



Styrelsen for Dataforsyning
og Infrastruktur

DKLAT: Referenceflade for laveste astronomiske tidevand i og omkring Danmark

Geodætisk systembeskrivelse

GeoNotes 7
Version 2
2024-05-01



GeoNotes 7. Version 2, 2024-05-01

Geodætisk systembeskrivelse:

DKLAT: Referenceflade for laveste astronomiske tidevand i og omkring Danmark

Forsiden: Vandstandsmåler i Esbjerg havn (Foto: Casper Jepsen)

Udarbejdet af: Kristian Evers, SDFI

The *GeoNotes Series* is published by [Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur/Agency for Data Supply and Infrastructure](#) (SDFI), Copenhagen, Denmark.

The publications in this series include working papers and preliminary reports from ongoing projects.

Hence, results and conclusions reported may be tentative and subject to change. Opinions expressed do not necessarily reflect the position of SDFI.

Indhold

DKLAT	3
Astronomisk tidevand	3
Geoiden og LAToiden	3
Hvordan laver man en LAToidemodel?	4
Dækningsområde	4
Transformationer	4
Kriterier for nyrealisering	5
Fejlretning	5
Realiseringer af DKLAT	5
DKLAT(2022)	5
DKLAT(2023)	6
Geodætiske registre	7
Governance	7
Licens	7
Litteratur	8



DKLAT

DKLAT er den overordnede betegnelse for modeller af laveste astronomiske tidevand (“Lowest Astronomical Tide”, LAT) i og omkring Danmark.

Den aktuelle model, som geodætisk kaldes en *realisering af DKLAT*, betegnes DKLAT(yyyy), hvor yyyy er en firecifret angivelse af en karakteristisk epoke for modelrealiseringen (se i øvrigt afsnittet [Fejlretning](#) nedenfor).

Astronomisk tidevand

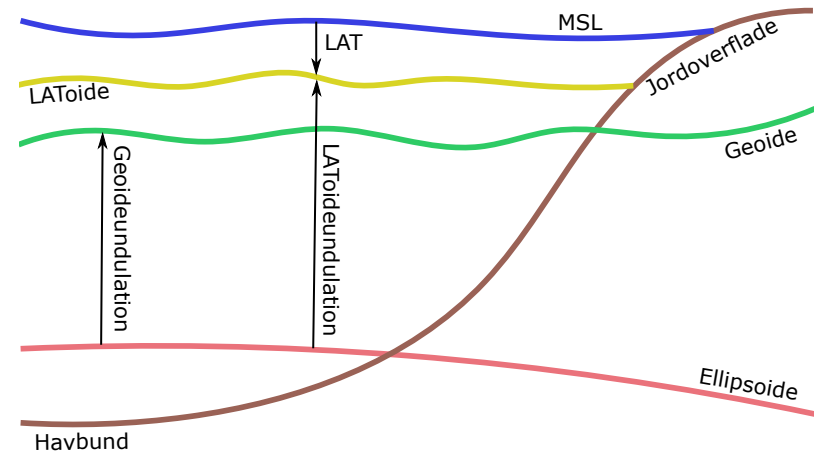
Begrebet “astronomisk tidevand” betegner de påvirkninger som (især) det varierende tyngdefelt fra solen og månen udsætter havoverfladen for. Havoverfladen repræsenteres i denne sammenhæng ved dens middelværdi, MSL (“mean sea level”, se figur 1).

MSL måles med udgangspunkt i den ellipsoide, der benyttes som reference for GNSS-baseret positionering og navigation nær jordens overflade. Denne ellipsoide betegnes i løs tale ofte som enten ETRS89 eller WGS84.

“Laveste astronomiske tidevand”, LAT, defineres traditionelt som den største negative afvigelse fra MSL i løbet af en tidevandscyklus på 18,6 år. Med denne definition er LAT derfor altid negativ, og varierer i øvrigt fra sted til sted.

Den astronomiske forcering af tidevandet er domineret af de to halvdaglige konstituenten af henholdsvis månens og solens påvirkning, M2 og S2. På dybt vand, dvs. uden for kontinentalsoklen, er disse komponenter dominerende.

På lavere vand, og især i kystnære områder, opstår der interferens mellem den astronomiske forcering og ikke-lineære effekter af bundtopografien, som kan gøre tidevandsmønstret meget kompliceret. Her kan det være en fordel at benytte egentlige hydrodynamiske modeller til beregning af de dominerende tidevandskonstituenten.



Figur 1: Fortegnet overblik over vertikale referenceflader.

