensner segmenter og er resultat av multi resolution segmentering i eCognition™. Et segment beskriver et objekt med homogene kartegenskaper. Målestokk 1:2500.

### 4.3.2 Klassifikasjon av grønne og ikke grønne arealer

Første trinn i klassifikasjonsprosessen var å skille mellom grønne og ikke grønne arealer. Dette ble løst ved å sette opp enkel klassifikasjonsmodell som tok utgangspunkt i vegetasjonsindeksene (GRNDVI og NDVI). Formålet var å finne terskelverdier for å skille objekter med og uten vegetasjon.

Vegetasjonsindekser, som er enhetsløse måltall, definerer vanligvis vegetasjon fra verdier som er større enn 0.1 til 0.2 (NASA, 2020). Imidlertid varierer denne terskelen avhengig av det multispektrale instrumentet i satellitten. Steven et al. (2003) forklarte dette med ulikheter i de spektrale båndene som brukes av ulike satellitter. I tillegg viste de til atmosfærisk støy og at tidsforskjelliger ved opptak kan føre til ulikheter. Alt dette kan resultere i at vegetasjonsindekser beregnet på data fra forskjellige satellitter kan avvike med noen få prosent (Steven et al. 2003). Dette betyr at terskelverdier for å beskrive vegetasjon vil variere ved bruk av data fra forskjellige satellitter. Fordi det ble brukt VHR 2021 satellittopptak sammensatt av opptak fra ni ulike satellitter var det nødvendig å definere ni terskelverdier.

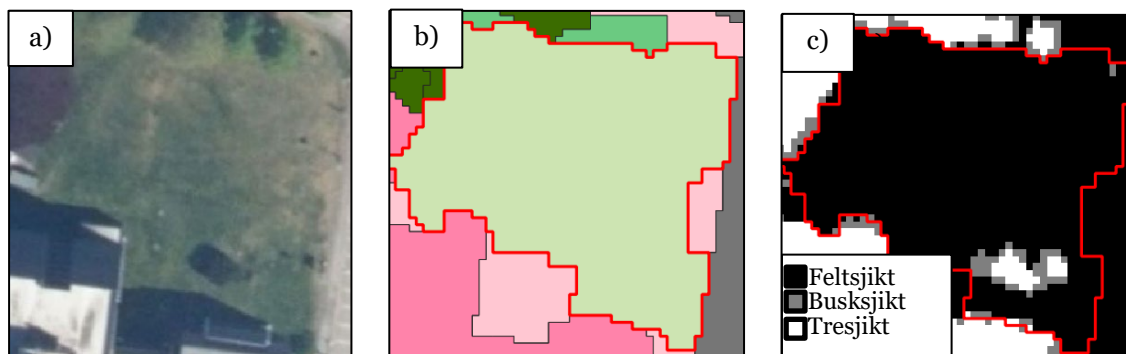
For å definere terskelverdier for VHR 2021 satellittdata ble det sammenlignet empirisk om en produsert vegetasjonsmaske samsvarer med det vi kunne tolke fra et ortofoto. Vi fant at GRNDVI har lavere terskelverdier enn NDVI for å skille vegetasjon/ikke vegetasjon, og basert på empirisk testing ble det definert ni ulike terskelverdier mellom -0,2 og 0,05. For eksempel ble det funnet ut at en GRNDVI-terskelverdi på -0,07 er best egnet for å avgrense vegetasjon når det brukes satellittopptak fra Pléiades satellitten. Vi valgte å bruke GRNDVI for å klassifisere objektene i grønne og ikke grønne arealer basert på en empirisk sammenligning av forskjellige klassifikasjonsresultater.

## 4.4 Inndeling av grønne arealer i vegetasjonssjikt

Etter at grønne arealer ble skilt fra grå arealer, ble grønne arealer delt i tre vegetasjonssjikt. Segmentene som ble klassifisert som grønne arealer ble analysert i en egen klassifikasjonsprosess som tok utgangspunkt i CHM-kartet. Hvert segment ble tilført høydeinformasjon på pikselnivå fra CHMen, og basert på denne høydeinformasjonen klassifisert etter de tre sjiktklassene med følgende definisjon:

- |              |   |
|--------------|---|
| 1. Feltsjikt | – Piksel < 1 meter høyde                    |
| 2. Busksjikt | – Piksel $\geq$ 1 meter og piksel < 3 meter |
| 3. Tresjikt  | – Piksel $\geq$ 3 meter                     |

For å bestemme hvilket sjikt et grønt segment skal tilordnes ble andelen av sjiktklassene regnet ut på pikselnivå. Den endelige sjiktdefinisjonen er basert på den største prosentuelle andelen av sjiktklassen innenfor et grønt segment (figur 13).



Figur 13: Eksempel av hvordan sjiktdefinisjon er implementert i grønnstrukturkartet. a) viser utsnitt av et plenareal med et tre i nedre del av arealet. b) viser tilsvarende grønnstrukturkart der arealet ble definert som feltsjikt. Plenarealet ble definert som et segment med homogene egenskaper. c) viser arealet med tilsvarende høydeinformasjon (rasterkart) klassifisert etter de tre sjiktklassene. Den største delen (95%) av dette arealet er definert som feltsjikt, og noen få piksler er definert som busksjikt (3%) og tresjikt (2%). Siden 95% av piksler er definert som feltsjikt ble hele segmentet klassifisert som feltsjikt.

## 4.5 Framstilling av grønnstrukturkartet

Når klassifikasjonsprosessen er avsluttet følger en rekke prosesser for å lage sluttproduktet. Segmenter med samme klassedefinisjon slås sammen for å lage et helhetlig kart. Videre analyseres segmentstørrelsen for å fjerne segmenter som er mindre enn 16 kvadratmeter. Areal som er klassifisert som tresjikt analyseres i forhold til FKB-data. Slik detekteres FKB-areal som kan være dekket av trekroner eller høyere vegetasjon. Med hjelp av disse prosessene berikes kartet med nyttige egenskaper som øker nytten av grønnstrukturkartet.

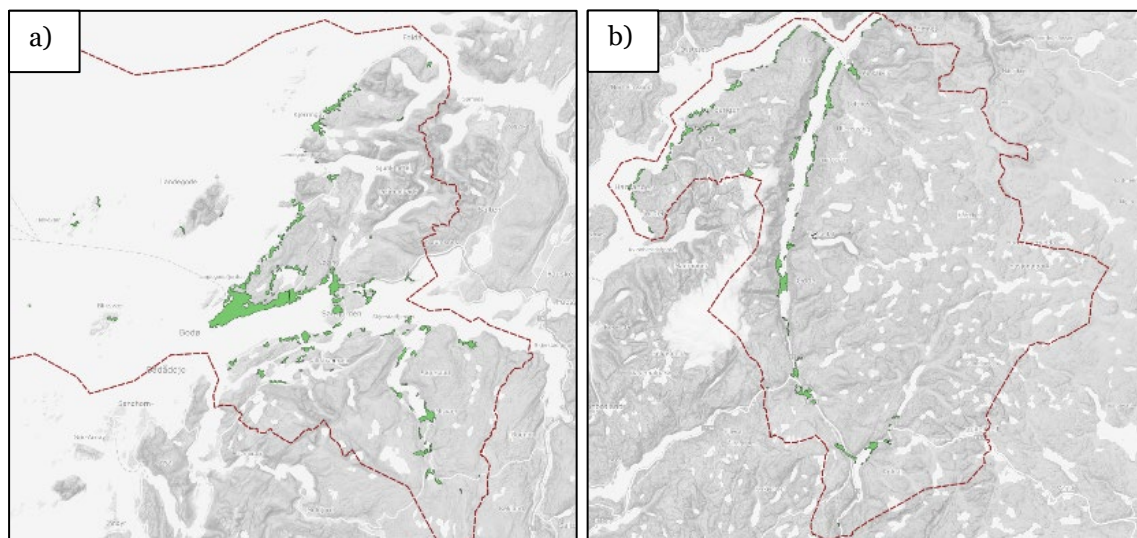
Grønnstrukturkartet er et heldekkende vektorkart som er sammensatt av homogene kartobjekter. Grønnstrukturkartet deler arealet inn i åtte klasser, beskrevet som arealtype (tabell 3). Areal med vegetasjon deles inn i feltsjikt, busksjikt og tresjikt etter vegetasjonshøyde. Arealtypen utnytta beskriver areal som er nedbygd i form av asfalt, grus, belegningsstein, eller naturlige areal med svaberg og fjell. FKB-vei, FKB-vann og FKB-bygg brukes til å angi arealtypen vei, vann og bygning. Areal klassifisert som jordbruksareal i FKB-AR5 får arealtypen jordbruksareal.

Tabell 3: Oversikt over tilgjengelige areal typer i grønnstrukturkartet med en kort beskrivelse.

Arealtype	Beskrivelse
Feltsjikt	Areal med vegetasjon der største parten av vegetasjon er under 1 meter.
Busksjikt	Areal med vegetasjon der største parten av vegetasjon er mellom 1 og 3 meter.
Tresjikt	Areal med vegetasjon der største parten av vegetasjon er over 3 meter.
Unytta	Areal som er nedbygd i form av asfalt, grus og belegningsstein. Kan også være naturlige arealer slik som fjell i dagen, svaberg uten preg av planter.
Vei	Areal som er klassifisert som veibane etter FKB-vei
Vann	Areal som er klassifisert som vann etter FKB-vann.
Bygning	Areal som er klassifisert som bygning etter FKB-bygg.
Jordbruksareal	Areal som er klassifisert som jordbruksareal etter FKB-AR5 arealtype 21 (fulldyrka jord), 22 (overflatedyrka jord).

## 5 Resultat

Det er gjennomført en nasjonal testproduksjon av grønnstrukturkartet. I etterfølgende kapittel skal resultatene utdypes ved to utvalgte kommuner i Norge. Ullensvang kommune i Vestland og Bodø kommune i Nordland ga et godt utgangspunkt for å se på geografiske forskjeller i testproduksjonen. Ullensvang er preget av en utfordrende topografi som gjør bruk av fjernmålingsteknikker mer krevende. Dype dalstrøk og høye fjellsider fører til slagskygge fra fjell og lavtliggende skyer. I tillegg er Ullensvang en kommune som er preget av landbruk og mer rurale områder. Bodø kommune karakteriseres derimot av et mer flat og åpent landskap og har et av Nordlands største urbane områder. Figur 14 viser kartlagt areal i begge kommuner.



