Klimadatastyrelsen

GLLAT: Referenceflade for laveste astronomiske tidevand i og omkring Grønland



Geodætisk systembeskrivelse

GeoNotes 11
Version 2
2026-05-15

GeoNotes 11. Version 2, 2026-05-15

Geodætisk systembeskrivelse:

GLLAT: Referenceflade for laveste astronomiske tidevand i og omkring Grønland

Forsiden: Kolonihavnen, Nuuk (Foto: Kristian Evers)

Udarbejdet af: Kristian Evers, KDS

The *GeoNotes Series* is published by Klimadatastyrelsen/Agency for Climate Data (KDS), 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 KDS.

Copyright by the Agency for Climate Data and the author(s). This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Indhold

GLLAT 3

Astronomisk tidevand 3

Geoiden og latoiden 3

Hvordan laver man en latoidemodel? 4

Dækningsområde 4

Transformationer 4

Realiseringer af GLLAT 4
- GLLAT(2023) 4
- GLLAT(2025) 5

Geodætiske registre 6

Kriterier for nyrealisering 7

Fejlretning 7

Governance 7

Licens 7

Litteratur 7

GLLAT

GLLAT er den overordnede betegnelse for modeller af laveste astronomiske tidevand ("Lowest Astronomical Tide", LAT) i og omkring Grønland.

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

Astronomisk tidevand

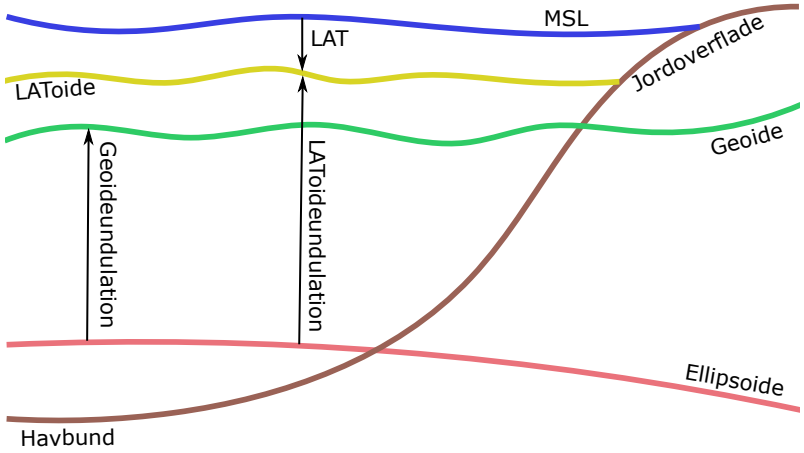
Begrebet "astronomisk tidevand" betegner de påvirkninger som (især) det varierende tyngdefelt fra solen og månen udsætter havoverfladen for. Havoverfladen repræsenteres i denne sammenhæng ved dens middelværdi, MSL ("mean sea level", se figur 1).

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 GR96 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 konstituenter 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 tidevandskonstituenter.



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 (i daglig tale ofte kaldet "højden over havet"). Det gør man ved at fratrække en modelværdi fra den GNSS-målte højde. Modelværdien findes ved interpolation i en geoidemodel (i daglig tale ofte kaldet "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 referencefla-

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 kysterne, 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 GLLAT (jf afsnittet Kriterier for nyrealisering nedenfor).

Dækningsområde

Realiseringer af GLLAT er juridisk gældende for den grønlandske eksklusive økonomiske zone (EEZ). For at kunne dække denne med et ækvivangulært grid kommer griddet til at dække områder også uden for den grønlandske EEZ. Gridværdier i disse områder skal anses for rent regnetekniske elementer.

Transformationer

Referencefladen GLLAT er relateret til den aktuelle spatiale referenceramme og udgør dermed en direkte transformation til aktuelle ellipsoidehøjder fra højder over GLLAT.

Transformationer til og fra GLLAT udføres ved hjælp af en LATgeoidemodel, der, som beskrevet i afsnittet geoiden og LATgeoiden, relaterer sig til ellipsoiden (se figur 1). Transformationer med LATgeoiden er givet ved følgende forhold:

$$D_{\phi,\lambda} = L_{\phi,\lambda} - h_{\phi,\lambda} \tag{1}$$

hvor, $h_{\phi,\lambda}$ er højden over ellipsoiden, $L_{\phi,\lambda}$ er LATgeoideundulationen og $D_{\phi,\lambda}$ er dybden under LAT for en koordinat med breddegrad ϕ og længdegrad λ. LATgeoideværdien for en given koordinat (ϕ, λ) bestemmes ved hjælp af bilineær interpolation i LATgeoidegriddet tilhørende GLLAT.