Geoiden og LAToiden

På land gør man GNSS-målte højder praktisk anvendelige ved at regne dem om til koter (ofte kaldet “højden over havet”). Det gør man ved at fratække en modelværdi fra den GNSS-målte højde. Modelværdien findes ved interpolation i et grid der i daglig tale kaldes “geoiden”. På havet vil geoiden og MSL være næsten identiske.

Dybder på havet kan man også godt angive i forhold til geoiden (eller den næsten identiske MSL). Men dybderne er mere praktisk anvendelige hvis de angives som “dybden under LAT”. For at kunne det har man brug for et grid over referencefladen MSL+LAT. I analogi med betegnelsen “geoiden” for referencefladen til lands, kaldes referencefladen MSL+LAT for “LAToiden”.

Når LAT skal benyttes som referenceflade i forbindelse med GNSS-baseret opmåling er det mest praktisk hvis den måles ud fra samme referenceflade.

de som GNSS-målingerne, dvs. fra samme ellipsoide som benyttes som nulpunkt for MSL.

Vi kan derfor opnå en praktisk anvendelig referenceflade ud fra summen MSL+LAT. Da LAT er negativ kommer referencefladen altid til at ligge under MSL.

Hvordan laver man en LAToidemodel?

Man kan ikke måle alting alle steder til alle tider - heller ikke havoverfladens højde. De målinger man trods alt har, bruger man derfor som input til en model, der kan beregne værdier for vandstanden alle steder og til alle tider man ønsker det. Selv om der kun er få vandstandsmålere rundt omkring på de danske kyster, så er der alligevel ganske meget data tilgængeligt til at drive en vandstandsmodel. Det skyldes den stadig større sværm af satellitter som er udstyret med højdemålere.

Men i øvrigt forholder denne systembeskrivelse sig ikke til hvilke metoder der bør anvendes i tidevandsmodelleringen bag en given LAToide-model, men specificerer udelukkende kriterierne for udvælgelse af kandidater til nye realiseringer af DKLAT (jf afsnittet [Kriterier for nyrealisering](#) nedenfor).

Dækningsområde

Realiseringer af DKLAT er gældende for den danske eksklusive økonomiske zone (EEZ). For at kunne dække denne med et regulært grid kommer realiseringen også til at dække områder uden for den danske EEZ. Gridværdier i disse områder skal anses for rent regnetekniske elementer.

Transformationer

Referencefladen DKLAT er relateret til den aktuelle spatiale referenceramme og udgør dermed en direkte transformation til aktuelle ellipsoidehøjder fra højder og dybder i forhold til DKLAT. Transformationer mellem realiserin-

ger vil, når nødvendigt, blive inkluderet i afsnittet [Realiseringer af DKLAT](#), nedenfor.

Transformationer til og fra DKLAT udføres ved hjælp af en LAToidemodel, der, som beskrevet i afsnittet [Hvordan laver man en LAToidemodel?](#), relaterer sig til ellipsoiden (se figur 1). Transformationer med LAToiden er givet ved følgende forhold:

$$D_{\phi,\lambda} = L_{\phi,\lambda} - h_{\phi,\lambda} \quad (1)$$

hvor, $h_{\phi,\lambda}$ er højden over ellipsoiden, $L_{\phi,\lambda}$ er LAToideundulationen og $D_{\phi,\lambda}$ er dybden under LAT for en koordinat med breddegrad ϕ og længdegrad λ . LAToideværdien for en given koordinat (ϕ, λ) bestemmes ved hjælp af bilinear interpolation i LAToidegriddet tilhørende DKLAT. Senere i denne tekst beskrives de enkelte realiseringer af DKLAT. Her findes tabeller med eksempler på ellipsoidehøjder og DKLAT-dybder for udvalgte lokationer, der kan bruges til at verificere implementering af transformationer til og fra DKLAT.

Den inverse transformation er givet ved

$$h_{\phi,\lambda} = L_{\phi,\lambda} - D_{\phi,\lambda} \quad (2)$$

Transformation mellem realiseringer foretages ved først at transformere dybder givet ved fx DKLAT(2022) til ellipsoidehøjder (formel 2) og derefter at transformere disse ellipsoidehøjder til fx DKLAT(2023)-dybder (formel 1).

Da DKLAT realiseres ved en LAT-model vil man implicit opnå en nøjagtighedsforbedring af data ved at transformere fra en ældre til en nyere realisering.

Kriterier for nyrealisering

De officielle realiseringer udvælges og publiceres af [SDFI](#). To kriterier skal være opfyldt før der publiceres en ny realisering:

1. At den gamle realisering ikke længere anses for tilstrækkelig nøjagtig i praktisk brug, inden for et eller flere af anvendelsesdomænerne, og
2. At der eksisterer en mere nøjagtig, velrenommeret model, der kan kanoniseres som ny realisering.