**Figur 14:** Kartlagt areal i grønn farge i to testkommuner. Rød stiplet linje er kommunegrensen. a) viser kartlagt areal i Bodø kommune. b) viser kartlagt areal i Ullensvang kommune.

I Bodø kommune ble det kartlagt et areal på 67.412 dekar som tilsvarer ca. 5% av landarealet i Bodø kommune. Figur 12 viser tydelig at det er kartlagt både urbane områder på Bodø halvøya i tillegg til opparbeidet areal i mer rurale områder som ligger spredt utover kommunen. I Ullensvang kommune ble det kartlagt mindre areal i forhold til landarealet i kommunen. Kun 1,4% av landarealet ble kartlagt i Ullensvang kommune. Dette kan forklares med vesentlig mindre urbane områder enn det er på Bodø-halvøya. I begge kommunene er det kartlagt fritidsbebyggelse med f.eks. hytteområder.

Satellittbildene fra VHR 2021 datasettet ble strukturert og organisert for å skape et mest mulig homogent datasett. Overlapp mellom satellittbildene ble fjernet, men allikevel er satellittdatagrunnlaget preget av en heterogen sammensetning av satellittbilder fra ulike tidspunkter og sensorer. Tabell 4 og Tabell 5 presenterer en oversikt over brukte satellittbilder og tilhørende sensor og opptakstidspunkt.

I Bodø kommune er grønnstrukturkartet utelukkende basert på satellittdata fra Pléiades 1A eller 1B. Denne satellitten leverer satellittbilder med 2 meter romlig oppløsning som tillater en detaljert kartlegging av grønnstruktur. Hovedandelen (98%) av satellittbilder som inngikk i produksjon av grønnstrukturkartet er fra juli 2021. Dette er fordelaktig siden juli er midt i vekstsesongen og plantene er dermed lett synlig ved bruk av vegetasjonsindekser. Marginale arealer (2%) i Bodø kommune er kartlagt med satellittbilder fra opptaksåret 2020. For denne kartleggingen har det ingen stor betydning, men for mer heldekkende kartlegging må kvaliteten vurderes nøye.

Ullensvang kommune er ikke like homogent dekket med satellittdata fra VHR 2021 datasettet. Selv om alle brukte satellittbilder er fra opptaksåret 2021 ble det brukt flere ulike satellitter, i tillegg til at opptakstidsrommet strekker seg fra juli til august 2021. Halvparten av brukte satellittbilder (49%) er

fra juli og er hovedsakelig tatt opp med Pléiades 1B. De fleste andre satellittbildene (47%) som inngikk i produksjon, er fra august og kommer delvis fra WorldView satellitter eller fra Pléiades 1A. Selv om satellittbildene er fra ulike opptakstidspunkt, har hovedandelen (97%) av brukte satellittbilder en romlig oppløsning på 2 meter. Dermed ble det også mulig med detaljert kartlegging av grønnstruktur i Ullensvang kommune.

Tabell 4: Oversikt over brukte satellittbilder fra VHR 2021 datasettet i Bodø kommune. Det er angitt opptakstidspunkt og størrelsen på areal som ble kartlagt basert på satellittene. I tillegg er det oppgitt andelen av det totale kartlagte arealet.

Satellitt	Opptakstidspunkt	Areal i dekar	Andel av det totale arealet i %
Pléiades 1B	2020-06-18	41,35	0
Pléiades 1B	2020-09-03	1115,87	2
Pléiades 1B	2021-07-03	30288,72	45
Pléiades 1B	2021-07-14	3394,69	5
Pléiades 1A	2021-07-28	1391,50	2
Pléiades 1B	2021-07-29	31263,86	46

Tabell 5: Oversikt over brukte satellittbilder fra VHR 2021 datasettet i Ullensvang kommune. Det er angitt opptakstidspunkt og størrelsen på areal som ble kartlagt basert på satellittene. I tillegg er det oppgitt andelen av det totale kartlagte arealet.

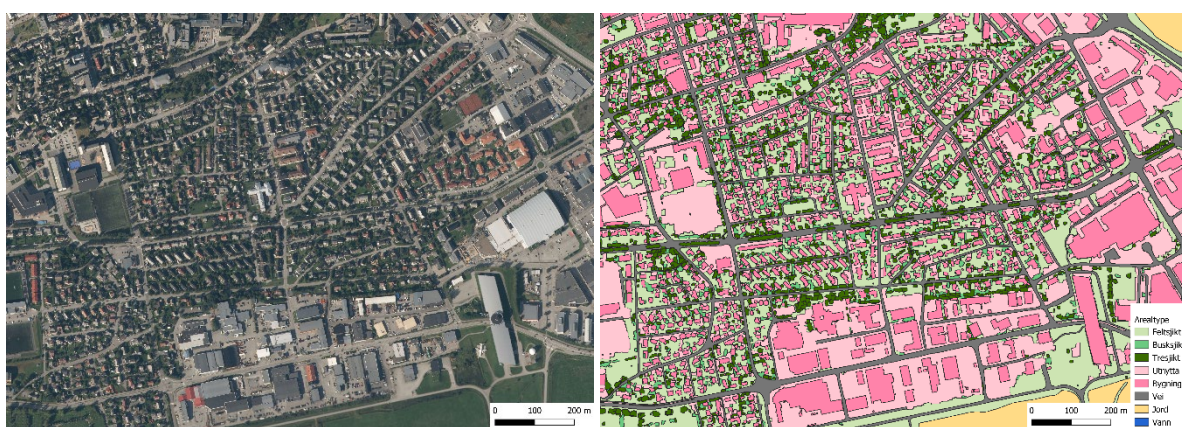
Satellitt	Opptakstidspunkt	Areal i dekar	Andel av det totale arealet i %
WorldView-3	2021-07-04	43,92	0
Pléiades 1B	2021-07-12	7976,38	19
Pléiades 1B	2021-07-15	87,72	0
Pléiades 1A	2021-07-16	264,52	1
Spot-7	2021-07-21	654,15	2
Pléiades 1B	2021-07-22	12610,01	30
GeoEye	2021-08-17	39,90	0
WorldView-1	2021-08-21	9674,68	23
Pléiades 1B	2021-08-22	82,05	0
Pléiades 1A	2021-08-23	4283,46	10
WorldView-3	2021-08-28	5733,55	14

Det ble produsert grønnstrukturkart for Bødo og Ullensvang kommune innenfor avgrensning som vist i Figur 14. Figurene 15 og 16 presenterer eksempler av grønnstrukturkartet i to utvalgte målestokker. Eksemplene skal demonstrere detaljeringsgraden og kan sammenlignes med et tilhørende ortofoto fra samme kartutsnitt. Detaljeringsgraden tillater bruk og analyse av kartene opp mot en målestokk på 1:2000 som vist i figur 15.





Figur 15: Kartutsnitt av grønstrukturkartet i Odda sentrum i Ullensvang kommune. Kartutsnitt har en målestokk på 1:2000. a) viser et ortofoto og b) viser tilsvarende grønstrukturkart med sine 8 klasser.



Figur 16: Kartutsnitt av grønstrukturkartet i Bodø sentrum på Bodø halvøya. Kartutsnitt har en målestokk på 1:5000. a) viser et ortofoto og b) viser tilsvarende grønstrukturkart med sine 8 klasser.

Kartene som ble produsert lager et virkelighetsnært bilde av ulike arealtyper, og formidler informasjon om grønt-andelen innenfor bebyggelsen. I begge eksemplene hadde et tilsvarende FKB-kart vist store områder innenfor bebyggelsen som «bebyggd» areal. Grønstrukturkartene for Bodø og Ullensvang kommune viser henholdsvis 63% og 57% nytt kartlagt grønt og utnyttet areal (tabell 6 og tabell 7). De resterende andeler tilordnes eksisterende FKB-data (vei eller bygg). Begge kommuner har betydelige grøntområder innenfor det kartlagte arealet. Flere detaljer om arealstørrelsen og andel av det totale kartlagte arealet presenterer også tabellene 6 og 7.

Grønstrukturkartet ble laget med en rekke beskrivende kartegenskaper som har opprinnelse i datagrunnlaget. Hvert kartobjekt (polygon) innehar dermed en entydig arealtype i tillegg til informasjon om både underliggende vegetasjonsindeks og høydemodellen. En av egenskapene (FKB) ble laget som tilleggsinformasjon gjennom en overlappingsanalyse mot eksisterende FKB-data for å identifisere bygninger, veiareal, vann og jordbruksareal som er dekket av vegetasjon. Grønstrukturkartet skal i den forbindelse bli definert som et arealtilstandskart som viser arealdekke istedenfor arealbruk. Det vil si at grønstrukturkartet ikke ble klippet mot FKB-data. Figur 17 viser et karteksempel av et område med både jordbruksareal og vann som er dekket av trekroner i grønstrukturkartet. Det er bare vegetasjon i tresjikt og busksjikt klassen som kan dekke over FKB-areal. Grønstrukturkartet tillater med denne informasjon å beregne det totale FKB-arealet som kan være dekt av vegetasjon innenfor det kartlagte arealet. Det er 361 dekar i Bodø kommune og 446,3 dekar i Ullensvang kommune som er dekt av høytliggende vegetasjon. Tabell 8 og 9 gir et mer detaljert bilde over hvilke FKB-arealer som er dekt av enten busk- eller tresjikt.

Tabell 6: Fordeling av kartlagt areal i Bodø kommune.

Arealtype	Areal i dekar	Andel av det totale arealet i %
Tresjikt	12 313,12	18
Busksjikt	3 559,01	5
Feltsjikt	20 533,56	30
Utnyttet	6 694,34	10
Bygning	3 805,94	6
Vei	3 476,20	5
Vann	2 965,46	5
Jordbruk	14 064,63	21
Kartlagt areal	67 412,27	100

Tabell 7: Fordeling av kartlagt areal i Ullensvang kommune.

Arealtype	Areal i dekar	Andel av det totale arealet i %
Tresjikt	8 029,48	19
Busksjikt	2 045,99	5
Feltsjikt	9 652,34	23
Utnyttet	4 240,25	10
Bygning	1 633,87	4
Vei	2 203,16	5
Vann	4 085,30	11
Jordbruk	9 492,24	23
Kartlagt areal	41 382,63	100



Figur 17: Et karteksempel som viser FKB-areal som er dekt av vegetasjon i grønnstrukturkartet (vist med røde markeringer). Karteksemplet har en målestokk på 1:1000.