Den inverse transformation er givet ved

$$h_{\phi,\lambda} = L_{\phi,\lambda} - D_{\phi,\lambda} \tag{2}$$

Transformation mellem realiseringer foretages ved først at transformere dybder givet ved fx GLLAT(2023) til ellipsoidehøjder (formel 2) og derefter at transformere disse ellipsoidehøjder til fx GLLAT(2025)-dybder (formel 1).

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

Realiseringer af GLLAT

Herunder beskrives de forskellige realiseringer af GLLAT.

GLLAT(2023)

Første realisering af GLLAT betegnes GLLAT(2023) og er baseret på modellen DTU23, der er en videreudvikling af DTU21 (*Andersen*, 2022), baseret på teknikker udviklet af *Cheng and Andersen* (2011) og *Andersen et al.* (2018).

Den tilhørende transformationsmodel er kendt under navnet **`gllat_2023.tif`** og kan downloades via styrelsens webside. GLLAT(2023)-modellen er afbilledet i figur 2.

I tabel 1 ses eksempler på ellipsoidehøjder og GLLAT-dybder for udvalgte lokationer, der kan bruges til at verificere implementering af transformationer til og fra GLLAT.

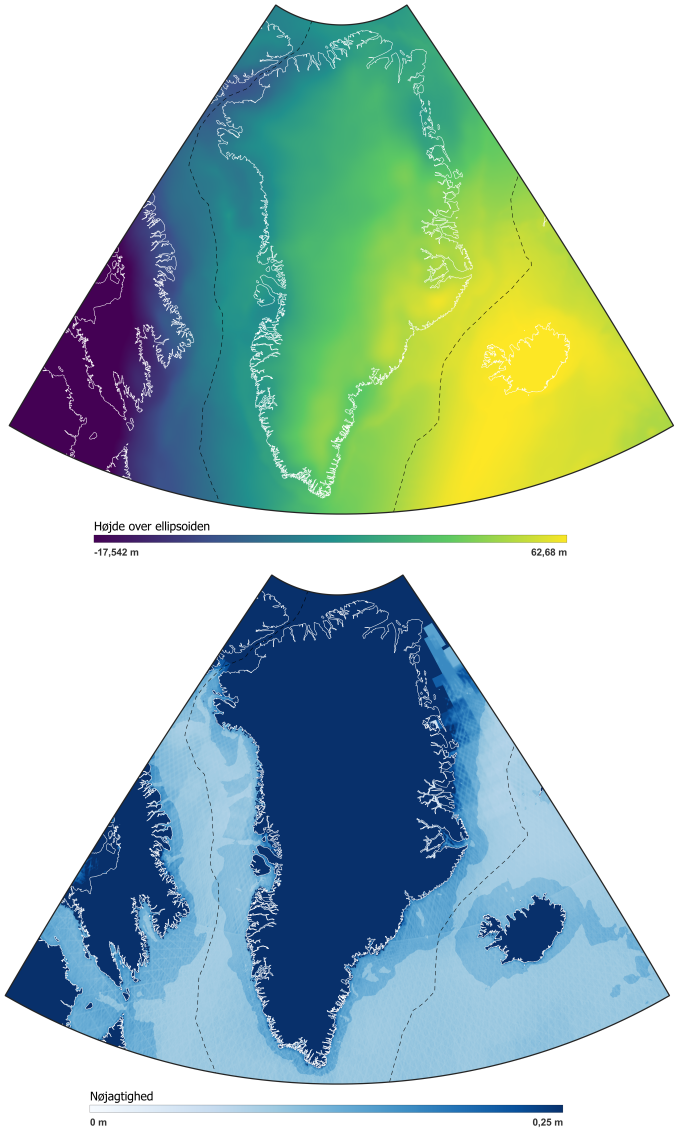
	Breddegrad	Længdegrad	Ellipsoidehøjde	GLLAT(2023) dybde
Nuuk	64.15438°N	-51.73099°E	2.12 m	23.03 m
Sisimiut	66.92923°N	-53.71751°E	-14.32 m	38.75 m
Illulisat	69.23924°N	-51.22201°E	-53.52 m	75.58 m
Daneborg	74.30411°N	-20.26660°E	18.73 m	28.24 m

Tabel 1: GLLAT(2023) koordinateksempler for udvalgte steder i Grønland. Breddegrader, længdegrader og ellipsoidehøjder er refereret til GR96.