Fejlretning

Hvis opfyldelsen af første nyrealiseringskriterium skyldes at der konstateres systematiske fejl i dataproduktet, som ikke kan henføres til den bagvedliggende modellering, så rettes disse fejl og modellen genpubliceres med samme navn, blot tilføjet en litrabetegnelse, fx DKLAT2022, DKLAT2022a, DKLAT2022b, etc.

Realiseringer af DKLAT

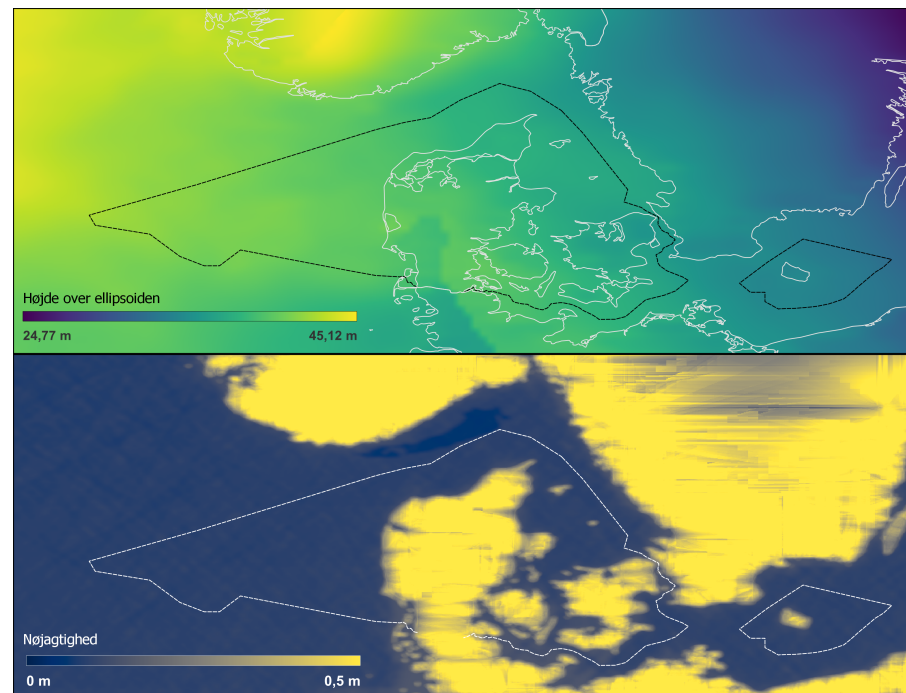
Herunder beskrives de forskellige realiseringer af DKLAT. Tilhørende transformationsmodeller kan downloades via [styrelsens webside](#).

DKLAT(2022)

Første realisering af DKLAT betegnes DKLAT(2022) og er baseret på modellen DTU21 ([Andersen, 2022](#)), der er en videreudviklet af arbejdet beskrevet af [Cheng and Andersen \(2011\)](#) og [Andersen et al. \(2018\)](#). Den tilhørende transformationsmodel er kendt under navnet **dklat_2022.tif**.

DKLAT(2022)-modellen og dens nøjagtighed er afbilledet i figur 2.

Tabel 1 indeholder koordinat eksempeler for udvalgte lokaliteter i Danmark og kan bruges til at verificere implementering af transformationer til og fra DKLAT(2022).



Figur 2: Øverst: DKLAT(2022)s referenceflade givet i højder over ellipsoiden. Nederst: Modellens estimerede nøjagtighed. Fuldtroptrukne linjer angiver kystlinje og stiplede linjer angiver Danmarks eksklusive økonomiske zone.

	Breddegrad	Længdegrad	Ellipsoidehøjde	DKLAT(2022) dybde
Aarhus Bugt	56.1434°N	10.3052°E	24.0789 m	14.314 m
Venø Bugt	56.5277°N	8.6826°E	33.2506 m	6.090 m
Drogden Rende	55.5887°N	12.7036°E	27.0668 m	8.747 m
Horns Rev	55.5135°N	7.9870°E	36.1733 m	3.565 m

Tabel 1: DKLAT(2022) koordinateksempler for udvalgte steder i Danmark. Breddegrader, længdegrader og ellipsoidehøjder er refereret til ETRS89.