I produksjon av grønnstrukturkartet ble det testet ut en enkel variant for skyggekorrigerings. Målet var å detektere slagskygge fra bygninger eller vegetasjon for å tilpasse klassifikasjonsmodellen og så klassifisere skyggelagt areal. Denne skyggekorraksjonen var imidlertid avhengig av sensortype fra VHR-datasettet. Derfor ble det bare korrigeret for skygge i de områdene som ble kartlagt med Pléiades 1A eller 1B. Følgelig ble det gjennomført en nesten fullstendig skyggekorraksjon for Bodø kommune og en delvis korreksjon i Ullensvang.

Figur 18 viser et VHR-satellittbilde fra Bodø kommune. Satellittbilde viser bebyggelse, trær og annet høyvegetasjon med små skyggearealer. Et avledet kart som viser skyggeindeksen presenterer områder med slagskygge som veldig lyst, noe som betyr at skyggeindeksen er særlig høy i disse områdene. Denne informasjonen ble så brukt for å tilpasse modellen. Det resulterende grønnstrukturkartet viser en tilsynelatende korrekt klassifikasjon av lav vegetasjon og gressplen bak trærne. Det ble ikke gjennomført en systematisk kontroll av skyggekorraksjonen men ved å sammenligne områder i Ullensvang kommune som ble kartlagt med andre satellittbilder enn Pléiades er det mulig å trekke en konklusjon om hvorvidt skyggekorraksjonen fungerte.

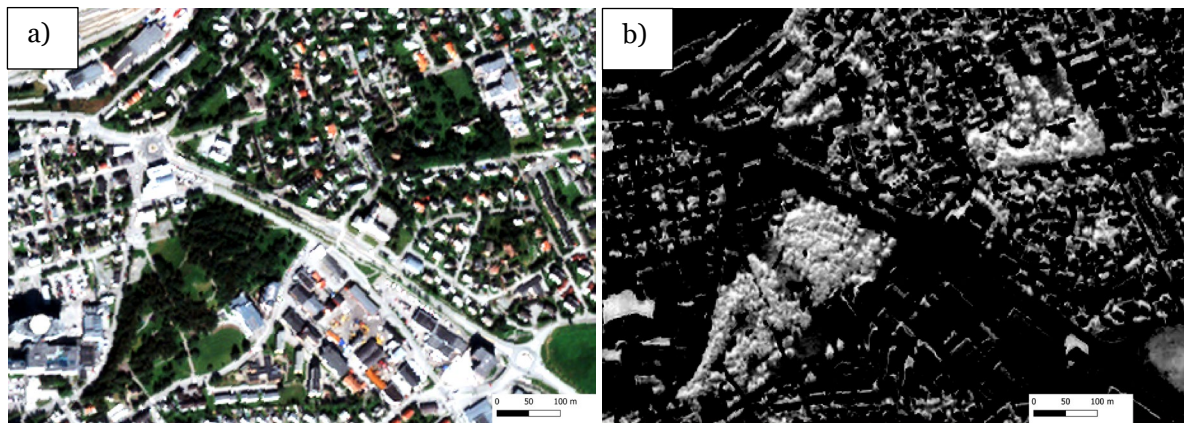
Tabell 8: FKB-areal som er dekt av vegetasjon i grønnstrukturkartet i Bodø kommune.

FKB-areal	Dekt av vegetasjon	Areal i dekar
Vei	Tresjikt	92,9
Vei	Busksjikt	7,6
Vann	Tresjikt	66,6
Vann	Busksjikt	1,0
Bygning	Tresjikt	0,3
Jordbruk	Tresjikt	192,3
Jordbruk	Busksjikt	0,3
<b>Totalt</b>		<b>361</b>

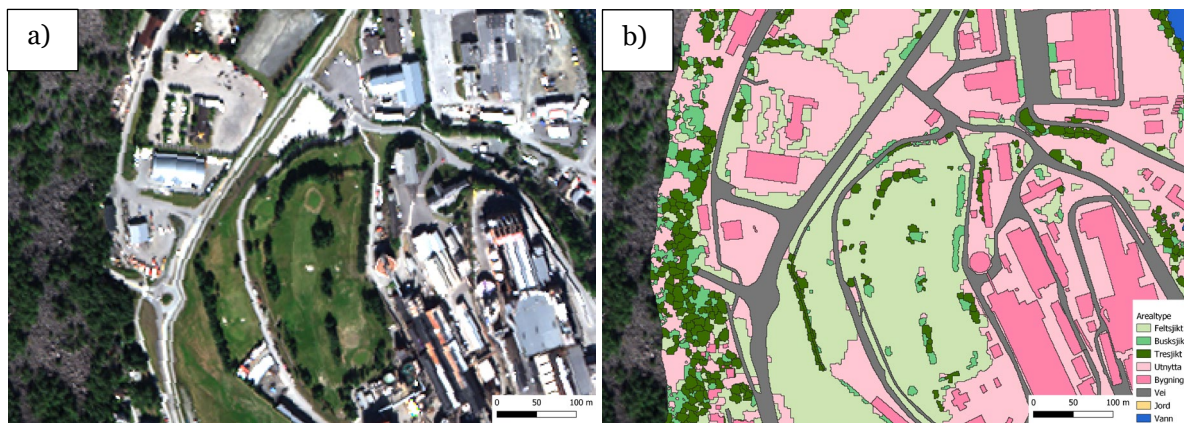
Tabell 9: FKB-areal som er dekt av vegetasjon i grønnstrukturkartet i Ullensvang kommune.

FKB-areal	Dekt av vegetasjon	Areal i dekar
Vei	Tresjikt	78,9
Vei	Busksjikt	10,4
Vann	Tresjikt	175,5
Vann	Busksjikt	3,2
Bygning	Tresjikt	0,8
Jordbruk	Tresjikt	174,7
Jordbruk	Busksjikt	2,8
<b>Totalt</b>		<b>446,3</b>

Figur 19 viser et kartutsnitt ved Odda i Ullensvang kommune der grønnstrukturkartet viser feilklassifiseringer i skyggelagt areal. Kartutsnittet ble produsert med utgangspunkt i et WorldView satellittbilde. For denne sensoren ble det ikke gjennomført skyggekorreksjon. Grønnstrukturkartet viser mangler og feil enkelte steder og spesielt bak enkelte trær og hus der det er skyggelagt areal. Disse arealene ble klassifisert som utnyttet areal siden modellen ikke var tilpasset og vegetasjonsindeksen var for lav for at arealene kunne klassifiseres som vegetasjon. Andre steder i Ullensvang kommune viser tilsvarende avvik og gir dermed en indikasjon om at skyggekorreksjon i Bodø kommune fungerte.



Figur 18: Et kartutsnitt fra Bodø kommune som gir en indikasjon om skyggekorreksjonen lyktes. a) viser et Pléiades satellittbilde med synlige skyggearealer bak trær og bygninger (røde bokser). b) viser tilsvarende kartutsnitt med avledet NSVDI skyggeindeks. De lyse arealene indikerer høye indeksverdier som betyr at sannsynligheten for skygge er stor. Denne informasjonen ble brukt for å tilpasse modellen til grønnstrukturkart. c) viser grønnstrukturkartet med riktig klassifisering av plenareal bak trær og hus.



Figur 19: Det ble ikke gjennomført skyggekorreksjon i Ullensvang kommune der det ble brukt WorldView satellittbilder. a) viser et WorldView satellittbilde med skyggelagt areal bak trær og bygninger (røde bokser). b) viser tilsvarende grønnstrukturkart der skyggelagt areal ble feilklassifisert som utnyttet areal.

## 5.1 Objektiv kvalitetskontroll

Tettstedene Drammen, Ullensvang og Bodø ble brukt som testområder i en kvalitetskontroll av grønnstrukturkartet. Tettstedene er fra ulike landsdeler og representerer derfor ulike utfordringer mht. geografi, vegetasjon, og terreng.

Kartet ble analysert basert på to ulike statistikker:

1. Nøyaktighet av klassifikasjonen i grønne og grå arealer, dvs. arealer med vegetasjon og arealer uten vegetasjon. Eksempler på grå arealer er områder dekt med bygninger, veier, og annen infrastruktur.
2. Nøyaktighet i avgrensingen av de grønne arealene i felt-, busk-, og tresjikt. Vi har brukt ternære diagrammer for å bedømme kvaliteten på arealfigurene.

For å beregne nøyaktigheten av klassifikasjonen i grønne og grå arealer la vi ut 400 tilfeldig plasserte punkter i hvert testområde (Figur 20). Vi stratifiserte utvalget slik at det ble lagt ut 200 i hver av klassene. I kontrollen brukte vi et ortofoto med opptaksår så nær i tid som mulig med opptaksåret for satellittbildene som ble brukt for å klassifisere arealene. Satellittdatasettet for hele Norge er fra perioden 2020-06-01 til 2021-09-28, med 564 fra 2020 og 1288 fra 2021. Vi brukte følgende ortofoto i kontrollen:

Tabell 6: Oversikt over brukte ortofoto og VHR bilder i kvalitetskontrollen.

Testområde	Ortofoto (år)	VHR (år)
Drammen	2021	2021
Ullensvang	2019	2021
Bodø	2019	2021

Vi brukte programtillegget Navtable i QGIS for å hoppe fra punkt til punkt og zoome inn på et utsnitt i målestokk 1:500 sentrert rundt et punkt. En visuell tolking ble gjort for å bedømme om et punkt falt på et grønt eller grått areal. Statistikken er presentert i Tabell 10. F1 statistikken kombinerer presisjon (brukers nøyaktighet) og recall (produsentens nøyaktighet) i én verdi, som er mellom 0 (klassifikasjon uten sammenheng med virkeligheten) og 1 (perfekt klassifikasjon).

$$F1 = 2 * (\text{presisjon} * \text{recall}) / (\text{presisjon} + \text{recall})$$

F1 for grå arealer er kun 0,68 for Ullensvang, mens den er 0,85 og 0,89 for Bodø og Drammen. Det er særlig den lave verdien for recall for grå arealer som trekker ned statistikken for Ullensvang. Av de 200 punktene som i kartet er grå arealer viste kontrollen at 70 skulle vært tilordnet grønne arealer. En sjekk av satellittdatasettet brukt i klassifikasjonen viste at det fins store områder dekket med terrengskygge i bildet: dvs. arealer med kun diffus innstråling (Figur 21). For alle tre tettstedene er presisjonen for klassen Grønn ca. 90 %; dvs. når kartet viser denne klassen er det korrekt i 90 % av tilfellene. For klassen Grå er det derimot mer variasjon i resultatet for presisjon: Drammen og Bodø har hhv. 85 % og 81 %, mens Ullensvang har så lavt som 56 %.