GLLAT(2025)

GLLAT(2025) er baseret på DTU25-modellen (*Nilsson et al.*, 2025), der estimerer den globale middelhavoverflade baseret på målinger fra satellitter. Modellen er en forbedring af DTU23-modellen, som GLLAT(2023) baserer sig på. DTU25-modellen er forbedret med yderligere to års data fra kilder anvendt i DTU23 samt nye data fra SWOT-missionen (Surface Water and Ocean Topography). Data fra SWOT har en højere rumlig opløsning og giver anledning til markante forbedringer af GLLAT i en lang række grønlandske fjorde. Desuden er referenceepoken for DTU25 ændret til 2023 til forskel fra DTU23s referenceepoke i 2003. Herved tages der højde for den globale vandstandsstigning de seneste tyve år, hvilket giver en mere retvisende model.

GLLAT(2025) er blevet til ved en tilpasning af DTU25 til LAT i Grønland ved hjælp af permanente og midlertidige vandstandsmålere, samt tidevandsmodellen FES2014 (*Lyard et al.*, 2021). Den nyere FES2022 model er blevet evalueret i forbindelse med tilblivelsen af GLLAT(2025) men vurderet for usikker i fjorde langt fra etablerede vandstandsmålere.



Figur 2: Øverst: GLLAT(2023)s referenceflade givet i højder over ellipsoiden. Nederst: Nøjagtigheden af GLLAT(2023). Bemærk, at nøjagtigheden på land og isdækkede områder er ringere end de 0,25 m skalaen angiver, da det i praksis ikke er muligt at bestemme et LAT-værdi i disse områder. Fuldtoptrukne linjer angiver kystlinje og stiplede linjer angiver Grønlands eksklusive økonomiske zone.

Figur 3 viser forskellen mellem GLLAT(2025) og GLLAT(2023) samt usikkerheden på GLLAT(2025). Generelt ses der markante ændringer i de kystnære områder og i særdeleshed i fjordene. Disse forskelle skyldes det opdaterede modelgrundlag, der langt bedre afspejler vandstanden i fjordene. I øvrigt ligger forskellen mellem de to realiseringer, generelt inden for usikkerhedsestimaterne for GLLAT(2023). De største forskelle (og usikkerheder) ses i det nordøstlige Grønland, hvor der i store dele af året er havis og dermed mindre data om havoverfladens topografi. Koordinaterne for Daneborg givet i henholdvis tabel 1 og 2 illustrerer modellens usikkerhed langt mod nord.

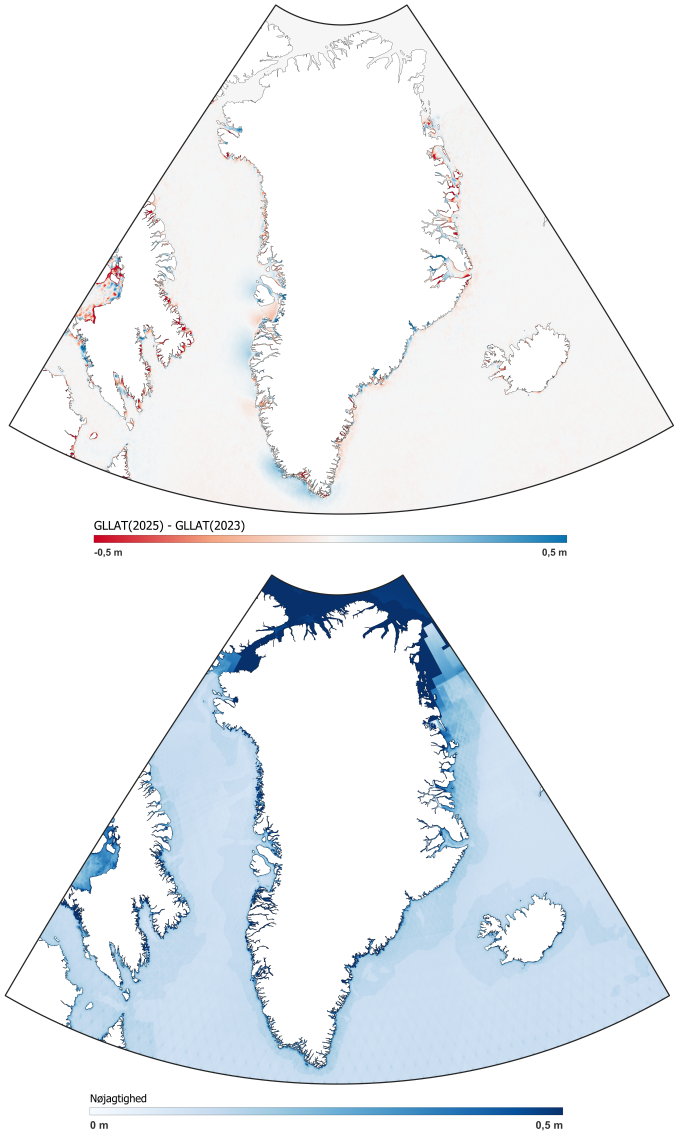
Transformationsmodellen der hører til GLLAT(2025) er kendt under navnet **`gllat_2025.tif`** og kan hentes via styrelsens webside. I tabel 2 ses eksempler på ellipsoidehøjder og GLLAT-dybder for udvalgte lokationer, der kan bruges til at verificere implementering af transformationer til og fra GLLAT.