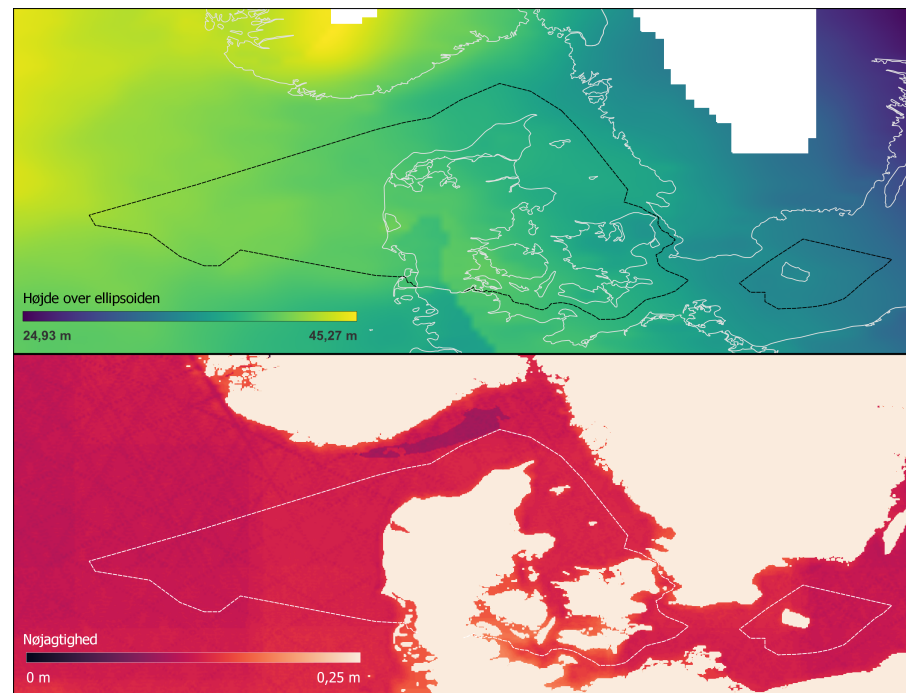
Efter offentliggørelsen af DKLAT(2022) er der identificeret en fejl i det programmel, der er brugt i tilblivelsen af modellen der ligger til grund for DKLAT(2022). Specifikt drejer det sig om en fejlfortolkning af hvilket tidesystem data fra satellitmålinger befinder sig i. Dette resulterer i at modellens nøjagtighed i kystnære områder er forringet. Ved en sammenligning med data fra udvalgte vandsmålere i Danmark ses det, at der er en middelfejl på -15 cm. Desuden er der identificeret en fejl i Lillebælt, hvor modellen viser yderligere ca. 10 cm forkert.

Grundet disse fejl i den første realisering af DKLAT anbefales det at bruge nyere realiseringer af systemet. Data indsamlet i DKLAT(2022) kan transformeres til nyere realiseringer (mere herom i afsnittet [Transformationer](#)) hvorved fejlen udbedres i disse data.

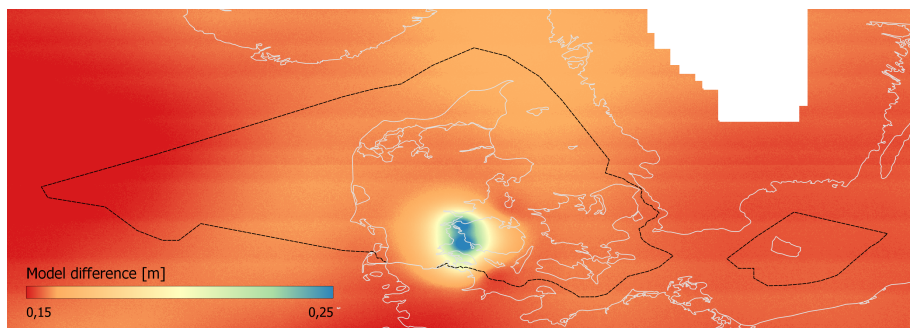
DKLAT(2023)

DKLAT(2023) er baseret på modellen DTU23, der er en videreudvikling grundlaget for den forrige realisering. Den tilhørende transformationsmodel er kendt under navnet **dklat_2023.tif**. Modellen og dens nøjagtighed er afbilledet i figur 3. I tabel 2 ses eksempler på koordinater, der kan bruges til verifikation af implementering af transformationer til og fra DKLAT(2023).

Denne realisering af DKLAT udbedrer fejl i DKLAT(2022) som beskrevet i forrige afsnit. Forskellen mellem DKLAT(2023) og DKLAT(2022) er afbilledet på figur 4. For hele modellen ses et niveauskifte på cirka 15 cm. Derudover ses der en ændring på yderligere cirka 10 cm ved Lillebælt, hvor en fejl i bagvedliggende vandstandsdata er blevet udbedret.