Vegetasjonsindeksen GRNDVI (se formel på s. 17) ble brukt for å skille grå og grønne arealer. Klassifikasjonen ble basert på en empirisk bestemt terskelverdi for hver satellittsensor. For vegetasjon har indeksen en høy verdi fordi vegetasjon reflekterer mye i det nærinfrarøde båndet og svært lite i det røde. Men satellittbildene har ikke blitt korrigert for effekten av skygge og terskelverdiene som ble definert for områder med direkte solstråling kan ikke brukes. Vi brukte derfor indeksen NSDVI for å detektere skyggelagte piksler og definerte egne terskelverdier for disse områdene. For Ullensvang har ikke denne metoden klart å tilpasse terskelverdien i tilstrekkelig grad slik at grønne arealer i dyp terrengskygge har blitt klassifisert som grå arealer.

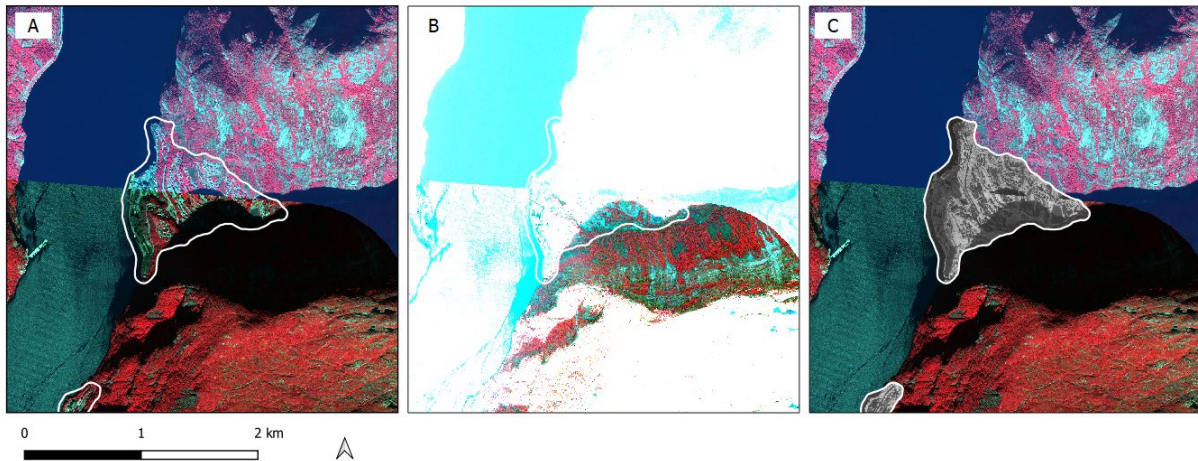


Figur 20. Testområdet Drammen (komid 3005) med 400 tilfeldige punkter vist som røde prikker.

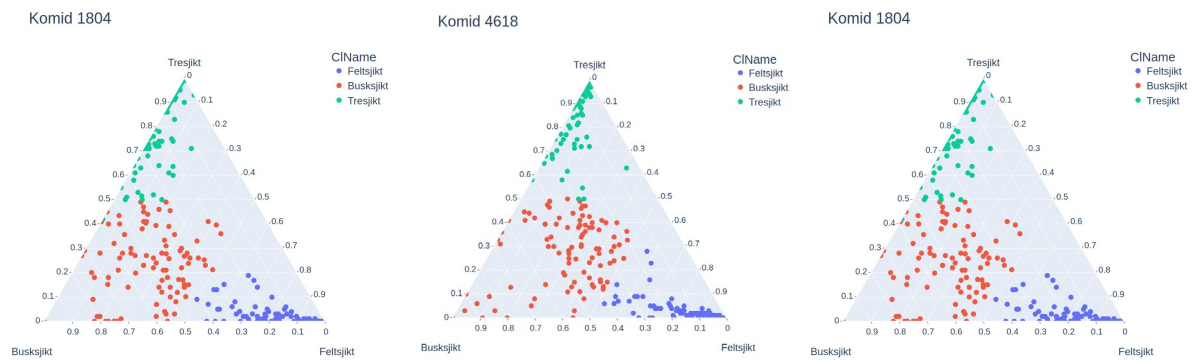
Tabell 7. Nøyaktighet i inndelingen av arealer i klassene vegetasjon (grønn) og ikke vegetasjon (grå).

Testområde	Klasse	Presisjon	Recall	f1 score	Support
Drammen	Grønn	0,93	0,86	0,89	216
	Grå	0,85	0,92	0,89	184
Ullensvang	Grønn	0,91	0,67	0,77	270
	Grå	0,56	0,86	0,68	130
Bodø	Grønn	0,89	0,83	0,86	215
	Grå	0,81	0,88	0,85	185

Generering av arealfigurer ble basert på en automatisk segmentering der NDH-høydedata ble brukt for å gruppere piksler i segmenter (arealfigurer). Målet var å skille arealer dominert av ulike vegetasjonssjikt fra hverandre: dvs. arealer dominert av trær, busker og gress. De fleste grønne arealer har en viss grad av blanding av de tre sjiktene. Målet var å danne så homogene arealfigurer som mulig samtidig som et visst minsteareal skulle oppnås. Som et praktisk mål på arealfigurnes kvalitet valgte vi å bruke forekomsten av de tre sjiktene i hver figur. Hver figur består av et stort antall piksler med en verdi for vegetasjonshøyden (CHM-datasettet) og det var derfor enkelt å produsere plott som viser fordelingen. Vi valgte å framstille dette i et ternært diagram som er ideelt for å vise forholdet mellom tre variabler (Figur 22). Av figuren ser vi at segmenter i klassen busksjikt er mest heterogen med mye innslag av vegetasjon fra de to andre sjiktene. Dette var som forventet da busksjiktet ofte består av lineære elementer som buskrekker langs eiendomsgrenser og mindre arealer med pryddplanter i hager med dominerende innslag av gressplener. Arealfigurer i klassene Treskjikt og Feltsjikt derimot ser ut til å være relativt homogene med lite innslag av andre vegetasjonssjikt. En viss blanding av skjikt i en arealfigur er uungåelig.



Figur 21. Et område i Ullensvang med stor terrengskygge. A) bildet strukket tilpasset områdene utenfor terrengskyggen; B) bildet strukket tilpasser området i terrengskyggen; C) vegetasjonsindeksen GRNDVI vist i gråtoner; vi ser at indeksen er betydelig lavere i skyggepartiene. Bildet er en mosaikk av to opptak fra hhv. 2021-08-21 og 2021-08-28.



Figur 22. Ternære diagrammer for kommunene Drammen (komid 3005), Ullensvang (komid 4618), og Bodø (komid 1804). Plott i midten av trekanten indikerer at figurene har betydelig innslag av flere vegetasjonssjikt. Arealfigurer klassifisert som busksjikt er minst homogen og inneholder også i stor grad trær og busker.

## 6 Diskusjon og usikkerheter

Grønnstrukturkartet er laget basert på fjernmålingsdata som er modellert for å generere ny informasjon for større sammenhengende arealer. Bruk av både fly- og satellittbåren fjernmåling kan medføre avvik og støy siden begge alternativer tar opp informasjon med en stor måledistanse. Atmosfærisk støy, lysforholdene og skydekke kan ha innflytelse på nøyaktigheten til avledete kart. Utover det påvirker segmenteringsalgoritmer og valgt klassifikasjonsmodeller det endelige kartresultatet. Derfor har grønnstrukturkartet noen usikkerheter og avvik som er påpekt gjennom kvalitetskontrollen i kapittel 5.1.

Det ble undersøkt om grønnstrukturkartet kan lages uten skyggeeffekter. Allikevel viser kartet områder der det er feilklassifisert areal bak enkelte objekter. Dette kan tilbakeføres til skyggeeffekter. Grunnen til det er at skyggeeffekter skaper en diffus innstråling av sollyset; og denne effekten kan opptre mange steder. Skyggene kan være terrengskygge, skyskygge eller objektskygge. Sistnevnte kan opptre hyppig; særlig i urbane områder med høye bygninger, broer eller høy vegetasjon. Det ble prøvd å detektere skygge, for å deretter tilpasse klassifikasjonsmodellen. Dette ble bare gjennomført for Pléiades satellitten mens de områdene som var dekt av andre satellittdata ikke ble forbedret med denne teknikken. En korreksjon av skyggelagt areal ved alle ulike satellittsensorer bør derfor undersøkes.

Skyggedeteksjon og korreksjon kan betraktes som et eget forskningsfelt der det er testet på mange ulike tilnærminger for å håndtere problemet. Selv om enkelte skyggeeffekter kan korrigeres med hjelp av tilpassninger i modellen, vil et avledet kart alltid påvise usikkerheter i disse områdene. Dette gjelder særlig i de skyggelagte områdene der den diffuse innstrålingen er på et minimum. Dette kan for eksempel være bak høydedrag i terrenget eller bak enkelte bygninger. Derfor bør det være en målsetning å forsøke å detektere skyggelagt areal, og deretter dele inn om et areal kan korrigeres eller ikke. Alternativt holder det kanskje å detektere skygge for å deretter klassifisere slike arealer som henholdsvis skygge eller ikke kartlagt areal. Det kan også være aktuelt å legge inn informasjon om skygge som tillegginformasjon i grønnstrukturkartet.

Usikkerheten i grønnstrukturkartet er også påvirket av valgte segmenteringsalgoritmer. Den objektbaserte tilnærmingen som ble valgt for å lage grønnstrukturkartet har ulempen at pikselbasert informasjon blir forenklet. Denne forenklingen skjer stedvis ukontrollert som øker faren for at kartet ikke gjengir informasjon som er tilgjengelig på pikselnivå. For eksempel kan et tre forenkles til et areal som er klassifisert som feltsjikt når det står på midt på et plenareal uten andre trær. Dette er uheldig siden verdifull informasjon går tapt, og ikke gjengis i kartet. Grønnstrukturkartet bør lages med så lite forenkling av informasjon som mulig slik at sluttbrukeren av kartet står fritt om kartet skal generaliseres til større kartobjekter.

