Klimadatastyrelsen

GR96: Greenland Reference 1996



Geodætisk systembeskrivelse

GeoNotes 13
Version 4
2026-06-01

GeoNotes 13. Version 4, 2026-06-01

Geodætisk systembeskrivelse:

GR96: Greenland Reference 1996

Forsiden: Fundamentalpunktet GOH1 ved Nuuk. (Foto: Casper Jepsen, KDS)

Udarbejdet af: Stefan Krebs Lange-Willman, 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

GR96: Greenland Reference 1996 **3**

Systemdefinition **3**

Realiseringer af GR96 **3**
GR96(1996) 4
GR96(2021) 5

Transformationer **7**
Transformation fra tidligere koordinatsystemer 9

Geodætiske registre **11**

Governance **11**

Licens **12**

A Yderligere detaljer om REFGR **13**

B Definerende GR96(2021) koordinater for GNET-stationerne **17**

C Definerende GR96(1996) koordinater for REFGR-punkterne **19**

D Udbredelse af GR96(2021) til nyere GNET-stationer **25**

Litteratur **28**

GR96: Greenland Reference 1996

GR96 er det geografiske referencesystem i Grønland. GR96 er defineret til at være identisk med den globale referenceramme ITRF94 til tidspunktet 1996-08-15.[1]

Oprindeligt er GR96 *realiseret* af *REFGR*-punkterne, som er et net af GNSS-opmålte fikspunkter fordelt langs de grønlandske kyster. REFGR-punkternes koordinater er blevet bestemt igennem en række målekampagner udført fra 1996 til 2001 (samt én i 2006) og disse koordinater bruges, når man senere skal måle en GR96-koordinat et andet sted i Grønland.

I 2021 blev de vigtigste REFGR-punkter genopmålt. Formålet var en ny realisering af GR96 via GNET-stationerne, samt en transformation, der gør det muligt at knytte GR96 sammen med internationale referencesystemer. Den nye realisering betyder, at GR96-koordinater vha. GNET kan bestemmes mere nøjagtigt, og uden at man selv behøver at opsætte en referencestation i et af de 278 REFGR punkter.

Systemdefinition

Som nævnt, er GR96 bestemt ud fra det internationale ITRF94. Eftersom ITRF94 er en *dynamisk* referenceramme[2], er det altid nødvendigt at angive et tidspunkt (epoke) for en koordinat. Dette er praktisk i en global sammenhæng når man gerne vil sammenligne koordinater på tværs af bevægende landmasser. Dog er det mindre praktisk i lokale eller regionale sammenhænge, hvor man kun har brug for at sammenligne koordinater for punkter som befinder sig på samme landmasse, som fx Grønland.

For at ”fastfryse” koordinaterne til Grønland, er GR96 derfor defineret til at være sammenfaldende med ITRF94 til det bestemte tidspunkt 1996-08-15 (epoke 1996,62). Denne referenceramme og dette tidspunkt er valgt, fordi opmålingerne til den første referencenet, REFGR, begyndte i august 1996 og den aktuelle referenceramme var på det tidspunkt ITRF94.

[1] International Terrestrial Reference Frame 1994, epoke 1996,62

[2] Dvs. at koordinater til faste punkter kan ændre sig over tid, primært pga. tektoniske pladebevægelser

Denne definition medfører, at realiseringerne af GR96 også kan betragtes som *regionale fortætninger* af ITRF94 til epoken 1996,62.

Eftersom ITRF94 er en realisering af det internationale referencesystem ITRS[3], betyder det også, at de øvrige definitioner af GR96 er identiske med ITRS definitionerne, herunder bl.a. valget af referenceellipsoiden GRS80. For yderligere detaljer om dette henvises derfor til dokumentationen af ITRF94 i *Boucher et al.* (1996), samt til definitionerne af ITRS i kap. 4 af seneste version af IERS[4] konventionerne (*Petit et al.*, 2010).

Realiseringer af GR96

Når man i praksis skal måle en koordinat i GR96-systemet, er det nødvendigt at tage udgangspunkt i ét eller flere punkter med en kendt GR96-koordinat. Et sådant sæt af punkter med tilhørende kendte koordinater kaldes en *realisering*.

Den første realisering af GR96 består af REFGR-punkterne, som blev opmålt fra 1996 til 2001 (samt i 2006) (se Figur 1). Sidenhen er der blevet opstillet en lang række GNSS-stationer (de såkaldte GNET-stationer) langs den grønlandske kyst. Med GNET er det blevet muligt at lave en mere præcis realisering af GR96 og KDS foretog i 2021 derfor de nødvendige opmålinger for at overføre referencen. De følgende afsnit beskriver de to realiseringer nærmere, og en oversigt ses i Tabel 1.

Realisering	Referencenet
GR96(1996)	REFGR
GR96(2021)	GNET

Tabel 1: Realiseringer af GR96.

[3] International Terrestrial Reference System

[4] International Earth Rotation and Reference Systems Service. Organet er bl.a. er ansvarlig for ITRS og dets realiseringer (ITRF)

GR96(1996)

Behovet for et nøjagtigt nationalt referencesystem i Grønland opstod i 1990'erne, da brugen af GPS blev mere og mere udbredt. Derfor etablerede det daværende Kort- og Matrikelstyrelsen (KMS) referencenettet REFGR, som blev opmålt med GPS i årene 1996 til 2001.

Rent teknisk er positionen af punkterne i referencenettet REFGR beregnet relativt i forhold til en række internationale permanente GNSS-referencestationer i og omkring Grønland. Disse stationer er en del af IGS (International GNSS Service) og står bl.a. i Grønland, Canada og Europa.

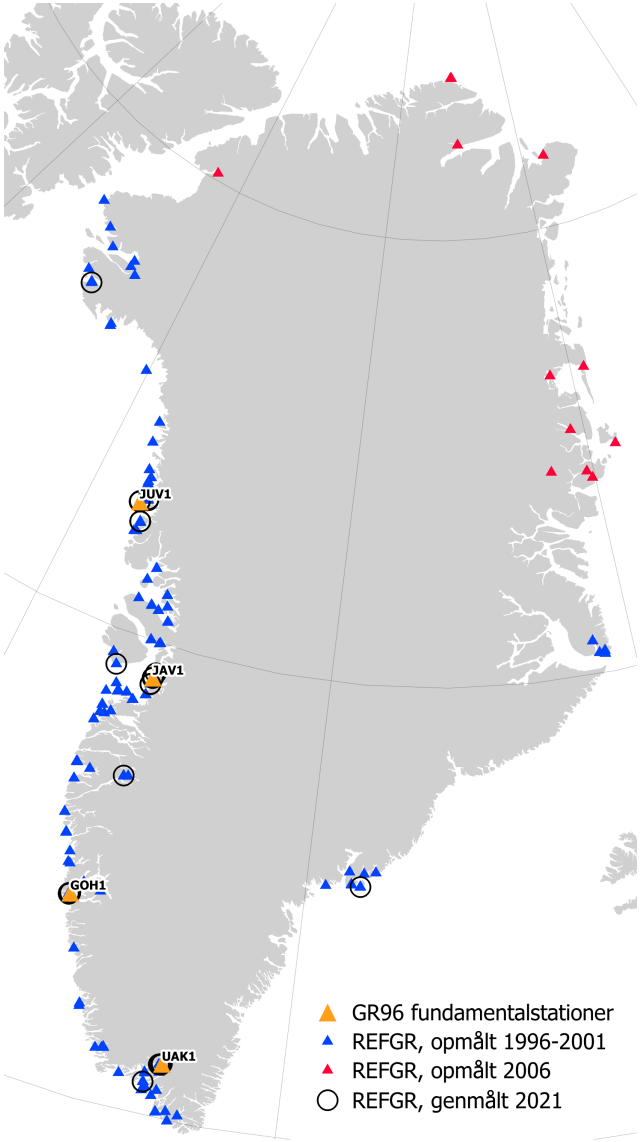
REFGR bestod oprindeligt af 258 GPS-opmålte punkter[5] hovedsageligt fordelt langs vestkysten, da de fleste byer og bygder ligger her. Men også på østkysten i områderne omkring Illoqqortoormiut og Tasiilaq er der etableret punkter (se Figur 1).

I 1996, under den første målekampagne, blev de fire punkter GOH1, JUV1, JAV1 og UAK1, hhv. placeret i hhv. Nuuk, Upernavik, Ilulissat og Narsarssuaq, målt med bedst nøjagtighed og i længst tid (13 dage). Derfor kaldes de for *fundamentalpunkter*. Tabel 2 viser de endelige GR96-koordinater for de fire fundamentalpunkter. Efterfølgende målekampagner har så vidt muligt inkluderet opmålinger til ét eller flere af fundamentalpunkterne.

I sommeren 2000 målte Asiaq og KMS i samarbejde yderligere 164 af REFGR-punkterne. Denne 2½ måned lange kampagne gjorde det muligt at føre GR96 ud i de mindre bygder. Der er mindst to REFGR-punkter i hver af de ca. 85 byer og bygder, men der er også etableret punkter på udvalgte steder uden for byområderne.

GR96 er efterfølgende via REFGR og historiske data ført ud til knap 6000 yderligere lavere ordens punkter. For yderligere detaljer om REFGR-punkterne og historisk kontekst se Bilag A.

[5] 20 punkter i det nordøstlige Grønland blev tilføjet i 2006



Figur 1: REFGR-punkterne, som i årene 1996-2006 blev etableret og opmålt i et samarbejde mellem KMS og Asiaq (*Kort- og Matrikelstyrelsen*, 2006).

Station	X [m]	Y [m]	Z [m]
UAK1	2165024.8115	-2194858.6667	5564941.4927
GOH1	1725955.5061	-2183691.9322	5719571.0715
JAV1	1424785.4899	-1765506.5734	5941094.9187
JUV1	1055186.7408	-1572417.3914	6070264.7336

Tabel 2: GR96(1996)-koordinater for de fire fundamentalpunkter (*Kort- og Matrikelstyrelsen*, 2006). Se Bilag C for den fulde koordinatliste til alle REFGR-punkterne.

Oprindeligt blev nøjagtigheden for de bedst bestemte REFGR-punkter anslået til 1-2 cm. De resterende punkter havde en estimeret nøjagtighed på 3-4 cm. Her tages der imidlertid ikke højde for deformationer som er sket i tiden efter definitionen af GR96(1996). Deformationerne skyldes i høj grad den dynamiske iskappe, og der kan være store lokale variationer. Det vil med tiden forringe nøjagtigheden og tillige gøre den svær at kvantificere.