Figur 3: Øverst: DKLAT(2023)s referenceflade givet i højder over ellipsoiden. Nederst: Modellens estimerede nøjagtighed. Fuldtroptrukne linjer angiver kystlinje og stiplede linjer angiver Danmarks eksklusive økonomiske zone.



Figur 4: Forskel mellem DKLAT(2023) og DKLAT(2022).

Bemærk, at modellen flere steder er udefineret. Dette kommer til udtryk som NODATA-værdier i transformationsfilen, og på figur 3 og 4 er de angivet med hvidt. At modellen er udefineret her skyldes at der ikke findes LAT-tilpasningspunkter i nærheden, og at interpolationsmekanismen derfor ikke kan udfylde disse områder med meningsfyldt data.

	Breddegrad	Længdegrad	Ellipsoidehøjde	DKLAT(2023) dybde
Aarhus Bugt	56.1434°N	10.3052°E	24.0789 m	14.472 m
Venø Bugt	56.5277°N	8.6826°E	33.2506 m	6.248 m
Drogden Rende	55.5887°N	12.7036°E	27.0668 m	8.902 m
Horns Rev	55.5135°N	7.9870°E	36.1733 m	3.723 m

Tabel 2: DKLAT(2023) koordinateksempler for udvalgte steder i Danmark. Breddegrader, længdegrader og ellipsoidehøjder er refereret til ETRS89.

Geodætiske registre

For at lette arbejdet med geodata, der er refereret til DKLAT er systemet og dets realisering registreret hos EPSG. Selve DKLAT-systemet er registreret som et såkaldt "datum ensemble", der dækker over alle realiseringer af DKLAT. De enkelte realiseringer er også registreret individuelt, så det er muligt at angive en specifik realisering som georeference i et datasæt. Desuden

er der registreret kombinationer af ETRS89 og DKLAT til anvendelse i 3D datasæt. En oversigt ses i Tabel 3.

Det anbefales i udgangspunktet at angive en specifik realisering af DKLAT når data georefereres, da det, som nævnt i afsnit giver mulighed for på et senere tidspunkt at transformere data til en nyere realisering og dermed opnå en bedre nøjagtighed af datasættet (under antagelse af at en nyere realisering har bedre nøjagtighed end de foregående).

Kode	Beskrivelse	Type
EPSG:10552	DKLAT dybde	Vertikalt datum ensemble
EPSG:10548	DKLAT(2022) dybde	Vertikalt datum
EPSG:10550	DKLAT(2023) dybde	Vertikalt datum
EPSG:10554	ETRS89 + DKLAT(2022) dybde	Kombineret datum
EPSG:10556	ETRS89 + DKLAT(2023) dybde	Kombineret datum

Tabel 3: EPSG-koder relateret til DKLAT.

Governance

SDFI er myndighed for geodæsi, og dermed for DKLAT. Så SDFI er ansvarlig for valg af nyrealiseringer. Ved beslutning om nyrealisering inddrages holdninger fra først og fremmest søkortmyndigheden og fra marine anlægsaktører. I øvrigt er alle interessenter velkomne til at bidrage med relevant information om eventuelle fejl og mangler via grf@sdfi.dk.

Licens

Denne systembeskrivelse kan frit videredistribueres som dokumentation under CC-BY 4.0 ([Creative Commons, 2013](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Realiseringer af systemet licenseres jævnt før hver enkelt realiserings betingelser. Der lægges ved udvælgelsen af nyrealiseringer vægt på at kunne publicere det relevante materiale i overensstemmelse med EU-kommisionens "Public Sector Information Directive" ([Council of the European Union, 2019](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32019L0115)).

Litteratur

Andersen, O., P. Knudsen, and L. Stenseng, A new dtu18 mss mean sea surface – improvement from sar altimetry, p. 172, 25 years of progress in radar altimetry symposium ; Conference date: 24-09-2018 Through 29-09-2018, 2018. ([document](#))

Andersen, O. B., DTU21 Mean Sea Surface, doi:10.11583/DTU.19383221. v1, 2022. ([document](#))

Cheng, Y., and O. B. Andersen, Multimission empirical ocean tide modeling for shallow waters and polar seas, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(C11), doi:https://doi.org/10.1029/2011JC007172, 2011. ([document](#))

Council of the European Union, Council regulation (EU) no 2019/1024, 2019. ([document](#))

Creative Commons, Attribution 4.0 International (CC BY 4.0), 2013. ([document](#))

**Styrelsen for Dataforsyning
og Infrastruktur**

Sankt Kjelds Gård, Sankt Kjelds Plads 11
2100 København Ø

<https://www.sdfi.dk>