Det ble også tydelig at valgt sjiktinndeling kan skape usikkerheter. Busksjikt fremstår som en slags blandingsklasse med informasjon som både kan tilordnes feltsjikt eller tresjikt. Dette er relatert til segmenteringen som forenkler kartinformasjonen men også hvordan sjiktinndelingen er definert. Sjiktinndelingen ble valgt mht. sjiktdefinisjonen i vegetasjonsøkologi. Definisjonen av sjiktgrensene varierer. Sjiktgrensene er definert ved ulike terskler. Grønnstrukturkartet definerer busksjikt med vegetasjonshøyder mellom 1 og 3 meter. Dette kan være uheldig siden vegetasjon under 1 meter tilordnes feltsjikt. Det finnes mye lavtliggende vegetasjon som kan være opp til 1 meter men som ikke er feltsjikt eller gressplen. Særlig buskvekster og stauder kan nå opp denne terskelen. Derfor er det hensiktsmessig å justere grensen mellom feltsjikt og busksjikt slik at skillen mellom de to klassene blir mer tydelig.



## 6.1 Radiometrisk kalibrering av VHR-data

Optiske satellittdata leveres som rasterdatasett der hvert rasterelement (piksel) har en verdi for hver kanal i datasettet:

$$p = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix},$$

der  $p$  er en vektor som representerer en piksel og  $b_k$  er verdien i bånd  $k$ .  $b_k$  er en heltallsverdi med verdier i intervallet  $[0, 2^Q - 1]$  der  $Q$  er kvantifiseringsnivået.  $Q$  er som regel 8 eller 16, og i VHR-datasettet er det 16, slik at datasettet har verdier mellom  $[0, 65535]$ .

En kanal representerer et spektralt bånd i det elektromagnetiske spekteret (EMS). I VHR-datasettet vi har fått fra ESA har alle datasettene fire kanaler som representerer båndene i den blå, grønne, røde, og nærinfrarøde delen av EMS.

For å kunne bruke datasettene i avanserte analyser må vi vite hvilken fysisk størrelse pikselverdiene representerer.  $b_k$  er et måltall og sier alene ikke noe om den fysiske størrelsen den representerer. Det oppgis som regel i et metadatasett. Når vi kjenner hvilken enhet eller dimensjon måltallet referer til, så kjenner vi størrelsen. Dette kan sammenlignes med at vi har oppgitt at lengden er 100 og trenger å vite om tallet referer til centimeter eller tommer.

Satellittdata leveres typisk med én av fire ulike grader av radiometrisk kalibrering:

1. Digital Number (DN) – data har kun fått en relativ kalibrering for å utligne forskjeller mellom detektorelementer for å unngå striper og andre artifakter i datasettet som skyldes mangler og feil i detektorene (CCD). DN har ikke blitt absolutt korrigert for andre effekter i sensorsystemet.
2. TOA  $L_{pb}$  – TOA (*eng.* Top of Atmosphere) radians for en piksel i bånd  $b$ . Data har blitt kalibrert til radians ved satellitten. Da sensorsystemet er konstruert slik at forholdet mellom radians og DN er lineær, så kan  $L_{pb}$  beregnes med en enkel ligning:  $L_{pb} = K_b L_{pb} + a_b$ .  $K_b$  og  $a_b$  er konstanter som oppgis som metadata av leverandøren. Dataene blir skalert med en konstant slik at de kan lagres som heltall; en faktor  $10^4$  brukes ofte.
3. TOA  $\rho_{pb}$  – TOA reflektans for en piksel i bånd  $b$ . TOA radians har blitt konvert til TOA reflektans med en enkel formel der solas gjennomsnittlige exo-atmosfæriske irradians  $E_b$ , avstand mellom jorda og sola  $d$  (i astronomisk enhet), og solas zenitvinkel  $\theta$  inngår.  $E_b$ ,  $d$ , og  $\theta$  er konstanter som oppgis som metadata av leverandøren. Dataene blir skalert med en konstant slik at de kan lagres som heltall; en faktor  $10^4$  brukes ofte.
4. BOA  $\rho_{pb}$  – BOA (*eng.* Bottom of Atmosphere) reflektans for en piksel i bånd  $b$ . TOA radians har blitt konvertert til reflektans ved bunnen av atmosfæren. Effekten av terrengform på innstrålingen er tatt hensyn til og atmosfærens bidrag til radiansen som når satellitten er fjernet. Dataene blir skalert med en konstant slik at de kan lagres som heltall; en faktor  $10^4$  brukes ofte.

Sentinel-2 datasett leveres i SAFE-formatet som inneholder flere xml-filer med informasjon om opptaket og kvaliteten på datasettet. Sentinel-2 L1C datasett er kalibrert til TOA reflektans og L2A til BOA reflektans. Slike data sies å være analyseklare og kan enkelt brukes i studier der flere satellittpopptak inngår.

VHR-datasett fra ESA ble levert i TIFF-formatet. En sammenlikning av verdier mellom et S2 L2A datasett og VHR-data viste at VHR ikke har blitt korrigert for atmosfæreeffekter. En sammenlikning av

to VHR-opptak tatt med WorldView den 21. august kl 11:17 og 28. august 2021 kl. 10:41 tyder på at de heller ikke er blitt korrigert til TOA reflektans: det er stor forskjell i pikselverdiene for samme objekt i bildene (se Figur 18); vi ser et tydelig skille mellom øvre og nedre del av bildet. Solas zenitvinkel endres med klokkeslett og dato, og det er derfor viktig å korrigere til reflektans når flere bilder skal analyseres.

Det kan imidlertid være forskjeller på kalibreringsnivå fra ulike leverandører og vi har kun sjekket data fra WorldView og Pléiades. Vi har bedt Norsk Romsenter om å kontakte ESA for å få mer informasjon om kalibreringsnivået på datasettene og metadata for å utføre evt. manglende kalibrering. Svaret fra ESA tyder på at det er tilgjengelig informasjon for å gjennomføre kalibrering. Hvert satellittbilde leveres med flere tilhørende XML-filer der et av filene beskriver nødvendig informasjon om solvinkel og nøyaktig opptakstidspunkt. Det er også tilgjengelig kalibreringskonstanter som tillater kalibrering til radians og deretter reflektans.

## 7 Bruk og nytte

Et kart over grønne strukturer innenfor bebygde områder har mange bruksområder og høy nytteverdi innenfor behandling av plan- og byggesaker og utredninger på utvikling av arealbruk og arealdekke på ulike forvaltningsnivåer.

Kartet gjør det mulig å gi presise beregninger av nåværende utnyttingsgrad og vegetasjonens struktur innenfor en eiendomsteig, et utbyggingsfelt i en arealplan, eller et analyseområde som allerede er bebyggt i større eller mindre grad. Kartet gjør det mulig å identifisere grønne korridorer og sammenhengende tresatte områder innenfor bebygde områder. Det kan også brukes til å identifisere områder der det er behov for grønne korridorer og mer vegetasjon. Grasdekte arealer, busker og trær er viktige deler av kulturlandskapet og viktige elementer i gode bomiljøer. Grønne strukturer tar opp klimagasser og bidrar til å dempe effekten av klimaendringene. De er også en forutsetning for å kunne ta vare på og styrke biologisk mangfold.

### 7.1 Plan- og byggesaksbehandling

Plan- og bygningsloven, sektorlover, samt statlige og regionale bestemmelser, retningslinjer og forventninger gir føringer for behandling av plan- og byggesaker i kommunene og offentlige etater på regionalt og nasjonalt nivå.

- I Plan- og bygningsloven heter det at plan- og byggesaksbehandling skal sikre kvaliteter i landskap og kulturmiljøer, legge til rette for god forming av bygde omgivelser, redusere klimagassutslipp og tilpasse arealbruken til klimaendringer (PBL 2008 § 3-1).
- Statlige planbestemmelser kan utformes for å hindre uønskede miljøeffekter av lokale eller regional tiltak inntil det foreligger en grundig planavklaring, eller det er truffet et varig vedtak om arealdisponering etter annen lov. f.eks. naturvernloven (PBL 2008 § 6-3).
- Regjeringen kan utforme nasjonale retningslinjer for plan- og byggesaksbehandling (PBL 2008 6-2). Statlige planretningslinjer for samordnet bolig-, areal- og transportplanlegging legger vekt på fortetting i by- og tettstedsområder samtidig som man ivaretar normer og retningslinjer for miljøkvaliteter (Regjeringen 2014). Det skal tas hensyn til håndtering av overvann, viktig naturmangfold og kulturhistoriske verdier. Rikspolitiske retningslinjer for barn og planlegging stiller krav til at friområder og lekeområder for barn må erstattes dersom disse bygges ned (Regjeringen 1995). Statlige planretningslinjer for differensiert forvaltning av strandsonen langs sjøen har en bestemmelse om at det skal tas hensyn til friluftsliv, rekreasjon og landskapsopplevelser (Regjeringen 2021).
- Regjeringen utformer hvert fjerde år et dokument med nasjonale forventninger til regional og kommunal planlegging (PBL 2008 § 6-1). Nasjonale forventninger til regional og kommunal planlegging for perioden 2019-2023 er at Fylkeskommunene og kommunene identifiserer og tar hensyn til viktig naturmangfold, friluftslivsområder, overordnet grønnstruktur, kulturhistoriske verdier, kulturmiljø og landskap (Regjeringen 2019).

Grøntstrukturkartet kan gjøre det lettere for kommunene å ivareta alle slike hensyn i sin plan- og byggesaksbehandlingen. Kartet etablerer et felles og godt dokumentert kunnskapsgrunnlag for vurderinger omkring små og store grønne strukturer innenfor kartlagte bebygde områder.

Dette er vesentlig for å kunne utrede og ivareta hensyn til bokvalitet, biologisk mangfold, klimatilpasning og klimagassutslipp. På sikt bør et vegetasjonskart for bebygde områder inngå i Det Offentlige Kartgrunnlaget, eller en offentlig liste over datasett som skal gjelde for arbeid som berøres av plan og bygningsloven i en kommune.