	Breddegrad	Længdegrad	Ellipsoidehøjde	GLLAT(2025) dybde
Nuuk	64.15438°N	-51.73099°E	2.12 m	23.12 m
Sisimiut	66.92923°N	-53.71751°E	-14.32 m	38.70 m
Illulisat	69.23924°N	-51.22201°E	-53.52 m	75.56 m
Daneborg	74.30411°N	-20.26660°E	18.73 m	27.52 m

Tabel 2: GLLAT(2025) koordinateksempler for udvalgte steder i Grønland. Breddegrader, længdegrader og ellipsoidehøjder er refereret til GR96.

Geodætiske registre

For at lette arbejdet med geodata, der er refereret til GLLAT er systemet og dets realisering registreret i det geodætiske register, EPSG. Selve GLLAT-systemet er registeret som et såkaldt "datum ensemble", der dækker over alle realiseringer af GLLAT. 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 GR96 og GLLAT til anvendelse i 3D datasæt. En oversigt ses i Tabel 3.



Figur 3: Øverst: Forskelle mellem GLLAT(2025) og GLLAT(2023). Bemærk at visse steder overstiger forskellen mellem de to modeller 0,5 m, eksempelvis flere fjordsystemer på nordøstkysten. Nederst: Nøjagtigheden af GLLAT(2025). Bemærk, at nøjagtigheden på land og isdækkede områder er ringere end de 0,25 m skalaen angiver, da det i praksis ikke er muligt at bestemme et LAT-værdi i disse områder. Fuldtoptrukne linjer angiver kystlinje og stiplede linjer angiver Grønlands eksklusive økonomiske zone.

Det anbefales i udgangspunktet at angive en speficik realisering af GLLAT 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:11454	GLLAT dybde	Vertikalt datumensemble
EPSG:10650	GLLAT(2023) dybde	Vertikalt datum
EPSG:11450	GLLAT(2025) dybde	Vertikalt datum
EPSG:10652	GR96 + GLLAT(2023) dybde	Kombineret datum
EPSG:11452	GR96 + GLLAT(2025) dybde	Kombineret datum

Tabel 3: EPSG-koder relateret til GLLAT.

Kriterier for nyrealisering

Realiseringer af GLLAT udvælges og publiceres af KDS. 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 GLLAT(2023), GLLAT(2023a), GLLAT(2023b), etc.

Governance

KDS er myndighed for geodæsi, og dermed for GLLAT. Så KDS 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 gdl@kds.dk.

Licens

Denne systembeskrivelse kan frit videredistribueres som dokumentation under CC-BY 4.0 (*Creative Commons*, 2013).

Realiseringer af systemet licenseres jævnfør 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).

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)

Lyard, F. H., D. J. Allain, M. Cancet, L. Carrère, and N. Picot, Fes2014 global ocean tide atlas: design and performance, *Ocean Science*, *17*(3), 615–649, doi:10.5194/os-17-615-2021, 2021. (document)

Nilsson, B., O. B. Andersen, and P. Knudsen, The DTU25 Mean Sea Surface: From and For SWOT, *Earth System Science Data Discussions*, *2025*, 1–41, doi:10.5194/essd-2025-404, 2025. (document)

Klimadatastyrelsen

Sankt Kjelds Plads 11
2100 København Ø

https://www.kds.dk