GR96(2021)

I august 2021 udførte KDS en målekampagne hvor mange af de gamle REFGR-punkter blev genbesøgt, herunder de fire fundamentalpunkter. De 4 fundamentalpunkter blev således opmålt i 10-14 døgn, mens de øvrige fikspunkter blev opmålt i 1-4 timer. Under kampagnen blev en del af punkterne desværre konstateret tabtgået.

Sammen med 21-dages data fra de kontinuert målende GNET-stationer kunne man til sidst beregne GR96-koordinater for GNET-stationerne (*Khan, S. A. et al.*, 2025). Beregningen er en såkaldt *netværksløsning*, hvor baselinjer mellem stationer udjævnes for at give et koordinatsæt til stationerne med så god intern konsistens som muligt.

Tilknytningen til den internationale GNSS-referenceramme blev gjort på samme måde som i 1996, hvor der ud fra IGS-referencestationerne er blevet regnet i den da gældende referenceramme, som var IGS20 til epoken 2021-08-14.

Derved kender man både IGS20-koordinater og GR96-koordinater for de fire definerende fundamentalpunkter, som er blevet brugt til at beregne en *transformation* imellem de to koordinatsystemer.

Til sidst er der via transformationen beregnet nye GR96-koordinater for alle GNET-stationerne. Disse koordinater udgør den nye realisering af GR96, og benævnes *GR96(2021)*. I Bilag B ses de endelige GR96(2021)-koordinater for de definerende GNET-stationer.

GNET gør det som nævnt i indledningen muligt at opmåle en koordinat direkte i GR96(2021) uden at skulle opstille basestationer i et af REFGR-punkterne. Derudover er transformationen blevet kombineret med ITRF2020-modellen for den tektoniske pladebevægelse (*Altamimi et al.*, 2023), så man i fremtiden også kan beregne GR96(2021)-koordinater ud fra IGS20-koordinater med vilkårlig epoke.

I afsnittet om Transformationer behandles transformationen til GR96(2021) og der gives et estimat på usikkerheden forbundet ved dens brug. I det følgende estimeres måleusikkerheden ud fra resultaterne af den netværksberegning som er blevet foretaget.

Nøjagtighed af GR96(2021)

Nøjagtigheden af GR96(2021) er påvirket af både GNET-stationernes egenbevægelse og af generel måleusikkerhed. Egenbevægelsen er den dominerende faktor, og skyldes landhævning af det grønlandske grundfjeld som følge af den smeltende iskappe. Det er primært den vertikale komponent som påvirkes (se Figur 5), men der er også en vis horisontal effekt.

Over tid vil egenbevægelsen langsomt bevirke, at stationerne bevæger sig væk fra deres beregnede koordinater. Egenbevægelserne varierer meget fra sted til sted, og afhænger bl.a. af afstanden til større gletsjere, hvilket gør dem svære at korrigere for. Derfor vil der i fremtiden, når nøjagtigheden er blevet tilstrækkeligt forringet, opstå behov for endnu en nyrealisering af GR96.

GNET-stationerne og fundamentalpunkterne er blevet opmålt igennem flere døgn, og det er derfor muligt at beregne daglige koordinater for hver

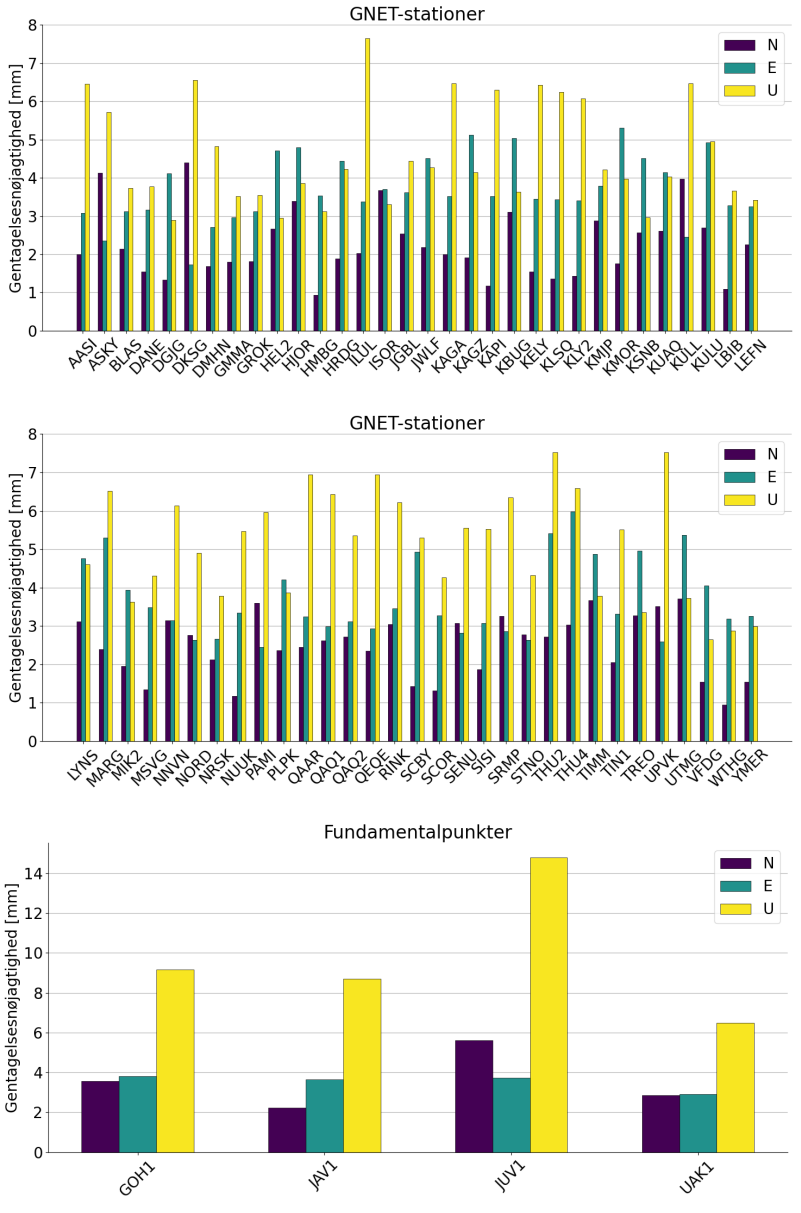


Figur 2: GNET-stationen HEL2 oplever stor landhævning pga. Helheim gletsjeren i baggrunden. Det gør den værdifuld til klimaforskning, men mindre god som geodætisk referencestation.

station. Sammenlignes de daglige koordinater med den endelige koordinat, får man således et mål for hvor meget datakvaliteten svinger fra dag til dag.

Dette kaldes *gentagelsesnøjagtigheden*, og skal fortolkes som usikkerheden af koordinater der bestemmes på samme måde, dvs. ud fra ca. én dags opmålingstid. I Figur 3 vises gentagelsesnøjagtighederne for GNET-stationerne og fundamentalpunkterne.

Generelt er gentagelsesnøjagtighederne på under 5 mm i planen. Vertikalretningen er som forventet mere upræcis. I gennemsnit ligger værdierne for GNET-stationerne på 2,4 mm, 3,7 mm og 4,9 mm i hhv. (N) nord, (E) øst og (U) op-retningerne. For de 4 fundamentalpunkter er gentagelsesnøjagtigheden sammenlignelig med GNET. Derudover skal man som nævnt



Figur 3: Gentagelsesnøjagtigheder for GNET-stationerne ved 2021-kampagnen.

være opmærksom stationernes egenbevægelse som fører til at usikkerheden øges med tiden.

Transformationer

I forbindelse med overførelsen af den primære GR96-realisering fra REFGR til GNET, er der bestemt et sæt af transformationsparametre, som kan bruges til at transformere koordinater fra IGS20 epoke 2021-08-14 til GR96(2021). Parametrene kan ses i Tabel 3.

I tabellen vises også de 3 rotationshastigheder for den nordamerikanske del af ITRF2020-plademodellen (*Altamimi et al.*, 2023), som gør det muligt at transformere fra en vilkårlig IGS20 epoke. Rotationshastighederne svarer til en bevægelse på ca. 20 mm/år i nordvestlig retning.

T_x	-0.30031	m
T_y	-1.17512	m
T_z	-0.30654	m
R_x	0.041614	”
R_y	-0.026303	”
R_z	-0.011214	”
s	-0.01626	ppm
$\dot{R}_x$	0.000045	”/år
$\dot{R}_y$	-0.000666	”år
$\dot{R}_z$	-0.000098	”/år
t_0	2021.6164	år

Tabel 3: Øverst: De 7 transformationsparametre fra IGS20 epoke 2021,6164 til GR96(2021). Nederst: De 3 rotationshastigheder for den nordamerikanske del af ITRF2020-plademodellen samt referenceepoken t_0. Bemærk, at fortegnene på de 6 rotationsparametre her følger den såkaldte *coordinate frame* konvention.

Transformationen er en såkaldt *Helmert* transformation. Dette er en almindelig type geodætisk transformation, og tager højde for den *lineære deformation* som er sket i Grønland mellem 1996 og 2021, herunder pladebevægelserne. Dog kan der ikke tages højde for ikke-lineær deformation, som i særlig høj grad forekommer i Grønland, pga. landhævning som følge af isafsmeltning. Den ikke-lineære deformation viser sig derfor som usikkerhed i transformationen.

Helmert-transformation foretages via formlen:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{GR96} = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + (1 + s \cdot 10^{-6}) \cdot \begin{bmatrix} 1 & R_z & -R_y \\ -R_z & 1 & R_x \\ R_y & -R_x & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{IGS20} \quad (1)$$

hvor T_i angiver de tre translationsparametre (i m), s angiver skalafaktoren, og R_i angiver de tre rotationsparametre (i radianer). Bemærk derfor at rotationsparametrene fra Tabel 3 skal omregnes fra buesekunder til radianer inden indsættelse i formlen.

Desuden skal man være opmærksom på, at der findes to forskellige, og lige udbredte, konventioner for rotationsmatricen. Konventionerne fortæller om rotationerne om de tre akser regnes med eller imod urets retning. Parametrene i Tabel 3 og Ligning 1 følger *coordinate frame* konventionen, som roterer med urets retning. Den modsatte konvention kaldes *position vector*. For mere information om Helmert transformation, se *PROJ contributors* (2025).