## 7.2 Forskning og utredningsvirksomhet

Kart som viser grønne strukturer innenfor bebygde områder, er også viktig i utredninger knyttet opp mot kommunenes og fylkenes arbeid med rullering av kommuneplaner. Grøntstrukturkartet åpner for mer effektive vurderinger omkring fortetting av eksisterende bebygde områder og behov for å bevare grønne korridorer ved stadfesting av gamle og nye naturområder for nedbygging. Kartet vil også være viktig i mer presise regionale og nasjonale arealundersøkelser med sikte på å vurdere effekter av nåværende og fremtidig planlagt utbyggingsmønster. Andre bruksområder vil være vurderinger omkring tilsig og avrenning av overvann, regulering av temperatur og grader av nedbygging (foretettingspotensiale).

Ettersom grønntstrukturkartet utarbeides med et enhetlig datagrunnlag og enhetelig metodikk over hele landet, er kartet egnet for komparative studier av utbyggingsmønstre og planleggingspraksis i ulike deler av landet.

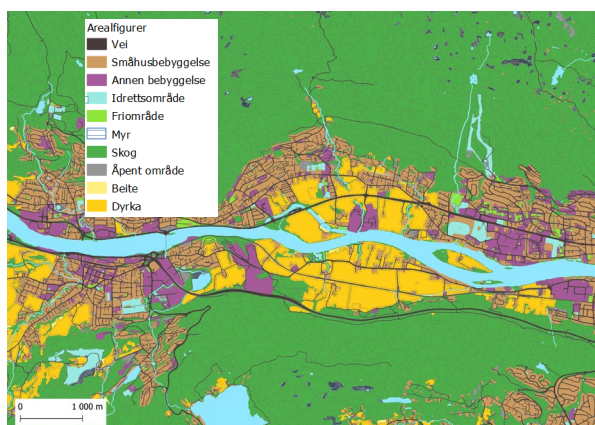
## 7.3 Avledede temakart

I arbeid med arealstatistikk og temakart på kommunalt, regionalt og nasjonalt nivå, kan grønntstrukturkartet i sin mest detaljerte form fremstå som for detaljert og krevende å bruke i utredningsvirksomhet.

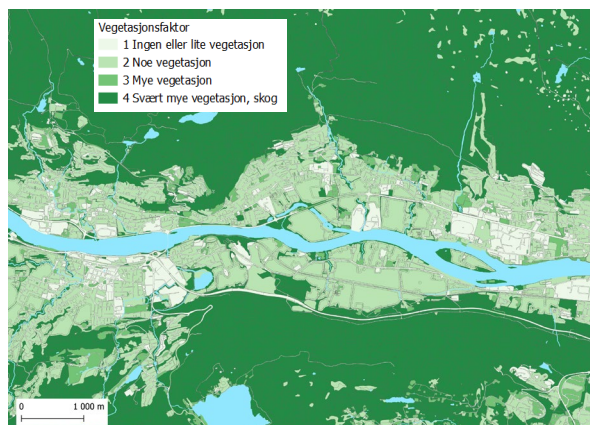
Med å klassifisere bebygd areal innenfor klasser som f.eks. boligområder, næringsområder og samferdselsområder og deretter beregne hvor store andeler av hver arealfigur i hver arealklasse som består av grasareal, buskareal og tresatt areal, vil en kunne fremstille et datagrunnlag med tilfredsstillende nøyaktighet i arealregnskap og avlede regnskap som f.eks. klimagassregnskap og naturregnskap. Arealfigurene vil være store nok til å vises sammen med arealfigurer for skogbestander, skifter og teiger med jordbruksareal, samt myr, vann og åpen fastmark.

Figur 23 og nedenfor er hentet fra en serie av temakart utviklet for å styrke kunnskapsgrunnlaget omkring blå og grønne strukturer i Drammen, Tønsberg og Oslo kommune (Mathiesen m.fl. 2022 a, Mathiesen m.fl. 2022 b ).

Figur 23 viser en heldekkende klassifisering av arealbruk og arealdekke i et område av Drammen kommune tilpasset visning i målestokker fra 1:25 000 til 1:50 000. Figur 24 viser en vegetasjonsfaktor for alle arealene i studieområdet beregnet utfra hvor stor andel av arealfiguren som dekkes av henholdsvis bunnvegetasjon, busker og trær. Arealandelen til hvert sjikt er multiplisert med en faktor 1 for bunnvegetasjon, faktor 1,5 for busker og faktor 2 for trær. Metoden innebærer at alle arealer tilordnes en vegetasjonsfaktor mellom 1 og 4. Skog og bebygde områder med trær vil ha en høyere vegetasjonsfaktor enn i hovedsak grasdekte arealer.



Figur 23 viser arealfigurene etter hovedklasser av arealbruk og arealdekke i Drammen kommune



Figur 24 viser figurene med en klassifisering etter hvor mye vegetasjon som finnes innenfor hver figur.

## 8 Potensial og videreutvikling

Grønnstrukturkartet beskriver informasjon om plen, busker og trær i og rundt bebygde områder. I disse områdene har informasjonen om grønnstruktur størst nytte og treffer et behov som mange ulike aktører har: kommuner, fylker, arealforvaltning, miljøforvaltning. Hovedgrunnen er at det ikke finnes homogen og standardisert informasjon om grønnstruktur i det offentlige kartgrunnlaget. Arealene utenfor tettstedene er derimot godt dokumentert og det finnes forskjellige datasett som tilbyr informasjon om vegetasjonsstrukturer. Allikevel beskriver grønnstrukturkartet vegetasjonen mer detaljert og heldekkende, og derfor kan det være et nyttig supplement til eksisterende datasett å utvide kartleggingsområde til arealer utenfor tettstedene.

Grøntstrukturkartet er lagt frem for kommunene, statsforvalteren og landbruket. Ofte har vi fått tilbakemeldinger på at grønnstrukturkartet ville inneholde nyttig informasjon om vegetasjonen i kantsonene i jordbrukslandskapet. Mellom åkere er det ofte lavtliggende vegetasjon (busker, kratt, grass) som ikke er dokumentert godt nok. Slike kantsoner har betydning for biologisk mangfold og artsutbredelse, og kan derfor være viktig å kartlegge mer systematisk. Slik vegetasjon finnes også langs elver og vassdrag, som i tillegg til biologisk mangfold har en bufferfunksjon ved neborshendelser og overvann. I en videreutvikling av grønnstrukturkartet vurderes det derfor å utvide kartleggingsområdet med arealer som inneholder kantsoner i jordbrukslandskap og langs vassdrag.

Kartlegging av grønnstruktur på nasjonalt nivå har vært mulig pga. den raske teknologiske utviklingen. Med hjelp av nye veldig høyopløselige satellittbilder og økt prosesseringskraft er det mulig å lage en produksjonsløype som produserer grønnstrukturkartet i versjonen som er beskrevet i denne rapporten. Framover forventes ytterligere teknologiske framskritt, og muligens vil få tilgang til flere spektrale bånd eller hyppigere oppdatert informasjon om overflatehøyden. Dette gir mulighet for å videreutvikle grønnstrukturkartet. For eksempel vil det være mulig å dele opp grå arealer i flere kategorier: asfalt, stein, grus, jord. Denne informasjonen har høy nytteverdi for å detektere permeable flater som er viktig for blant annet overvannhåndtering. I tillegg vil det være nyttig for å avlede en blågrønn faktor fra grønnstrukturkartet. Dette er en indeks som kan brukes for å telle opp grønne og blå elementer i et område. Hvis grønnstrukturkartet inneholder tilstrekkelig detaljert informasjon blir det mulig å avlede blågrønn faktor for den eksisterende byggemassen. Dette kan være verdifull informasjon i arealplanlegging i kommunene.

Grønnstrukturkartet viser et tidlig stadium av et ferdig kart. Framover blir det derfor viktig å utvikle kartografien til et nivå som samvarer med andre kart i det offentlige kartgrunnlaget. Blant annet må figureringen forbedres, slik det er beskrevet i kapittel 6. Ut over dette skal segmentavgrensningene gattes slik at den samsvarer med andre offentlig kart. Dette har også en betydning når kartet inngår i oppgaver knyttet til arealregnskap. I et lengre løp må også fjernmålingsdata tilpasses til behovene i grønnstrukturkartet. Det radiometriske nivå til VHR-satellittbildene må være ensartet for alle satellittbilder. I tillegg må nyeste tilgjengelige høydedata benyttes. Dette inkluderer bruk av overflatemodellen fra bildematchingsprosjekter gjennom omløpsprogrammet.

### 8.1 Tilgjengeliggjøring

NIBIO er part i Geovekst-samarbeidet og deltar aktivt i felles etablering, forvaltning, drift, vedlikehold og bruk av geografiske data. Grønnstrukturkartet ble lagt frem som egen sak på møtet i Geovekstforum november 2022. Der ble det opprettet en arbeidsgruppe med representanter fra Geovekstpartene. Arbeidsgruppen fikk som oppgave å vurdere behov og nytte av et nasjonalt grønnstrukturkart. Gruppen ble også bedt om å skissere en overordnet teknisk spesifisering og foreslå et vedlikeholdsregime for et nasjonalt grønnstrukturkart.

Arbeidsgruppen konkluderte med at FKB mangler data som entydig skiller ut områder med vegetasjon innenfor bebygde områder med tilstrekkelig grad av tematisk og geometrisk nøyaktighet. Uten denne

informasjonen er det vanskelig for kommunene å løse pålagte oppgaver knyttet til klimatilpasning, arealforvaltning og miljøforvaltning. Arbeidsgruppen anbefaler at Geovekst-samarbeidet etablerer et nasjonalt grønnstrukturkart. Et nasjonalt grønnstrukturkart vil være nødvendig og nyttig for en rekke fagmiljøer hos kommune, fylkeskommune, statsforvalter og andre nasjonale aktører, samt private aktører.

Arbeidsgruppen anbefaler å bruke grønnstrukturkartet som beskrevet i denne rapporten som et grunnlag når det skal lages et nasjonalt datasett. Utover dette anbefaler arbeidsgruppen at kommunene skal kunne legge inn og ajourføre enkelte egenskaper selv. I første omgang vil det være aktuelt for egenskapene grønne tak og overflatedekke.

Ved bruk av VHR-satellittbildene og NDH-høydedata kan grønnstruktur kartlegges på nytt når det er tilgjengelig nye satellittbilder. Derfor anbefales at grønnstrukturkartet ajourføres periodisk hvert tredje år, samt at det kontinuerlig kan holdes oppdatert med nye bygg og veier. I tillegg får kommunene muligheten å oppdatere grønnstrukturkartet med egenskaper knyttet til grønne tak og overflatedekke.

## 9 Litteraturreferanse

Artsdatabanken. 2014. Sjikting. Publisert 27.03.2014. Sist endret 22.17.2017. Sist besøkt 26.04.2023. Tilgjengelig fra: <https://www.artsdatabanken.no/Pages/137963/Sjikting>

E. Banzhaf, H. Kollai & A. Kindler. 2020. Mapping urban grey and green structures for liveable cities using a 3D enhanced OBIA approach and vital statistics. *Geocarto. International*. 35:6. 623-640. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1524514>.

Blaschke, T. 2010. Object Based Image Analysis for Remote Sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65, 2-16. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>.

Debella-Gilo, M., Borchsenius, B T., Bjørkelo, K., Breidenbach, J. 2020. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. V-3-2020, 803-807. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-3-2020-803-2020>.

Dramstad W., Fjelstad W., Puschmann O., 2003. 3Q - Tilstandsovervåking og resultatkontroll i jordbrukets kulturlandskap. NIJOS rapport nr. 11/03. NIJOS. Ås. Tilgjengelig fra: <http://hdl.handle.net/11250/2558851>

Fu-min Wand, Jing-feng Huang, Yan-lin Tang, Xiu-zhen Wang. 2007. New Vegetation Index and Its Application in Estimating Leaf Area Index of Rice. *Rice Science*. Volume 14 Issue 3. 195-203. Tilgjengelig fra: [https://doi.org/10.1016/S1672-6308\(07\)60027-4](https://doi.org/10.1016/S1672-6308(07)60027-4).

G. Meera Gandhi, S. Parthiban, Nagaraj Thummalu, A. Christy., 2015. Ndvi: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and Gis – A Case Study of Vellore District. *Procedia Computer Science*. Volume 57. 1199-1210. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.415>.

Hashim, H., Abd Latif, Z., and Adnan, N. A. 2019. Urban vegetation classification with ndvi threshold value method with very high resolution (vhr) pleiades imagery. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XLII-4/W16, 237–240. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W16-237-2019>.

Kuras, A.; Brell, M.; Rizzi, J.; Burud, I. 2021. Hyperspectral and Lidar Data Applied to the Urban Land Cover Machine Learning and Neural-Network-Based Classification: A Review. *Remote Sens.* 13 17 3393. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.3390/rs13173393>

Mathiesen m.fl. 2022a: Mathiesen, H.F., Bjørkelo, K., Aune-Lundberg, L., Borch, H., Borchsenius, B.T., Dramstad, W., Frydenlund, J., Hanslin, H.M., Hobrak, K., Mohr, C.W., Mæhlum, T., Pedersen, C. & Sogaard, G. 2022. Kartlegging og formidling av blå og grønne verdier. NIBIO Rapport 8(70). 72 s. NIBIO, Ås. Tilgjengelig fra: <https://hdl.handle.net/11250/3001968>.

Mathiesen m.fl. 2022b: Mathiesen, H.F., Bjørkelo, K., Aune-Lundberg, L., Borch, H., Borchsenius, B.T., Dramstad, W., Frydenlund, J., Hanslin, H.M., Hobrak, K., Mohr, C.W., Mæhlum, T., Pedersen, C. & Sogaard, G. 2022. Økt kunnskap om karbonlagring og klimatilpasning i byggesonen: Nye temakart for arealplanlegging i Oslo kommune. NIBIO Rapport 8(71). 62 s. NIBIO, Ås. Tilgjengelig fra: <https://hdl.handle.net/11250/3001520>.

NASA eart observatory. 2000. Measuring Vegetation. Publisert 30. 08. 2000. Sist besøkt 26.04.2023. Tilgjengelig fra: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation>

Neyns, Robbe & Canters, Frank. 2022. Mapping of Urban Vegetation with High-Resolution Remote Sensing: A Review. *Remote Sensing*. 14. 1031. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.3390/rs14041031>

Soe W. Myint, Patricia Gober, Anthony Brazel, Susanne Grossman-Clarke, Qihao Weng. 2011. Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*. Volume 115 Issue 5. 1145-1161. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.12.017>.

H. Ma, Q. Qin and X. Shen. 2008. Shadow Segmentation and Compensation in High Resolution Satellite Images. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. pp. II-1036-II-1039. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2008.4779175>.

Tucker C. J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment. Volume 8 Issue 2. 127-150. Tilgjengelig fra: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0).

Regjeringen 1995: Rikspolitiske retningslinjer for å styrke barn og unges interesser i planleggingen. Opprinnelig utgitt av Miljøverndepartementet 20.09.1995. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/rikspolitiske-retningslinjer-for-a-styrk/id519347/>

Regjeringen 2014: Statlige planretningslinjer for samordnet bolig-, areal- og transportplanlegging. Opprinnelig utgitt av Kommunal- og moderniseringsdepartementet. 26.09.2014. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/Statlige-planretningslinjer-for-samordnet-bolig--areal--og-transportplanlegging/id2001539/>

Regjeringen 2019: Nasjonale forventninger til regional og kommunal planlegging 2019–2023. Utgitt av Kommunal- og distriktsdepartementet 14.05.2019. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nasjonale-forventninger-til-regional-og-kommunal-planlegging-20192023/id2645090/>

Regjeringen 2021: Statlige planretningslinjer for differensiert forvaltning av strandsonen langs sjøen. Opprinnelig utgitt av Kommunal- og moderniseringsdepartementet 28.05.2021. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/statlige-planretningslinjer-for-differensiert-forvaltning-av-strandsonen-langs-sjoen/id2850282/>

Rekdal Y., Larsson J. Y., 2005. Veiledning i vegetasjonskartlegging M 1:20 000 – 50 000. NIJOS rapport nr. 5/05. NIJOS. Ås. Tilgjengelig fra: <http://hdl.handle.net/11250/2557713>

Shahtahmassebi, A., Yang, N., Wang, K. 2013. Review of shadow detection and de-shadowing methods in remote sensing. Chin. Geogr. Sci. 23, 403–420. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.1007/s11769-013-0613-x>

Stange E. E., Venter Z. S., Dillinger B., Sydenham M. A. K., 2019. Kartlegging av grønnsstrukturer for Nye Stavanger Kommune. NINA rapport nr. 1706. NINA. Lillehammer. Tilgjengelig fra: <http://hdl.handle.net/11250/2619776>

M. D Steven, T. J Malthus, F. Baret, H. Xu, M. J Chopping. 2003. Intercalibration of vegetation indices from different sensor systems. Remote Sensing of Environment. Volume 88 Issue 4. 412-422. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.08.010>.

Trimble. 2023. Trimble eCognition Transform Data to Information. Sist besøkt 26.04.2023. Tilgjengelig fra: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-ecognition>

Universitet i Oslo. 2011. Vegetasjonsanalyse. Publisert 04.02.2011. Sist endret 10.11.2018. Sist besøkt 26.04.2023. Tilgjengelig fra: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/v/vegetasjonsanalyse.html>



# 10 Vedlegg

## 10.1 Radiometrisk nivå på VHR-datasettene

Vi har forsøkt å finne ut av hvilket radiometrisk nivå våre VHR-data fra ESA har blitt prosessert til.

### 10.1.1 WorldView

WorldView oppgir disse nivåene:

1. Standard (2A): normalised for topographic relief
2. View Ready Standard: ready for orthorectification (RPB files embedded)
3. View Ready Stereo: collected in-track for stereo viewing and manipulation (not available for SWIR)
4. Map Scale (Ortho) 1:12,000 Orthorectified: additional processing unnecessary

Vi fant ikke ut hvilken radiometrisk korreksjonsnivå som leveres og hvilken skaleringsfaktor som er brukt for å konvertere til heltallsverdier.

### 10.1.2 Pléiades

Pléiades oppgis tre mulige nivåer som man kan bestille:

1. Basic
2. Reflectance
3. Display

Det står at det skal være en tag i tiff-datasettet som forteller hvilket nivå et produkt har. Vi finner ikke tag'en når vi åpner et tiff-datasett i QGIS. Tag'en skal hete `RADIOMETRIC_PROCESSING`.