For at tage højde for pladebevægelsen som er sket siden 2021-08-14 skal rotationsparametrene korrigeres:

$$\hat{R}_i = R_i + \dot{R}_i \cdot (t - t_0) \quad (2)$$

hvor $\hat{R}_i$ er de korrigerede rotationsparametre, $\dot{R}_i$ er rotationshastigheden, $t_0 = 2021.6164$ er referenceepoken og t er den epoke som man transformerer fra.

I praksis kan man kontrollere implementeringer af transformationer til og fra IGS20 og GR96(2021) med nedenstående testdatasæt. Koordinaterne i Tabel 5 er frembragt ved indsættelse af tallene fra Tabel 4 i Ligning 1 og 2. Bemærk at der er givet to eksempler, hvor pladebevægelsen hhv. lægges til (2015) og fjernes (2025), for at nå epoke 2021-08-14.

Station	X [m]	Y [m]	Z [m]	t [år]
NORD	895580.4064	-267928.2044	6288177.8643	2015.2726
QAQ1	2170941.9166	-2251830.0096	5539988.4575	2015.2726
SCOR	1982095.8718	-798821.0025	5989464.6285	2015.2726
THU2	538093.3222	-1389088.0968	6180979.3167	2015.2726
UPVK	1055127.6521	-1571854.5191	6070450.3056	2015.2726
NORD	895580.1783	-267928.2371	6288177.9353	2025.2726
QAQ1	2170941.7270	-2251830.0596	5539988.5565	2025.2726
SCOR	1982095.6578	-798821.0396	5989464.7055	2025.2726
THU2	538093.0985	-1389088.1498	6180979.3846	2025.2726
UPVK	1055127.4295	-1571854.5733	6070450.3865	2025.2726

Tabel 4: IGS20 koordinater som ved transformation til GR96(2021) skal give tallene i Tabel 5.

Station	X [m]	Y [m]	Z [m]	t [år]
NORD	895580.7784	-267928.0692	6288177.4133	2015.2726
QAQ1	2170942.2896	-2251829.9266	5539988.2797	2015.2726
SCOR	1982096.2214	-798820.8628	5989464.1725	2015.2726
THU2	538093.7461	-1389087.9832	6180979.1304	2015.2726
UPVK	1055128.0651	-1571854.3982	6070450.1024	2015.2726
NORD	895580.7546	-267928.0840	6288177.4560	2025.2726
QAQ1	2170942.2896	-2251829.9542	5539988.3135	2025.2726
SCOR	1982096.2046	-798820.8774	5989464.1872	2025.2726
THU2	538093.7285	-1389088.0202	6180979.1839	2025.2726
UPVK	1055128.0460	-1571854.4341	6070450.1526	2025.2726

Tabel 5: GR96(2021) koordinater som kan bruges som facit. Bemærk at dette er et testdatasæt. De definerende GR96(2021)-koordinater kan ses i Bilag B.

Nøjagtighed af transformationen

De første 7 transformationsparametre i Tabel 3 er bestemt ved en mindste kvadraters tilpasning af Ligning 1 til 7 punkter. Der er anvendt de 4 fundamentalpunkter, samt de 3 GNET-stationer KELY, KULU og THU2. Residualerne for transformationen ses i Tabel 6. Som ved gentagelsesnøjagtighederne, er op-retningen væsentligt mere upræcis.

Station	Op	Plan	Total
KELY	-66	19.3	68.7
KULU	-15.2	27	31
THU2	31.7	12.6	34.1
GOH1	-41.8	13.7	44
JAV1	48.3	4.75	48.5
JUV1	-24.9	8.99	26.5
UAK1	67.8	22.3	71.4
RMSE	46.1	12.09	28.40

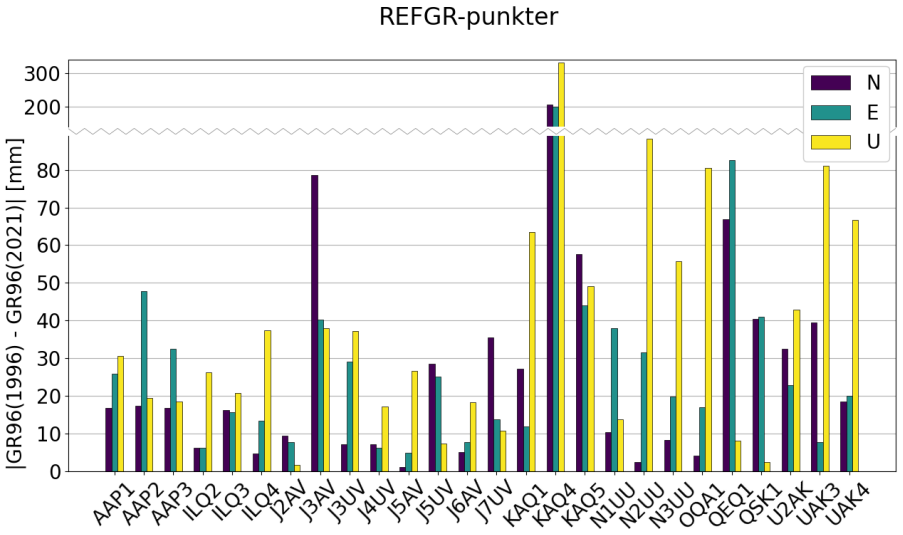
Tabel 6: Residualer i mm ved bestemmelsen af transformationsparametre.

Transformationen mellem IGS20 og GR96(2021) er blevet valideret mod de REFGR-stationer som blev målt i 2021-kampagnen (se Figur 1). Valideringspunkterne er et bud på et mere "realistisk" målescenarie, hvor man blot har ca. 1 times data, i modsætning til en hel dags data for GNETs gentagelsesnøjagtigheder. Figur 4 viser hvor godt de transformerede GR96(2021)-koordinater passer med punkternes oprindelige GR96(1996)-koordinater. En væsentlig outlier er KAQ4, som højst sandsynligt skyldes dårlige data i 2021.

RMS af værdierne i Figur 4 er vist i Tabel 7. Dette skal tolkes som usikkerheden forbundet med brug af transformationen. Som forventet passer valideringspunkterne dårligere end tilpasningspunkterne i Tabel 6, men er ellers næsten sammenlignelige. Dette indikerer at tilpasningen af transformationsparametrene er tæt på at være så god som den kan blive, givet måleusikkerheden på data.

	Op	Plan	Total
Med KAQ4	77.1	49.49	60.14
Uden KAQ4	42.63	30.19	34.83

Tabel 7: RMS i mm over forskellene mellem GR96(2021) og GR96(1996) for de 26 valideringspunkter. Bemærk den store forskel når outlieren KAQ4 udelades.



Figur 4: Validering af transformerede GR96(2021) koordinater mod GR96(1996). Figuren viser de absolutte afvigelser mellem koordinaterne. Bemærk den brudte y-akse der viser outlieren KAQ4.

Dog har det af praktiske årsager ikke været muligt at validere transformationen overalt i Grønland. Man skal derfor være opmærksom på, at transformationen kan passe dårligere når man bevæger sig væk fra tilpasnings- og valideringspunkterne.

I Figur 5 vises landhævningshastigheden for GNET-stationerne. Det ses at der er stort set ingen områder i Grønland, som ikke er udsat for signifikant landhævning. Stationen i Nuuk er blandt de 3 laveste, med 1,8 mm/år.

Det er desuden kendt, at ITRF2020-plademodellen som anvendes i transformationen (se Tabel 3), er dårligt bestemt i Grønland. Figur 6 viser et kort over GNET-stationernes hastigheder i planen, efter korrektion for pladebevægelsen. Bevægelserne domineres af et vestligt/nordvestligt signal på 2-5 mm/år, hvilket er signifikant i forhold til plademodellens ca. 20 mm/år. Signalet kan ikke alene forklares af stationernes egenbevægelse. Det må derfor konkluderes at der er et væsentligt bias i plademodellen over Grønland.

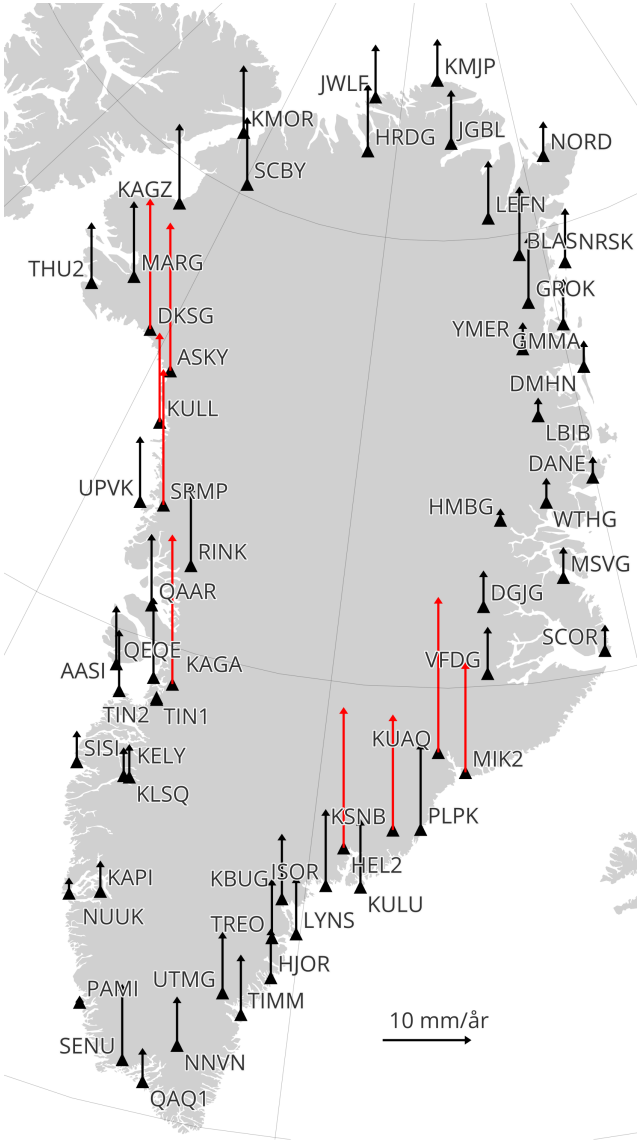
Da transformationen, som nævnt, hverken kan tage højde for ikke-lineær deformation eller for afvigelsen i plademodellen, vil transformationens usikkerhed øges, jo længere væk fra 2021 man transformerer.

Transformation fra tidligere koordinatsystemer

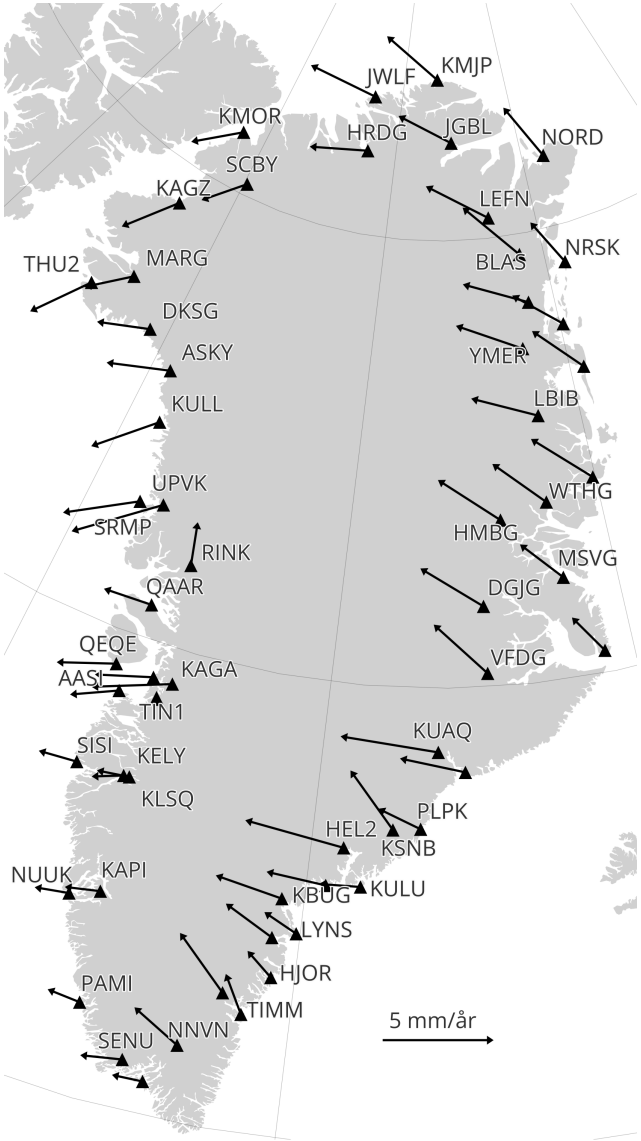
Før GR96 fandtes 3 gamle referencesystemer (Qoornoq, Ammassalik og Scoresbysund datum) som primært var bestemt ved terrestrisk triangulation. Nøjagtigheden af disse 3 referencesystemer var signifikant værre end hvad man kunne opnå med GPS, hvorfor de alle blev erklæret forældede og erstattet af GR96.

Dog genanvendte man ved indførslen af GR96 de gamle observationer i en ny beregning som også inkluderede de nye GPS-observationer. Derved kunne man bestemme GR96-koordinater for triangulationspunkterne, samtidig med at præcisionen af deres koordinater blev forbedret betydeligt.

I denne forbindelse bestemte man også transformationer fra de gamle systemer til GR96. Flere detaljer om de gamle koordinatsystemer kan ses i Bilag A sammen med transformationsparametrene som ses i Tabel 11.



Figur 5: Vertikale hastigheder af GNET-stationerne. Stationer med landhævning på over 10 mm/år er fremhævet med rødt. Hastighederne er baseret på data fra *Berg et al.* (2024).



Figur 6: Horisontale hastigheder af GNET-stationerne efter korrektioner for ITRF2020-plademodellen. Hastighederne er baseret på data fra *Berg et al.* (2024).

Geodætiske registre

Referencesystemet GR96 og dets realiseringer, projektioner og transformationer er registreret i EPSG-registret. En oversigt over de eksisterende EPSG-koder relateret til GR96 ses i Tabel 8 og Tabel 9.

Kode	Navn	Type
EPSG:4908	GR96	Geocentrisk (Ensemble)
EPSG:4909	GR96	Geografisk 3D (Ensemble)
EPSG:4747	GR96	Geografisk 2D (Ensemble)
EPSG:10954	GR96(1996)	Geocentrisk
EPSG:10955	GR96(1996)	Geografisk 3D
EPSG:10956	GR96(1996)	Geografisk 2D
EPSG:10957	GR96(2021)	Geocentrisk
EPSG:10958	GR96(2021)	Geografisk 3D
EPSG:10959	GR96(2021)	Geografisk 2D
EPSG:10651	GR96 + GLMSL(2023) dybde	Kombineret
EPSG:10652	GR96 + GLLAT(2023) dybde	Kombineret
EPSG:8349	GR96 + GVR2000 kote	Kombineret
EPSG:8350	GR96 + GVR2016 kote	Kombineret
EPSG:3178	GR96 / UTM zone 18N	Kartesisk 2D (Projektion)
⋮	⋮	⋮
EPSG:3189	GR96 / UTM zone 29N	Kartesisk 2D (Projektion)

Tabel 8: Koordinatsystemer i EPSG relateret til GR96.

Overordnet kan man anvende koderne EPSG:4908, 4909 og 4747 til GR96-koordinater med en uspecificeret realisering. I EPSG-termer markerer disse koder et såkaldt datumensemble, og repræsenterer samlingen af alle GR96-realiseringer.

Ønskes en højere nøjagtighed kan man med fordel anvende koderne EPSG:10954-10959, for at specificere hvilken realisering som koordinaten er givet i.

Derudover findes også en række koordinatsystemer, som kombinerer GR96 med forskellige højdereferencesystemer. Disse gør det muligt at lave reversible transformationer mellem dybder ift. LAT og MSL eller mellem højder over geoiden og ellipsoiden.[6]

Kode	Navn
EPSG:10960	ITRF2020 to GR96(2021)
EPSG:10961	Ammassalik 1958 to GR96
EPSG:10962	Qornoq 1927 to GR96
EPSG:10963	Scoresbysund 1952 to GR96

Tabel 9: Transformationer relateret til GR96.

Desuden dækkes Grønland af 12 UTM-zoner fra zone 18N til 29N. Projektioner af GR96-koordinater til disse UTM-zoner kan registreres med EPSG-koderne fra 3178-3189. I praksis anvendes dog ikke alle zonerne 18 til 29. I stedet anvendes ofte kun fx zone 24 (EPSG:3184) da der matematisk set ikke er noget i vejen for at gå uden for en zones definitionsområde, således at et punkt i fx zone 20 angives med koordinater der refererer til zone 24. Blot skal man være opmærksom på den forhøjede afstandskorrektion når man går uden for en UTM-zones definitionsområde.

Governance

KDS er myndighed for geodæsi, og dermed for GR96. Så KDS er ansvarlig for valg af nyrealiseringer. Ved beslutning om nyrealisering inddrages holdninger fra først og fremmest det grønlandske selvstyre og fra aktører i landmålingsbranchen. I øvrigt er alle interessenter velkomne til at bidrage med relevant information om eventuelle fejl og mangler via gdl@kds.dk.

[6] For detajler om modellerne for latoide (LAT), middelhavniveau (MSL) og geoiden i Grønland, se hhv. *KDS* (2024a), *KDS* (2024b) og *SDFI* (2023).

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).

Bilag A

Yderligere detaljer om REFGR

Punktmarkering

REFGR-punkterne er hovedsageligt etableret som en messingbolt med gevind monteret i klippe eller som en messingplade med bolt monteret i klippe (se Figur 7). På førstnævnte kan GPS-antennen skrues direkte på bolten, hvilket gør GPS-opmålingen både nem og sikker, mens der ved messingpladen skal anvendes et stativ.

De fire fundamentalpunkter er etableret på en særlig måde; de er etableret som en messingplade med bolt i klippe og ovenover er der etableret et permanent stålstativ på 1,2 m hvorpå GPS-antennen kan monteres. Stativet er boltet i klippen (se Figur 7). Disse punkter er etableret i Narsarssuaq, Nuuk, Ilulissat og Upernavik.

Observationstider

Under den første opmålingskampagne i 1996 blev de fire ovennævnte punkter med stålstativ målt i ca. 13 døgn, så de betragtes som primære punkter, som danner basis for opmålingen af resten af REFGR-punkterne. Ved opmåling af nye punkter de efterfølgende år, har man så vidt muligt igen taget udgangspunkt i et eller flere af de primære punkter og ellers taget udgangspunkt i andre opmålte punkter. På denne måde er nettet af punkter gradvist blevet udvidet.

Ikke alle punkter er målt i lige lang tid. I hver by eller bygd er der valgt et hovedpunkt, som er observeret 3-6 døgn, da de punkter det skal knyttes til kan ligge op til flere hundrede km væk. Til hovedpunktet måltes nogle korte tilknytninger (max 5 km) på 4-10 timers varighed.

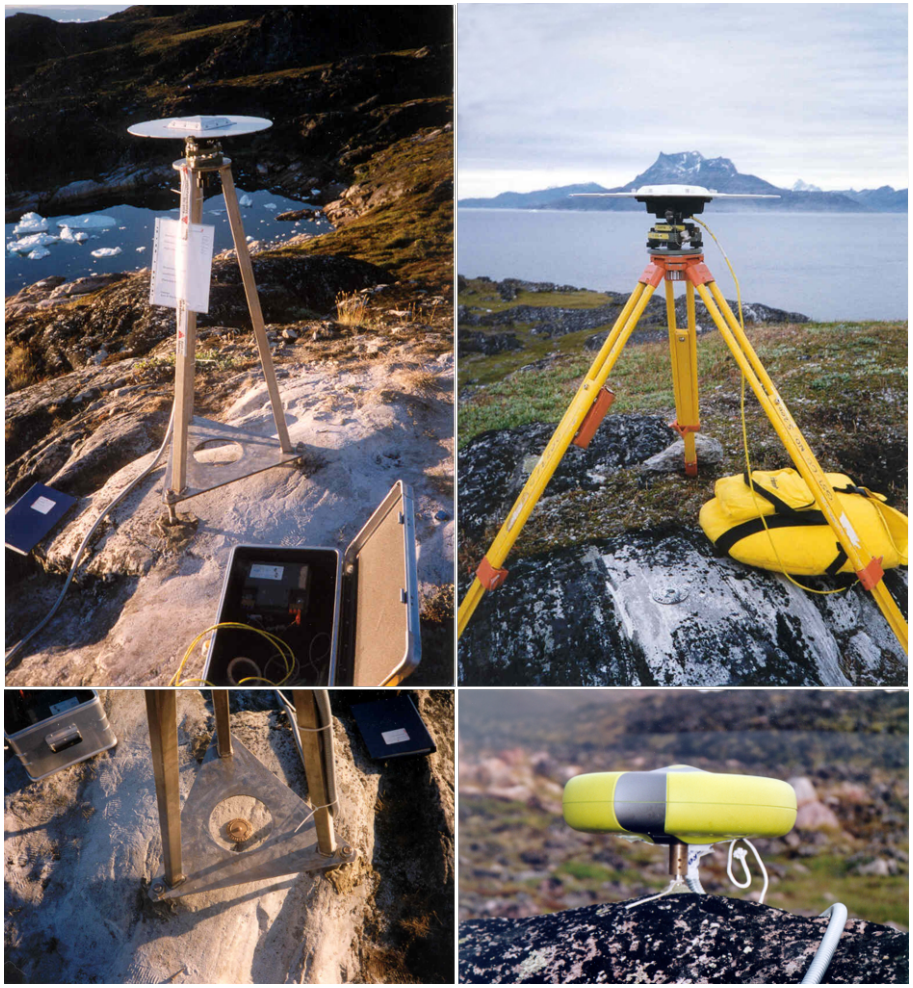
For at nå ud til alle bygderne under den intensive opmålingskampagne i 2000 var det nødvendigt at afkorte observationstiden, dvs. basislinier med længder på 20-200 km er målt mellem 5 og 12 timer.

Historisk kontekst

Længe før man begyndte at anvende GPS til geodætisk opmåling foretog man hovedsageligt terrestrisk triangulation. Gennem tiderne er der således opmålt ca. 6000 punkter med denne metode (se Figur 8).

I nogle få primære punkter i triangulationsnettet blev der desuden foretaget astronomiske observationer. Formålet med disse var at fastlægge referencesystemets placering og orientering i forhold til Jordens centrum.

Tabel 10 giver et overblik over hvor og hvornår de gamle målinger er udført.



Figur 7: REFGR punktmarkeringer. Til venstre ses markeringen af fundamentalpunkterne.



Figur 8: Gamle trianguleringspunkter og referencesystemers dækningsområde.

Referencesystem	Dækningsområde	Observationsår	Metode
Qoornoq datum	Syd- og vestkyst	1926-1927	Astronomisk
		1926-1980'erne	Triangulation
Ammassalik datum	Østkyst	Sidst i 1940'erne	Triangulation
Scoresbysund datum	Østkyst	Sidst i 1940'erne	Triangulation

Tabel 10: Forældede referencesystemer i Grønland og deres primære opmålingsmetoder.

Qoornoq datum 1927 anvendtes således kun på syd- og vestkysten, mens Ammassalik og Scoresbysund datum kun anvendes i de respektive lokale områder på østkysten.

For at de gamle målinger fortsat skulle have værdi, blev punkterne i REFGR udvalgt således, at 99 af dem er gamle triangulations-punkter, som ligger jævnt fordelt langs kysten.

Når disse punkter måles med GPS og beregnes i GPS-netværket får de GR96-koordinater, som er langt mere nøjagtige end de oprindelige koordinater baseret på triangulationen.

GR96-koordinaterne for de 99 punkter introduceres i en genberegning af triangulationspunkterne, og dermed udbredes GR96 til stort set alle de gamle punkter samtidig med, at koordinaterne for disse punkter forbedres væsentligt. Kun visse yderområder og områder, der er isolerede fra det store sammenhængende netværk, blev det nødvendigt at ekskludere fra genberegningen.

Derudover beregnede man også Helmert-transformationer fra de gamle systemer til GR96. Parametrene ses i Tabel 11.

Da de gamle referencesystemer kun opererer med længde- og breddegrader, og altså ikke højde over ellipsoiden, så forudsætter transformationerne at man ignorerer ellipsoidehøjden når de bruges til transformation mellem geografiske koordinater. Desuden, så refererer de gamle systemer til den forældede *Hayford*-ellipsoide, imens GR96 refererer til GRS80-ellipsoiden, som skal bruges når man konverterer fra geografiske til geocentriske koor-

	Qoornoq	Ammassalik	Scoresbysund
T_x	197.8579 m	308.9415 m	218.2330 m
T_y	146.5947 m	136.2020 m	270.6151 m
T_z	-108.8501 m	986.3661 m	253.1391 m
R_x	-0.85735"	-3.87420"	0.26337"
R_y	0.36082"	3.77827"	-0.15733"
R_z	0.38626"	-7.61345"	-1.19862"
s	-8.356137 ppm	-171.673150 ppm	-59.923872 ppm
N	3881	34	628
σ	4.0 m	0.2 m	5.1 m

Tabel 11: Helmertparametre fra de tre gamle koordinatsystemer til GR96(1996) (*Karsten Engsager et al.*, 2007). N og σ angiver antal datapunkter hhv. usikkerheden ved brug af transformationen. Det skal bemærkes, at disse tre transformationer følger den såkaldte coordinate frame konvention.

dinater og vice versa.

Nøjagtighed af udbredelsen

Før introduktionen af GPS-baserede koordinater kunne de oprindelige koordinater fra triangulationsberegningerne have middelfejl på adskillige meter.

Efter genberegningen af triangulationsmålingerne med GPS-baserede koordinater som udgangspunkt er middelfejlen blevet meget mindre. Middelfejlen for de plane koordinater er mindre end 25 cm nær byer og bygder, mens den i yderområder og i Nordgrønland kan være op til 1 m.

Middelfejlen for højden over ellipsoiden som introduceres i genberegningen er ca. 5 cm i de fleste områder, men kan være op til 1 m visse steder.

De genberegnede koter har en middelfejl på ca. 0,5 m.

Bilag B

Definerende GR96(2021) koordinater for GNET-stationerne

Station	X [m]	Y [m]	Z [m]
ASKY	830041.9915	-1341716.8865	6159912.8582
BLAS	1069782.7920	-453538.6639	6250868.3671
DANE	1623660.7057	-597385.0083	6118614.2984
DGJG	1734706.6609	-995495.1777	6037702.3504
DKSG	716356.6360	-1329176.6582	6176684.7359
DMHN	1387317.8318	-468385.0587	6187027.9265
GMMA	1272562.4124	-454443.5736	6212987.8961
GROK	1181093.9842	-499004.7943	6228050.1944
HMBG	1586181.9889	-847976.5083	6100141.9165
HRDG	644573.3709	-633804.3479	6293307.3596
ISOR	2058326.0149	-1665307.5171	5783280.3380
JGBL	743649.0832	-446903.3695	6298426.3763
JWLF	541576.3466	-543846.1042	6310673.5934
KAGZ	493555.2923	-1100929.8801	6242074.9727
KAPI	1764211.4974	-2122831.1921	5730774.0467
KELY	1575559.2958	-1941827.8821	5848076.4220
KLSQ	1586032.8263	-1932258.2687	5848546.7593
KMJP	591676.5295	-389798.9639	6317492.7370
KMOR	433816.0280	-871142.5753	6282526.2614
KSNB	2044690.8933	-1462576.5292	5844021.3673
KULL	920855.8035	-1430371.0195	6126575.7646
KULU	2107682.6248	-1596883.6433	5784773.3196
LBIB	1426533.0951	-630751.0065	6165273.5085
LEFN	951249.1389	-470001.2344	6268879.8737
LYNS	2108478.0819	-1781678.9855	5730747.0459
MARG	584120.5649	-1293359.2142	6198090.8973
MIK2	2032023.6199	-1242876.2707	5897693.3440
MSVG	1783897.1663	-790993.3132	6052020.2558
NNVN	2152869.3872	-2145447.0318	5591017.2291
NORD	895580.7273	-267928.0604	6288177.2099
NRSK	1146861.1491	-366570.4861	6242816.6403
NUUK	1725034.8231	-2186716.4772	5718753.6277
PAMI	1942245.3210	-2287865.1574	5609207.9505
PLPK	2079880.5139	-1404664.7681	5844059.7160
QAAR	1279062.3794	-1678302.2820	5998840.0584
QAQ1	2170942.2888	-2251829.9473	5539988.3065
QEQE	1347220.3536	-1822147.7580	5942059.4707
RINK	1254672.7214	-1549057.4915	6039712.1774
SCBY	547956.8569	-933730.8898	6265058.2078
SCOR	1982096.2118	-798820.8684	5989464.1883
SENU	2104290.8954	-2267763.4274	5559681.0282

SISI	1484554.6450	-2018970.5966	5845650.5847
THU2	538093.7301	-1389088.0063	6180979.1742
TIMM	2182031.4502	-1984531.5932	5636567.2984
TIN1	1472584.3198	-1784050.3874	5924492.4100
TREO	2082987.6991	-1834790.6403	5723297.6073
UPVK	1055128.0524	-1571854.4238	6070450.1490
UTMG	2118494.4725	-1996816.0471	5657599.7483
VFDG	1871345.8757	-1072494.8656	5983619.3280
WTHG	1611820.6329	-728066.7785	6108624.8481
YMER	1268823.0706	-573597.3274	6204510.7135

Tabel 12: GR96(2021) koordinater til de definerende GNET-stationer. Der henvises til GNETs hjemmeside for yderligere oplysninger samt for GR96(2021)-koordinater til de øvrige, ikke-definerende GNET-stationer.

Bilag C

Definerende GR96(1996) koordinater for REFGR-punkterne

Station	X [m]	Y [m]	Z [m]
THU1	538981.4378	-1388714.7772	6181005.1119
KELY	1575559.2989	-1941827.9162	5848076.4816
THU2	538093.7369	-1389087.9912	6180979.1444
QAQ1	2170942.2836	-2251829.9231	5539988.2636
UAK1	2165024.8115	-2194858.6667	5564941.4927
U2AK	2164509.0012	-2198006.5050	5563831.3070
JFR1	1943631.5878	-2289354.2516	5608111.6089
GOH1	1725955.5061	-2183691.9322	5719571.0715
N1UU	1725989.5293	-2187930.5028	5717958.1304
N2UU	1725491.2846	-2186870.4154	5718560.5136
N3UU	1724621.8800	-2187244.0682	5718623.7980
QOR1	1724447.7732	-2144960.4576	5735907.1448
JHS1	1484496.4739	-2018662.7354	5845740.9917
JAV1	1424785.4899	-1765506.5734	5941094.9187
J2AV	1424750.6770	-1765696.3336	5941033.6346
J3AV	1424751.9239	-1765688.5115	5941035.7968
UMD1	1299734.2913	-1671305.5429	5996373.6086
UMD4	1299736.8131	-1671295.9895	5996374.7376
JUV1	1055186.7408	-1572417.3914	6070264.7336
J2UV	1054299.6039	-1571944.7124	6070423.4672
KULU	2107682.6112	-1596883.6310	5784773.3446
KUL1	2107677.9132	-1596889.0490	5784770.0006
NAN1	2242042.3462	-2259731.1311	5508524.6187
NAN2	2241225.8435	-2260585.4483	5508503.4690
NAN3	2241727.6673	-2261043.7468	5508095.0714
NAN4	2242182.9725	-2260397.4102	5508176.6322
QAQ0	2172067.3816	-2250709.2096	5540100.6608
QAQ2	2171036.9339	-2251707.0494	5539997.6218
NRQ1	2156320.8716	-2238191.2911	5551102.5827
NRQ2	2157650.2323	-2237562.2229	5550860.5910
NRQ3	2157652.5947	-2237564.9558	5550858.6545
NRQ4	2158603.1318	-2237952.0921	5550367.0232
NRQ5	2156804.3750	-2238019.3117	5550971.8622
SCOB	1982098.9120	-798842.3510	5989460.9090
SCO1	1982184.5020	-798994.0266	5989395.9698
SCO3	1981995.5364	-798881.1065	5989480.9995
JFR2	1943632.0264	-2289354.0134	5608111.5772
JFR3	1947611.7424	-2292785.1894	5605328.2130
MAQ3	1605227.1692	-2123414.5947	5776805.1695
MAQ2	1605326.3602	-2121865.4746	5777298.4318
MAQ4	1604821.6256	-2122243.3606	5777364.0165
MAQ5	1605332.3076	-2121823.6539	5777316.5334
JHS2	1483480.5214	-2019161.7890	5845800.6055

SFJ1	1583704.2490	-1933183.4073	5848771.0934
SFJ2	1582486.4370	-1933642.2758	5848735.7620
KAT1	1407734.4295	-1899362.9093	5903996.7094
KAT3	1407346.4647	-1899167.4711	5904119.3754
KAT2	1407603.9244	-1899975.1191	5903809.0479
KAT4	1407410.9296	-1899700.7607	5903934.4169
KAT5	1407850.9403	-1899665.0850	5903836.0266
KAT6	1407688.8172	-1899630.7278	5903928.2083
AST1	1402489.8862	-1852295.4762	5920069.4668
AST4	1402729.1933	-1852768.5060	5919858.2695
AST5	1401837.3048	-1852243.8791	5920207.5642
AST2	1385738.2448	-1875161.9467	5916842.3104
AST3	1404022.1484	-1849847.8542	5920523.5771
QAN1	1448771.9941	-1799988.6851	5925046.5109
QAN2	1448629.4334	-1800862.5271	5924785.7716
J5AV	1424729.3608	-1763685.5432	5941646.2469
J6AV	1425323.6000	-1766090.6080	5940763.8789
J7AV	1425248.2887	-1765774.7692	5940889.0069
JGO1	1347219.9837	-1822148.6768	5942057.5092
QEQ1	1347300.3059	-1822289.3882	5941985.5856
UMD2	1299734.7504	-1671305.0312	5996373.6870
QAA1	493579.2964	-1298064.2890	6204336.1990
ASTR	537556.3638	-1388799.3247	6181077.4771
DUND	536125.6075	-1387150.3190	6181787.2860
IVI1	2054258.1059	-2294898.5291	5566514.6464
IVI2	2055311.5520	-2290581.8655	5567890.0853
IVI3	2054927.4812	-2290402.6674	5568076.4200
IVI4	2057044.8036	-2291235.3829	5567565.9195
MAQ1	1605287.1316	-2121549.7577	5777413.2143
AMM1	2092263.8793	-1612594.3382	5786134.8611
AMM2	2092023.9115	-1612401.9931	5786227.5106
AMM3	2091274.4439	-1612452.1688	5786438.3677
AMM4	2090668.4047	-1612421.9818	5786617.8184
AMM5	2091747.0267	-1612286.8778	5786310.9098
AMM6	2091863.2453	-1612083.9020	5786279.7972
APL1	2278142.6300	-2222062.9589	5509028.5354
APL2	2278454.4065	-2222070.1707	5508920.7116
NKJ1	2273720.6860	-2247181.6597	5500702.1835
NKJ2	2273376.7698	-2247401.6350	5500792.6355
TAQ1	2254577.5157	-2240429.0336	5511271.0425
TAQ2	2254843.9302	-2240070.9763	5511292.3633
QAQ3	2170806.1162	-2251136.2060	5540314.4742
EQA1	2182675.8778	-2253015.0427	5534853.5683
EQA2	2182677.9341	-2253629.7806	5534610.5499
QSM1	2122540.0692	-2288928.7631	5543446.1031
QSM2	2122220.2823	-2288818.5028	5543641.1810
SAL1	2183883.1702	-2263241.6239	5530262.1958
SAL2	2183647.3107	-2263539.1533	5530215.4058
ALP1	2206814.3260	-2250972.3013	5526195.9899
ALP2	2206867.9557	-2251173.8834	5526082.8111
AMS1	2205055.8696	-2234529.7058	5533520.7497
AMS2	2205304.2567	-2235041.4182	5533241.2134
NRQ6	2156817.8435	-2238188.7365	5550891.5627
UAK3	2165393.7384	-2197486.9051	5563718.8372
UAK4	2165183.1116	-2198183.6412	5563546.1119
IGA1	2176095.8360	-2209288.4668	5555025.2213
IGA2	2176957.2776	-2208924.7167	5554721.6978
QSK1	2162011.3049	-2201489.5056	5563504.5853
JFR4	1943234.2668	-2289025.1448	5608366.5197
QTT1	1834385.5752	-2239324.9975	5664408.0998
QTT2	1834556.4727	-2239110.7810	5664463.4488
KAP1	1763829.1131	-2122482.4062	5730945.4634
KAP2	1764170.9772	-2122830.1124	5730780.6514
ATA1	1664186.9157	-2152184.1459	5749508.5505
ATA2	1669614.0064	-2150515.8661	5748593.2659
ILQ1	1433732.2294	-1778075.5166	5935185.1367

ILQ2	1434333.2096	-1778086.4870	5935077.8038
ILQ3	1434006.5712	-1778101.2128	5935120.3901
ILQ4	1433654.2021	-1777755.0593	5935323.6963
ARS1	2045062.7014	-2307312.1792	5564745.9763
ARS2	2045133.0441	-2307158.4693	5564829.7131
QQT1	1367178.7768	-1710852.2663	5970312.9984
QQT2	1367994.4490	-1707691.8637	5971043.2019
QQT3	1367991.5853	-1707841.2285	5971005.1202
IKA1	1440251.4671	-1832022.6643	5917296.2484
IKA2	1440334.9859	-1832265.0833	5917224.0860
IKA3	1439434.5907	-1833770.9643	5917059.4845
QAN3	1448275.5569	-1801764.2136	5924600.6371
QAN4	1448735.0603	-1800013.8166	5925047.5503
IGF1	1427003.0139	-1905804.0036	5897327.8436
IGF2	1427500.9586	-1905794.4514	5897214.8829
N4UU	1725793.9518	-2187842.9420	5718051.0201
SFJ3	1576414.9744	-1943146.0093	5847273.4298
SFJ4	1575558.3413	-1941849.3259	5848069.0543
JHS3	1483844.4445	-2018816.6483	5845827.0730
JHS4	1484592.7055	-2018386.6124	5845816.0914
JHS5	1485857.0446	-2017564.7545	5845801.1802
JHS6	1485712.0774	-2017839.6326	5845771.7254
JHS7	1483476.4479	-2019164.8227	5845800.3574
JHS8	1484675.6616	-2019004.2858	5845594.2064
JHS9	1484594.3441	-2018196.7037	5845881.9374
JHSA	1483812.6506	-2017422.7006	5846312.6354
ITI1	1512204.6930	-2043944.8308	5829901.6791
ITI2	1512615.8812	-2043648.4069	5829907.1424
SFN1	1515347.7924	-2000891.2519	5843949.7899
SFN2	1515182.6321	-2000959.7005	5843977.4710
KAM1	1563506.6757	-2101161.9403	5796222.9512
KAM2	1564360.9523	-2101093.2688	5796033.2931
AST6	1402703.4098	-1851482.5959	5920279.5559
AST7	1402229.4484	-1851309.5712	5920410.5245
ATT1	1424755.8398	-1934241.4583	5888644.2944
ATT2	1424404.2941	-1934191.2365	5888746.1075
ATT3	1424701.5489	-1934317.6684	5888642.5264
ATT4	1424709.7276	-1933987.5633	5888742.1865
IKS1	1418396.6808	-1913322.6311	5896949.1252
IKS2	1418593.2537	-1913165.7056	5896984.6420
IKS3	1418562.9044	-1913342.9300	5896899.1187
IKS4	1418421.6126	-1913362.2707	5896926.7013
NQK1	1432042.5906	-1890647.6279	5900939.3875
NQK2	1432052.5046	-1890643.6673	5900938.8488
NQK3	1432203.3093	-1891075.5720	5900762.4417
NQK4	1432350.1918	-1890472.0371	5900949.5682
NQK5	1432271.1461	-1890842.7878	5900843.2260
KIT1	1384734.6779	-1845343.0988	5926350.3449
KIT2	1384612.2349	-1845355.9455	5926376.4834
OQA1	1420184.0574	-1754081.0467	5945514.7492
OQA2	1419692.7702	-1753720.2489	5945774.8753
OQA3	1419985.1468	-1753810.4702	5945655.5871
OQA4	1420104.1070	-1753956.5969	5945566.4407
KLK1	1319381.1245	-1812373.1575	5951237.0820
KLK2	1319444.8899	-1812580.7223	5951159.3008
KLK3	1319502.9393	-1812171.4351	5951244.8026
KLK4	1319485.6706	-1812752.2630	5951092.1643
AKU1	1417076.0780	-1835872.4724	5921701.5119
AKU2	1417097.5285	-1835682.9947	5921745.7707
AKU3	1417423.0791	-1835380.6841	5921765.0687
AKU4	1417076.9108	-1835692.0499	5921747.5310
SQQ1	1347623.5429	-1722349.3355	5971454.1523
SQQ2	1346906.1260	-1722149.8597	5971731.1300
SQQ3	1348155.3176	-1722467.3496	5971299.5156
SQQ4	1347876.4169	-1722146.8200	5971457.1883
SQQ5	1348442.5207	-1722083.5767	5971346.8263

UMD3	1299379.8428	-1671130.3605	5996538.4823
IKE1	1335703.3820	-1666552.9465	5989827.9398
IKE2	1336623.6355	-1666379.7903	5989754.6337
IKE3	1335040.1504	-1666381.7843	5990011.4169
QST1	1278960.0831	-1678236.7686	5998869.2519
QST2	1279632.3752	-1678782.2589	5998634.0916
QST3	1281051.3009	-1678156.1314	5998469.9487
UKK1	1282205.6294	-1634618.5341	6010140.1786
UKK2	1282049.0959	-1634353.0494	6010256.5448
UKK3	1282044.6895	-1634185.5570	6010331.1341
SAA1	1305207.0339	-1648442.8017	6001453.7718
SAA2	1305416.0704	-1648653.7941	6001380.8455
ILL1	1222421.8952	-1654956.6641	6017004.5183
ILL2	1222141.6237	-1655219.2311	6017006.5126
NIA1	1247270.7261	-1695580.3652	6000674.7094
J3UV	1054342.7319	-1571832.2198	6070460.3152
J4UV	1054317.3363	-1571902.7891	6070442.8097
KAQ1	1095569.5980	-1596687.0156	6056805.3034
KAQ2	1098641.1102	-1597625.1457	6056145.1812
KAQ3	1098640.2682	-1597623.5519	6056145.5044
KAQ4	1095777.2328	-1596889.0316	6056704.4742
KAQ5	1095776.7362	-1596887.1879	6056704.9701
AAP1	1062108.9790	-1552208.7641	6074150.9700
AAP2	1063978.7427	-1553715.5146	6073451.1115
AAP3	1063872.1456	-1553349.8348	6073577.3026
NUT1	1003850.7126	-1512574.7645	6093891.1166
NUT2	1003488.3073	-1512338.7919	6094016.9610
NUT3	1003757.0418	-1512363.2189	6093937.2188
TSS1	1022272.4768	-1519363.4673	6089174.9775
TSS2	1022528.8692	-1518998.1108	6089209.0232
TSS3	1022172.3525	-1518727.7186	6089366.3339
INN1	1034038.7181	-1533298.7059	6083753.1278
INN2	1033515.1152	-1533266.3067	6083801.1874
INN3	1033803.5970	-1533461.2245	6083727.5022
KLQ1	921037.7686	-1430627.6461	6126440.3192
KLQ2	921011.2842	-1430568.8177	6126464.7008
KLQ3	920936.7668	-1430342.5615	6126568.7774
NUS1	952450.7456	-1470216.5635	6112377.7491
NUS2	952463.7210	-1470151.6991	6112383.5823
NUS3	952392.7883	-1470185.7978	6112389.9056
NAJ1	1042481.8504	-1534796.5292	6081923.9770
NAJ2	1042608.5745	-1534411.4832	6081987.7955
TUS1	1038344.3263	-1548993.1074	6079164.5593
TUS2	1038373.6522	-1549734.5350	6078837.3703
UPK1	1109366.5037	-1616166.8214	6049138.9349
UPK2	1105759.6810	-1621529.5057	6048345.2193
UPK3	1109333.6077	-1616496.2251	6049053.8434
UPK4	1109417.4956	-1616102.7267	6049148.1735
NUG1	1213771.5843	-1622230.1553	6027560.8738
NUG2	1213339.8239	-1622790.0845	6027489.4364
NUG3	1213320.1183	-1622307.4307	6027628.8794
KGS1	1026756.2562	-1529482.2732	6086034.5439
SCO2	1982100.1399	-798825.6636	5989461.2432
UUN1	1988253.9139	-801558.7175	5987054.7794
UUN2	1988495.2632	-802369.5544	5986842.0704
NRI1	1947031.6339	-812345.6635	5999005.7316
NRI2	1947494.4858	-812353.2337	5998849.9439
ITR1	1979316.0390	-812978.7974	5988418.7906

ITR2	1979131.4672	-812979.7650	5988500.9126
NAP1	1646520.5779	-2136686.8388	5760295.7549
ISO1	2058217.2321	-1665485.2493	5783259.0362
ISO2	2058301.7037	-1665249.2360	5783299.6549
TIN1	2065237.4471	-1600985.0881	5798833.5012
TIN2	2065062.6101	-1600597.7062	5799025.6533
KUM2	2088731.5121	-1573850.5115	5797908.3176
KUM1	2088729.5438	-1573850.1323	5797909.2740
SML1	2102091.1090	-1548515.3097	5799850.3037
SML2	2101911.6677	-1548697.2707	5799850.4397
KUL2	2107656.6601	-1597963.2683	5784564.3510
KUL3	2107682.2216	-1597985.4853	5784549.6375
AAP4	1064062.1006	-1554382.3522	6073222.2773
J5UV	1054582.3042	-1572418.7996	6070283.0514
J6UV	1054783.0250	-1571940.3166	6070374.2126
J7UV	1054844.4945	-1572958.8131	6070070.5685
SABI	796115.3377	-1390846.7305	6152868.9958
SAB1	796122.2294	-1390839.6089	6152870.4269
SAB2	796120.3651	-1390842.1012	6152870.4145
BUSH	653400.7786	-1406918.7174	6166125.4987
BUS1	653400.7579	-1406918.6729	6166125.4348
SAV1	650417.7382	-1402370.4686	6167242.2613
MOR1	505257.7521	-1376299.6911	6186565.2270
SIO1	448814.2531	-1277127.0047	6211970.6598
TERN	559573.5600	-1287003.1030	6200990.0372
HOWA	553712.5150	-1272162.6705	6204810.3014
MARI	583705.6756	-1290595.4234	6198765.3369

Tabel 13: GR96(1996)-koordinater for REFGR-punkterne som blev målt i årene 1996-2001. (*Kort- og Matrikelstyrelsen*, 2006). Bemærk at der er navneoverlap imellem REFGR-punkterne TIN1 og QAQ2 og GNET-stationerne af samme navn. Deres koordinater må derfor ikke sammenlignes med Tabel 12.

Bilag D

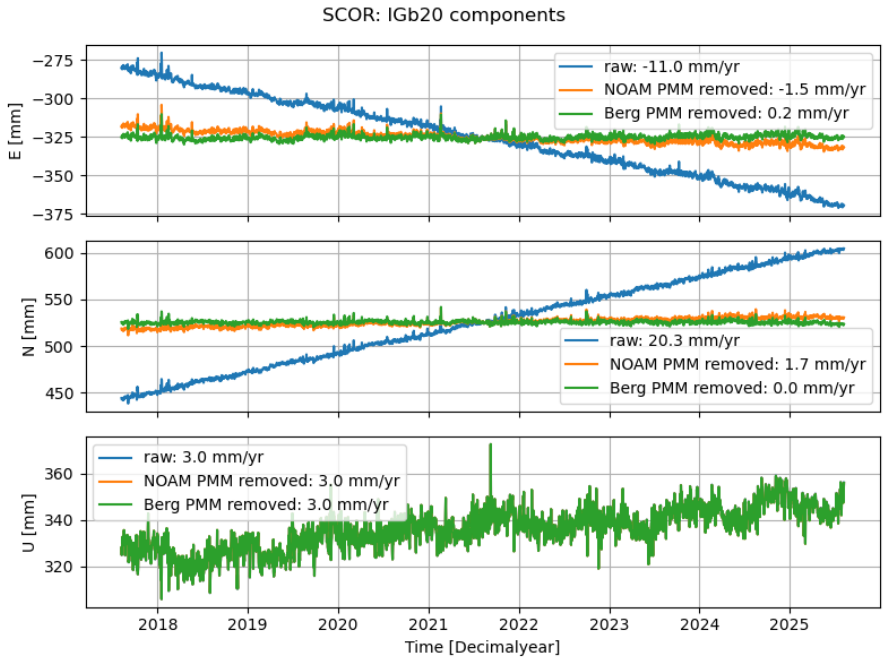
Udbredelse af GR96(2021) til nyere GNET-stationer

Siden den definerende kampagne for GR96(2021) i august 2021, er en række nye GNET-stationer blevet etableret og fremtidige stationer planlægges etableret.

Baseret på data udgivet i *Solgaard et al.* (2026) er der derfor blevet beregnet GR96(2021) koordinater for de nye GNET-stationer.

I *Solgaard et al.* (2026) præsenteres en grundig reprocessering af al tilgængelig GNET-data t.o.m september 2025. Processeringen er foretaget med programpakken *GipsyX*, som anvender *PPP*-beregningsmetoden (*Precise Point Positioning*). Dette resulterer i daglige koordinatløsninger for alle GNET-stationerne. Koordinaterne er beregnet i den internationale referenceramme *IGb20*, og disse er indgået som grundlag for beregningen af GR96(2021)-koordinater til de nye GNET-stationer.

Som det ses af Figur 9, består stationernes bevægelse overordnet set af den nordvestlige pladebevægelse samt årstidsvariation og støj. I opretningen er stationerne desuden udsat for landhævning som følge af isafsmeltningen. For at reducere støjniveauet, beregnes de endelige GR96(2021)-koordinater, ved gennemsnittet af de daglige koordinatløsninger igennem en periode på 30 dage. Centralepoken for dette interval er 2025,4607 svarende til 2025-06-17. Intervallet er lagt således at støjniveauet på tværs af alle stationer er minimeret. På denne måde tages der højde for tilfældige udsving i stationernes koordinater, som følge af eksempelsvis atmosfæriske forstyrrelser.



Figur 9: Eksempel på bevægelsen af en GNET-station, opløst i sine Øst- (E), Nord- (N) og Op- (U) komposanter, samt deres estimerede hastigheder. Tidsserien vises både i sin rå version, som beregnet af *Solgaard et al.* (2026), samt med transformation via de to forskellige pladebevægelsesmodeller (eng. *Plate Motion Model/PMM*) til epoke 2021,6164, hvor de 3 tidsserier skærer hinanden.

Koordinaterne er som nævnt, i udgangspunktet givet i den internationale referenceramme *IGb20*, som er den opdaterede version af *IGS20*-referencerammen. De to referenceramer er i transformationssammenhænge ækvivalente, hvilket vil sige at transformationer som gælder for IGS20, også gælder for IGb20. Vi kan derfor i princippet let beregne GR96(2021)-koordinater for GNET-stationerne ved anvendelse af transformationen givet i Tabel 3.

Som beskrevet under Nøjagtighed af transformationen, korrigerer denne transformation dog ikke perfekt for pladebevægelsen i Grønland, idet en perfekt korrektion for pladebevægelsen, ville bringe hastigheden af stationen til 0 (vel at mærke for en station som ikke er påvirket af andre geofysiske forandringer). Eksemplet i Figur 9 viser at ITRF-modellen for den nordamerikanske plade (NOAM) korrigerer for det meste af bevægelsen, men der er stadig en årlig bevægelse i nordlig og vestlig retning på 1,5 hhv. 1,7 mm. I gennemsnit, så er stationernes hastigheder på 2,6 mm/år i nord-vestlig retning, efter korrektion for NOAM-plademodellen.

Et nyere studie af *Berg et al.* (2025) stiller en alternativ plademodel til rådighed (herefter kaldet *Berg-modellen*) som bedre korrigerer for pladebevægelsen. Efter korrektion med Berg-modellen falder stationernes tilbageværende egenbevægelse til 0,9 mm/år, stadig i nordvestlig retning.

Af denne grund er Berg-modellen blevet valgt til at transformere koordinaterne til GR96(2021), frem for den tidligere publicerede transformation. De anvendte transformationsparametre kan ses i Tabel 15 og de transformede koordinater for de nye stationer ses i Tabel 17.

Transformationen følger *coordinate frame* konventionen, og er identisk med parametrene i Tabel 3, med undtagelse af de 3 rotationshastigheder $\dot{R}$,

Plademodel	Øst	Nord	Plan
NOAM	-2.2	0.9	2.6
Berg	-0.1	0.1	0.9

Tabel 14: Gennemsnitlige GNET hastigheder i mm/år efter korrektion for pladetektonik.

T_x	-0.30031	m
T_y	-1.17512	m
T_z	-0.30654	m
R_x	0.041614	”
R_y	-0.026303	”
R_z	-0.011214	”
s	-0.01626	ppm
$\dot{R}_x$	0.000101	”/år
$\dot{R}_y$	-0.000749	”år
$\dot{R}_z$	-0.000029	”/år
t_0	2021.6164	år

Tabel 15: Helmerttransformationsparametre som er anvendt til beregning af GR96(2021) koordinater for de nyeste GNET-stationer.

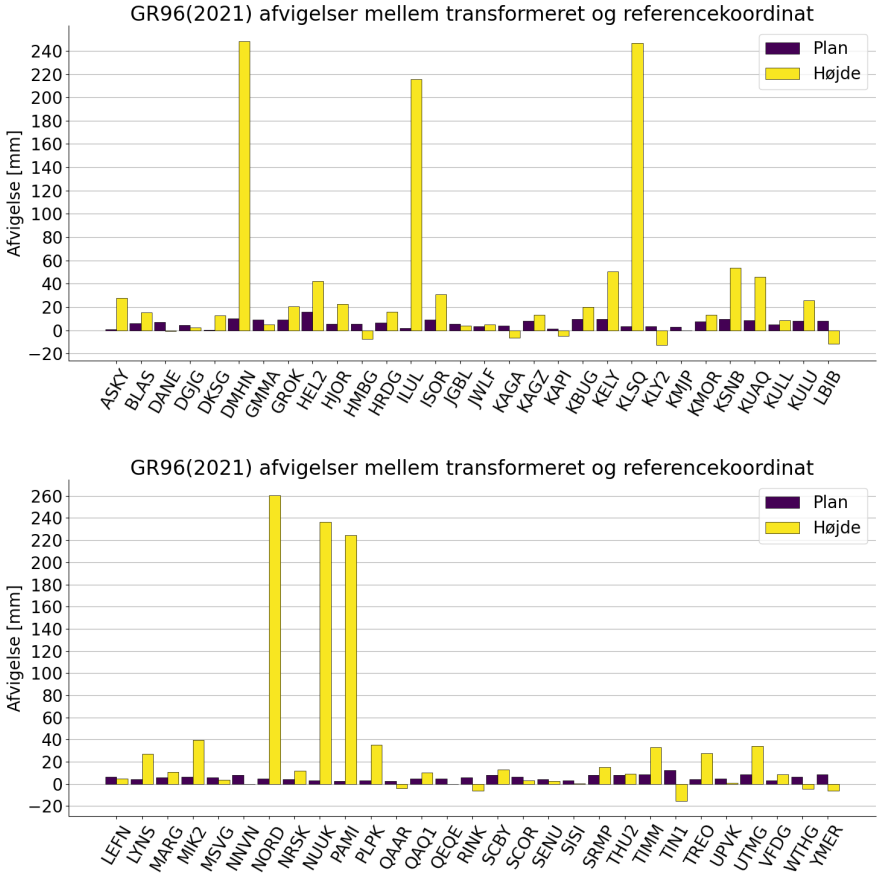
som er blevet erstattet af den forbedrede plademodel. Den opdaterede transformation er endnu ikke optaget i EPSG-registret.

Vær desuden opmærksom på, at test-koordinaterne i Tabel 4 og Tabel 5 stadig kun er gældende for den gamle transformation, som gives i Tabel 3.

Validering

Som validering, anvendes samme metode til at beregne og sammenligne koordinater for de gamle GNET-stationer, som allerede har kendte GR96(2021)-koordinater som beskrevet under GR96(2021). Det kan aflæses af Figur 10, at GNET-stationernes afvigelse i planen ligger i størrelsesordenen 10 mm. I højden ligger afvigelserne for de fleste stationer vel under 50 mm. Dog har de 6 stationer, DMHN, ILUL, KLSQ, NORD, NUUK og PAMI nogle store outliers i højden, alle over 200 mm.

Afvigelserne opsummeres i Tabel 16. Her ses at de 6 stationer som har store afvigelser i højden, faktisk passer en anelse bedre i planen end de resterende stationer.



Figur 10: Afvigelser mellem de ældre GNET-stationers transformerede GR96(2021)-koordinater og deres referencekoordinater som blev bestemt ifm. den definerende målekampagne i 2021.

RMSE	Op	Plan	Total
Alle	79.4	6.8	79.7
Uden Outliers	20.9	7.0	22.0
Kun Outliers	239.0	5.0	239.1

Tabel 16: Residualer i mm ved sammenligning med referencekoordinater.

Station	X [m]	Y [m]	Z [m]
AAS2	1403878.1865	-1849085.5334	5920736.6986
AVAN	1435914.9766	-1772963.2966	5936644.1852
EQNU	1475383.2215	-1738799.0365	5936925.0618
KSUT	1721410.6313	-2203914.5908	5713201.8796
NGFJ	1003632.1480	-303800.3808	6270289.7538
NUNA	1446113.1050	-1751386.0235	5940298.9348
QENU	1451327.0193	-1758634.2051	5937120.8450
UPAK	2173562.6794	-1910590.6327	5664905.4766

Tabel 17: GR96(2021)-koordinater for de seneste GNET-stationer som etableredes efter feltkampagnen i 2021. Koordinaterne er beregnet til epoken 2025,4607.

Konklusion

Ses der bort fra de 6 problematiske stationer, passer de transformerede koordinater med referencekoordinaten med en RMS på 21 mm i højden og 7 mm i planen. Dette vurderes at være tilfredsstillende, og disse tal kan derfor fortolkes som usikkerheden på koordinaterne af de nye GNET-stationer, som ses i Tabel 17.

Dét, at afvigelserne for outlier-stationerne kun ligger på højdekomponenten samt at afvigelserne er så relativt store, gør, at mistanken straks falder på fejlagtige antennehøjder i koordinat-beregningerne. Om det så er den seneste beregning af *Solgaard et al.* (2026) eller referencekoordinaterne, hvis tilblivelse er beskrevet under GR96(2021), som er behæftet med fejl, kan den her præsenterede analyse ikke afsløre.

Litteratur

Altamimi, Z., L. Métivier, P. Rebischung, X. Collilieux, K. Chanard, and J. Barnéoud, ITRF2020 Plate Motion Model, *Geophysical Research Letters*, *50*(24), doi:https://doi.org/10.1029/2023GL106373, 2023. (document)

Berg, D., V. R. Barletta, J. Hassan, E. Y. H. Lippert, W. Colgan, M. Bevis, R. Steffen, and S. A. Khan, Vertical Land Motion Due To Present-Day Ice Loss From Greenland's and Canada's Peripheral Glaciers, *Geophysical Research Letters*, *51*(2), doi:https://doi.org/10.1029/2023GL104851, 2024. 5, 6

Berg, D. L., S. Adhikari, J. Hassan, R. Steffen, H. Steffen, M. Willis, and S. A. Khan, Estimation and attribution of horizontal land motion measured by the greenland gnss network, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, *130*(9), e2024JB030,847, doi:https://doi.org/10.1029/2024JB030847, e2024JB030847 2024JB030847, 2025. D

Boucher, C., Z. Altamimi, M. Feissel, and P. Sillard, Results and Analysis of the ITRF94, *IERS Technical Note*, *20*, 1996. (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)

Karsten Engsager, Bo Madsen, and Mette Weber, The Greenland Reference Frame 1996, Intern rapport, 2007. 11

KDS, GLLAT: Referenceflade for laveste astronomiske tidevand i og omkring Grønland, https://www.klimadatastyrelsen.dk/Media/638548247294378266/011-GLLAT.pdf, KDS, Geodætisk systembeskrivelse, GeoNote 11, 2024a. 6

KDS, GLMSL: Referenceflade for middelvandstand i og omkring Grønland, https://www.klimadatastyrelsen.dk/Media/638548247552383249/012-GLMSL.pdf, KDS, Geodætisk systembeskrivelse, GeoNote 12, 2024b. 6

Khan, S. A., Berg, D., and Barletta, V., *Analysis of GNSS data from the 2021 Greenland Campaign*, DTU Space, Intern rapport, 2025. (document)

Kort- og Matrikelstyrelsen, *GPS Reference Network in Greenland: REFGR*, Kort- og Matrikelstyrelsen, Intern rapport, 2006. 1, 2, 13

Petit, G., B. Luzum, et al., IERS conventions (2010), *IERS Technical Note*, *36*, 2010. (document)

PROJ contributors, *PROJ coordinate transformation software library*, Open Source Geospatial Foundation, doi:10.5281/zenodo.5884394, 2025. (document)

SDFI, GVR2016: Greenland Vertical Reference 2016, https://sdfi.dk/Media/638167943246531698/005-GVR2016.pdf, SDFI, Geodætisk systembeskrivelse, GeoNote 5, 2023. 6

Solgaard, C., et al., The greenland gnss network (gnet): Geodetic grade gnss measurements of greenland's 3d bedrock displacement from 1995–2025, *Earth System Science Data Discussions*, *2026*, 1–37, doi:10.5194/essd-2026-198, 2026. D, 9, D

Klimadatastyrelsen

Sankt Kjelds Plads 11
2100 København Ø

https://www.kds.dk