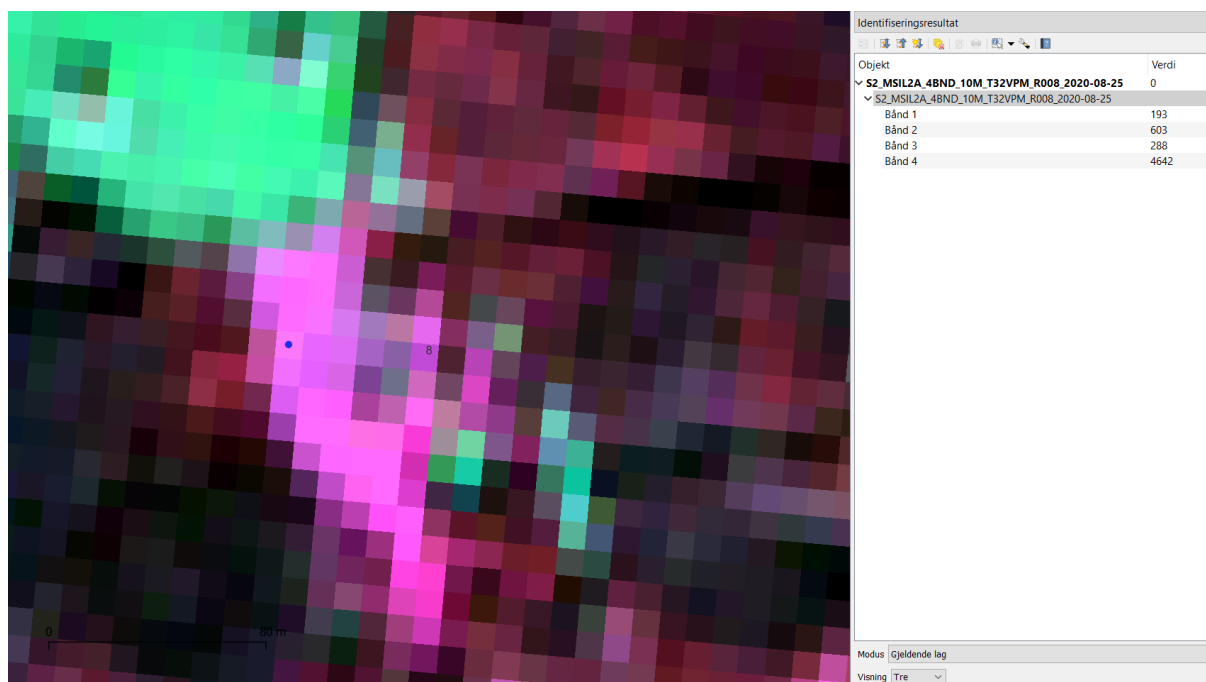
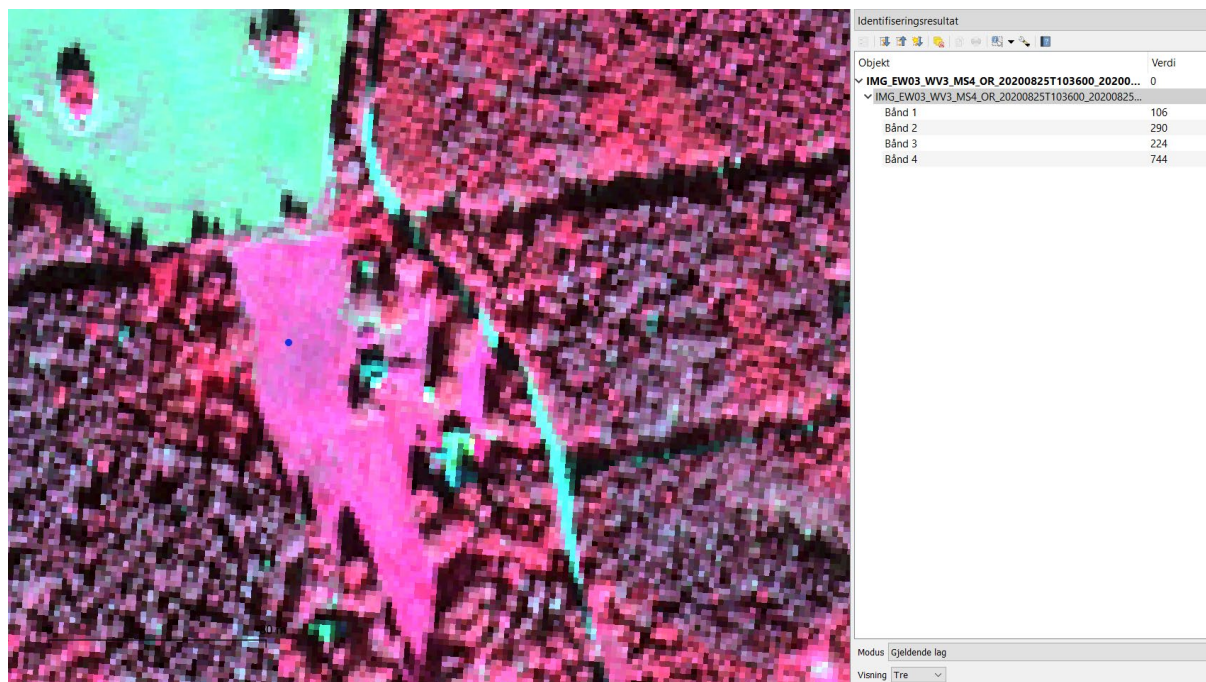
**Basic** har ikke blitt korrigert for sensoreffekten og verdien er derfor energien som ble lest av detektoren (CCD'en). Verdien blir betegnet som DN (Digital Number) siden den ikke korresponderer til en fysisk enhet mht. strålingen.

**Reflectance** korrigerer for sensoreffekten og beregner radiansen som når teleskopet. Videre korrigeres radiansen for systematiske effekter fra atmosfæren. Dette er da en reflektansverdi som er delvis korrigert for atmosfærens påvirkning. Det er ikke korrigert for dynamiske effekter av atmosfæren som skyldes den nederste delen av atmosfæren med aerosoler og vanndamp. Denne korreksjonen må gjøres per piksel. Reflektans-verdier er skalert til integerverdier med faktoren 10000.

Mrk. at for Sentinel-2 data level 1C blir DN verdier kalibrert til reflektans ved toppen av atmosfæren (TOA), og det er dermed ikke korrigert for systematiske effekter fra atmosfæren. Level 2A derimot er korrigert for systematisk og dynamiske effekter (BOA), samt terrengeffekten. Reflektans-verdier er skalert til integerverdier med faktoren 10000.

Vi har sammenliknet to opptak tatt på samme dag (2020-08-25) med Pléades og Sentinel-2 (Figur 20). Det er tydelig at verdiene for samme areal på bakken er veldig forskjellige, så det er tydelig at datasettene ikke har samme radiometrisk korreksjonsnivå og verdiene betyr ulike ting (ulik måleenhet).

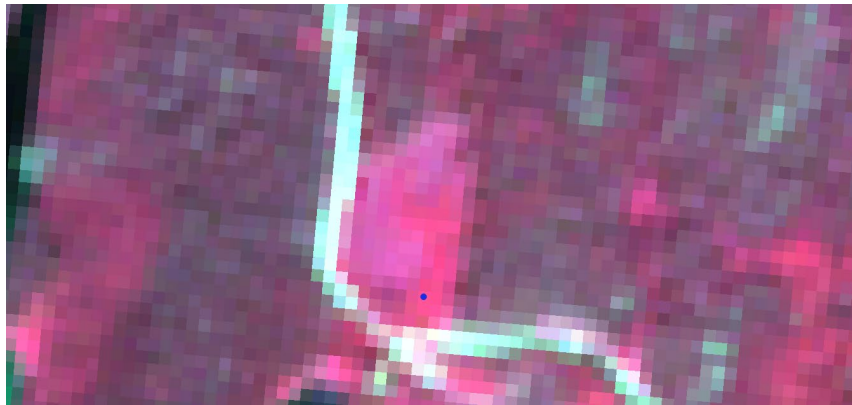
**Display** er basert på Reflectance.



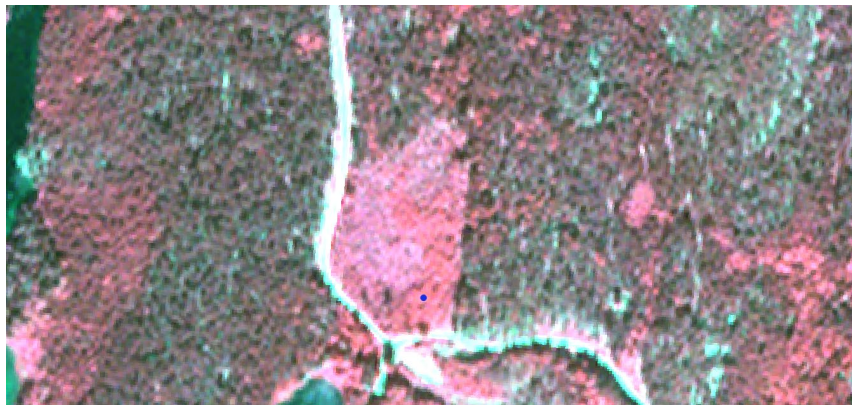
Figur 25. Opptak med WorldView-3 og Sentinel-2A fra 2020-08-25. For Sentinel-2 er bånd 3 rød og bånd 4 NIR; for WV3 er bånd 1 rød og bånd 4 NIR. Verdiene er for arealet under blå prikk. Sentinel-2 viser reflektans i NIR på 0,46 eller 46 %, mens WV3 har en verdi som ville gitt en reflektans på 0,7 %. Det betyr at verdien 744 må stå for noe annet enn reflektans. Antar at 10000 er brukt for å skalere til heltall.



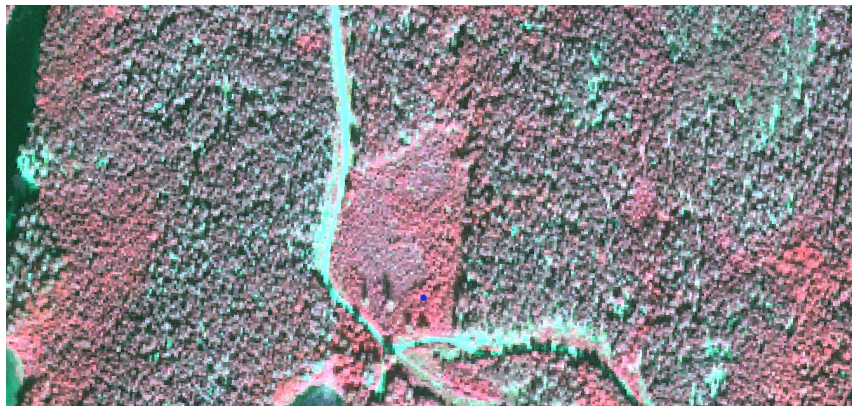
Figur 26. Opptak med Pléiades og Sentinel-2B med få dagers mellomrom. Pléiades ble tatt opp 2021-06-29 og Sentinel-2 2021-07-03. Verdiene er for arealet under blå prikk. Sentinel-2 viser reflektans i NIR på 0,51 eller 51 %, mens Pléiades har en verdi som ville gitt en reflektans på kun 16 %. Det betyr at verdien 1621 må stå for noe annet enn reflektans. Antar at 10000 er brukt for å skalere til heltall.



Objekt	Verdi
~ S2_MSIL2A_4BND_10M_T32VPM_R108_2021-07-03	0
~ S2_MSIL2A_4BND_10M_T32VPM_R108_2021-07-03	
Bånd 1	209
Bånd 2	396
Bånd 3	174
Bånd 4	4364



Objekt	Verdi
~ IMG_PH1A_PHR_MS_3_20210629T104435_20210629T1044...	0
~ IMG_PH1A_PHR_MS_3_20210629T104435_20210629T104440...	
Bånd 1	169
Bånd 2	302
Bånd 3	337
Bånd 4	1569



Objekt	Verdi
~ IMG_EW03_WV3_MS4_OR_20200825T103600_20200825T10...	0
~ IMG_EW03_WV3_MS4_OR_20200825T103600_20200825T103624...	
Bånd 1	117
Bånd 2	304
Bånd 3	233
Bånd 4	1259

Figur 27. Opptak fra hhv. Sentinel-2A, Pléiades og WorldView-3. Verdiene er for det blå punktet over ungskog. Opptaksdatoer er hhv. 2021-07-03, 2021-06-29 og 2020-08-25. Vi ser at verdiene i NIR båndet (bånd 4) er veldig ulik mellom S2A og VHR-datasettene.



Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter.