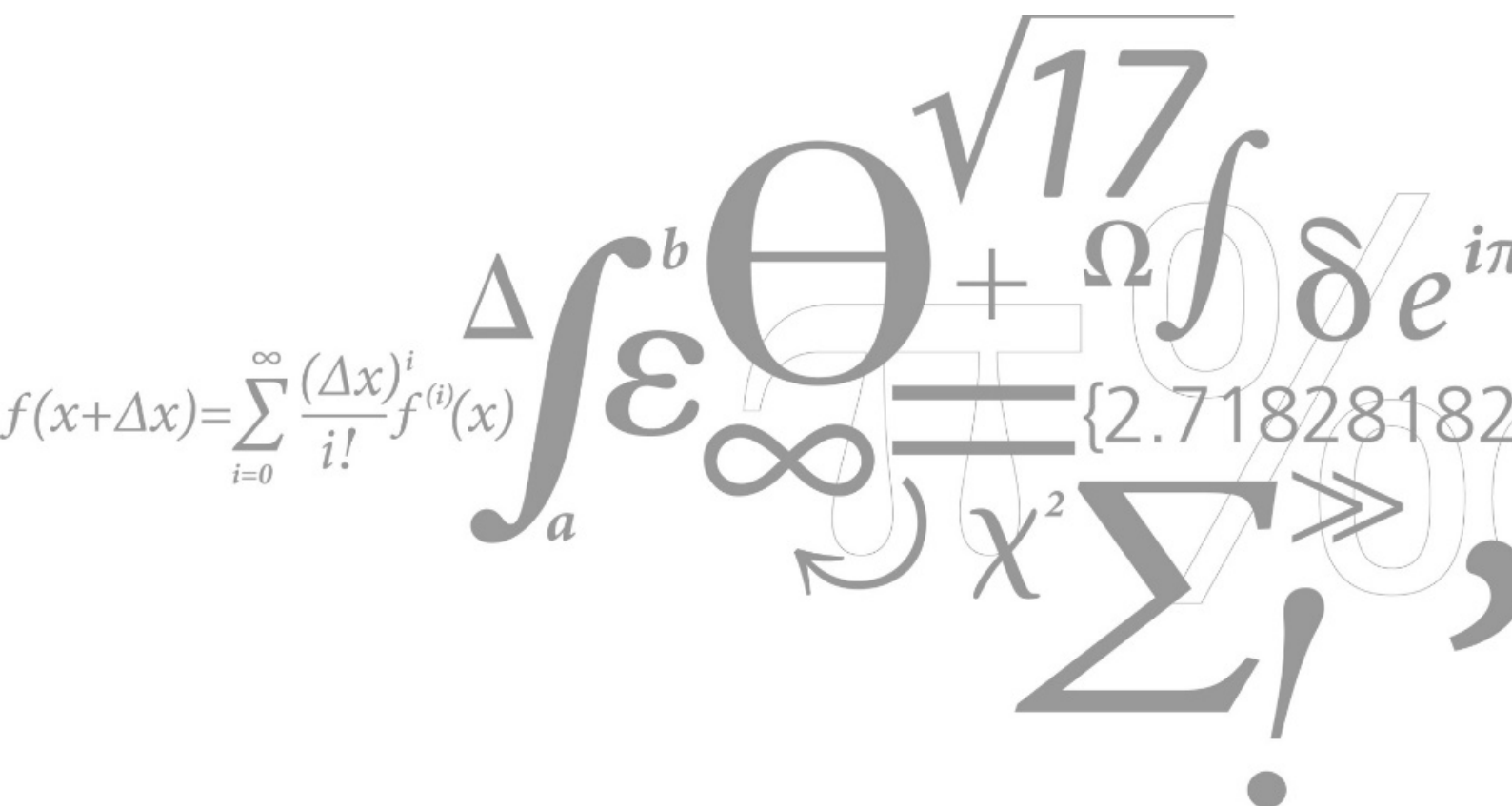




DTU Ballerup lokal koordinatsystem



Version	Beskrivelse	Dato
2.0	Første udgave	27.03.2020

1. Indledning



Bl.a. pga. flere GPS målinger og ønsket om at arbejde med data i andre koordinatsystemer er det blevet nødvendigt at etablere en sammenhæng mellem DTU-Ballerup LOK (DTU-BAL-LOK) og de nationale koordinatsystemer.

Dette dokument beskriver hvordan der kan transformeres til og fra DTU-BAL-LOK og UTM, DKTM og System 34.

Dokumentet indledes med resultaterne mens de bagvedliggende beregninger følger derefter.

Bemærk, at der i dette dokument er anvendt "punktum" som decimal separator. Således at 2,34 cm er skrevet som 2.34 cm.

1.1. Anvendelse og ansvarsfraskrivelse

Alle oplysninger i dette dokument leveres som de foreligger. Der tages forbehold for fejl og mangler.

Al anvendelsen af oplysningerne i dette dokument sker for brugerens eget ansvar. Der gives ingen garanti for rigtigheden eller fuldstændigheden af dokumentets indhold.

2. DTU Ballerup lokal koordinatsystem

DTU-BAL-LOK er et normalt højrehåndssystem, dvs. X-aksen er positiv mod højre og y-aksen går op ad. Det er det samme som DKTM, UTM og andre matematiske koordinatsystemer.

2.1. Akse retning

I DTU-BAL-LOK er x-aksen lagt parallelt med den længste side af bygningerne mens y-aksen er vinkelret herpå. De landsdækkende systemer har Y-aksen liggende i den geografiske nordlig/sydlig retning.

Det betyder, at der er en drejning mellem DTU-BAL-LOK og de landsdækkende koordinatsystemer, se nedenstående tabel.

Fra ⇒ Til	BAL-LOK ⇒ System34 Sj.	System34 Sj. ⇒ BAL-LOK	BAL-LOK ⇒ UTM32	UTM32 ⇒ BAL-LOK	BAL-LOK ⇒ DKTM 3	DKTM 3 ⇒ BAL-LOK
Rotation (θ) (°)	-18.766464446	18.766464446	-17.633223483	17.633223483	-19.906886972	19.906886972

Tabel 1 – Rotation i grader mellem DTU-BAL-LOK og S34s, UTM32 og DKTM3

2.2. Skala

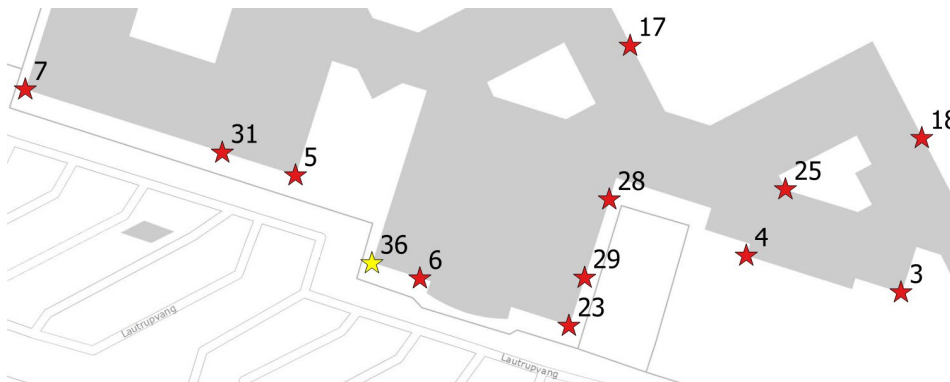
Kortprojektioner er en tilnærmede konform plan afbildning af jordens krumme overflade. Kortprojektionernes målforhold er stedafhængigt og kan være forskellige fra hinanden. Dette betyder, at koordinaterne skal skaleres når de transformeres fra en kortprojektion til en anden.

Fra ⇒ Til	BAL-LOK ⇒ System34 Sj.	System34 Sj. ⇒ BAL-LOK	BAL-LOK ⇒ UTM32	UTM32 ⇒ BAL-LOK	BAL-LOK ⇒ DKTM 3	DKTM 3 ⇒ BAL-LOK
Skala (k)	0.999949210	1.000050768	1.000103090	0.999896896	0.999945228	1.000054750

DTU-BAL-LOKs skalering til System 34 er meget tæt på 1, hvilket indikere at DTU-BAL-LOK med meget stor sandsynlighed er defineret som en lokal S34 kortprojektion.

2.3. Nulpunkt

DTU-BAL-LOK's nulpunkt er beliggende i bygningshjørnet sydøst for hovedindgangen, på nedenstående figur er nulpunktet angivet som punkt 36.



DTU Ballerup Nulpunkt	X	Y
System34 Sjælland ¹	-83023.4723	146311.8342
DKTM3 (EPSG 4095)	640623.5677	1178693.2275
UTM32 (EPSG 25832)	713263.0427	6181382.4213

Tabel 2 – Koordinaterne til DTU-BAL-LOK's nulpunkt i System34, DKTM3 og UTM 32N.

Transformationsparametrene

Transformationsparametrene for transformation mellem DTU BAL LOK, System 34 Sjælland, UTM/ETRS zone 32 og DKTM zone 3, kan aflæses i nedenstående tabel.

Fra \Rightarrow Til	DTU-BAL-LOK \Rightarrow System34 Sj.	System34 Sj. \Rightarrow DTU-BAL-LOK	DTU-BAL-LOK \Rightarrow UTM32	UTM32 \Rightarrow DTU-BAL-LOK	DTU-BAL-LOK \Rightarrow DKTM 3	DKTM 3 \Rightarrow DTU-BAL-LOK
Skala (k)	0.999949210	1.000050768	1.000103090	0.999896896	0.999945228	1.000054750
Rotation (θ) ($^{\circ}$)	-18.766464446	18.766464446	-17.633223483	17.633223483	-19.906886972	19.906886972
X flytning (t_x) (m)	-83023.472	125686.345	713263.043	1192606.685	640623.568	-201019.238
Y flytning (t_y) (m)	146311.834	-111829.630	6181382.421	-6106385.062	1178693.228	-1326463.200
Helmert a	0.946789632	0.946885791	0.953113421	0.952916916	0.940195707	0.940298685
Helmert b	-0.321695221	0.321727893	-0.302953784	0.302891324	-0.340473921	0.340511213

Tabel 3 - Plan Helmert transformations parametre

Se næste afsnit for detaljer omkring udregning og brug af transformationsparametrene.

¹ System34 er et venstrehånds koordinatsystem. Dvs. X-aksen er positiv mod vest.

3. Transformation til og fra DTU-BAL-LOK

I dette afsnit beskrives hvordan de plane koordinater i DTU-BAL-LOK kan konverteres til følgende tre landsdækkende koordinatsystemer:

- DKTM3: DKTM/ETRS89. Zone 3 Sjælland. EPSG 4095.
- UTM32 : UTM/ETRS89. Zone 32N. EPSG 25832.
- S34S: System34, Sjælland.

3.1. Plane koordinater i DTU BAL LOK

Da definitionen af DTU BAL LOK er gået tabt er der målt 36 punkter fordelt på bygningerne. Punkterne er målt i DKTM3 og punkternes koordinater er aflæst på en eksisterende tegning. Disse 36 punkter er derefter anvendt til at beregne transformationsparametre mellem DTU BAL LOK og de tre mest anvendte danske koordinatsystemer.

Til transformation mellem koordinatsystemerne anvendes 2D Helmert transformation. Helmert transformation af et punkt fra et koordinatsystem (input) til et andet (output) er defineret således:

$$\begin{aligned}E &= a X - b Y + t_x \\ N &= a Y + b X + t_y\end{aligned}$$

Hvor:

$a = k \cos \theta$ (kaldet "Helmert a " i tabellen)

$b = k \sin \theta$ (kaldet "Helmert b " i tabellen)

k = skala. Forholdet mellem afstanden mellem 2 punkter i de to systemer.

θ = rotationen omkring origo (mod uret er positivt).

t_x og t_y = Flytningen i X og Y efter skala og rotation

E og N = koordinater i output koordinatsystemet

X og Y = koordinater i input koordinatsystemet

Transformationsparametrene for transformation mellem DTU BAL LOK, System 34 Sjælland, UTM/ETRS zone 32 og DKTM zone 3, kan aflæses i tabel 3 i forrige afsnit.

Transformationerne har en spredning på ca. 1.7 cm (se afsnit 4.5).

Antallet af decimaler på især rotation og skala har stor betydning for nøjagtigheden af transformationen, især når der transformeres til DTU-BAL-LOK.

3.2. Manuel transformation

Parametrene fra Helmert transformationen kan anvendes til en manuel transformation mellem koordinatsystemerne. Dette gøres vha. skalaen, rotationen og translationen (flytning i x,y).

For at den manuelle flytning skal være vellykket skal følgende fremgangsmåde anvendes:

1. Rotation omkring origo (0,0). Rotationen (θ) er angivet med positiv omløbsretning (mod uret) og i grader.
2. Skalér (k) omkring origo (0,0).
3. Flyt. Anvend t_x og t_y .

Det er vigtigt at rotation og skala er med udgangspunkt i 0,0. Desuden er rækkefølgen og antallet af anvendte decimaler vigtig for transformationen.

3.3. Implementering af DTU-BAL-LOK i CAD og GIS

I flere og flere CAD og GIS programmer er det muligt at definere egne modificerede koordinatsystemer. Dette kan bl.a. gøres ved at definere en transformation oven på en eksisterende kort projektion. Der henvises til de enkelte programmets vejledninger.

4. Beregningsgrundlaget

Tegninger over bygningen er i et (ukendt) lokalt koordinatsystem.

Da tegningerne ønskes konverteret til et landsdækkende koordinatsystem (DKTM3) udarbejdes transformationsparametre mellem det ukendte lokale koordinatsystem og DKTM3 på baggrund af de indmålte bygningspunkter.

Til transformation mellem det lokale og landsdækkende koordinatsystem benyttes en Helmert transformation².

Udgangspunktet for transformationsberegningen er dels de opmålte bygningenshjørner, og dels den tilsendte bygningstegning (*LBAL_Stue.dwg*).

Bygningshjørner på tegningen matches med opmålingsdata, hvorefter transformationen beregnes.

Der er ved transformationsberegningen benyttet 36 punkter (se herunder).



² Ved denne transformation benyttes translation, rotation og skalering

4.1. Opmåling og kontrol

Til denne opmålingsopgaven er følgende opmålingsudstyr benyttet:

Totalstation: Trimble S6

Nøjagtighed afstandsmåling: 2 mm + 2 ppm (0.0065 ft + 2 ppm)

GPS: Trimble R8

RTK-GPS, korrektionsdata fra GPSnet.dk

Opmålingsopgaven er udført som en kombination af GPS-måling og opmåling med totalstation. Opmåling af hjørnepunkter på containerplads er udført som ren GPS-opmåling, mens øvrige punkter er indmålt med totalstation.

I det følgende vil opmålingsmetode, nøjagtighed og kontrol blive berørt.

4.2. GPS-opmåling

Ved opmåling med RTK-GPS må forventes en nøjagtighed bedre end 5 cm (ofte 1-3 cm). Der har under hele opmålingen været fine opmålingsforhold (dog lidt blæsende³) og rigeligt med tilgængelige satellitter.

Nøjagtigheden af GPS-opmålingen er derfor som forventet.

4.3. Opmåling med totalstation

Opmåling med totalstation er sket med udgangspunkt i frie opstillinger.

Positionen for den frie opstilling er bestemt ud fra indmåling af tre fikspunkter, hvis position er indmålt med GPS – derved sikres overbestemmelse af den frie opstilling og fejl elimineres – herefter er opstillingens position beregnet og nøjagtigheden vurderet inden opstillingspositionen godkendes.

Opstillingernes nøjagtighed lever i fulde op til de i opgaven beskrevne nøjagtighedskrav (nogle få centimeter).

Som kontrol af sammenhængen mellem de forskellige frie opstillinger er samme hushjørne målt fra flere opstillinger.

Hushjørnerne er indmålt reflektorløst. Det vil sige, at der er målt direkte til bygningsfladen (altså uden brug af prisme). Herved reduceres opmålingstiden betydeligt, da man ikke fysisk skal rundt til samtlige hushjørner med et prisme.

Reflektorløs opmåling kan introducerer en lille unøjagtighed i forbindelse med opmåling til bygningshjørner, hvor ikke begge hjørnets flader er synlige fra opstillingen. Unøjagtighedens størrelse er dog acceptabel, med de givne nøjagtighedskrav. Nøjagtigheden af de opmålte hushjørner lever dog til fuld op til kravet om få centimeters nøjagtighed.

³ Blæst kan spille en rolle i forhold til opmålingen, da det besværliggøre at holde GPS-antenne/prismestok helt stille mens målingen foretages.

4.4. Beregning af plan Helmert transformationen

Til beregning af Helmert transformationsparametrene for de enkelte transformationer, blev der anvendt en simpel udjævning efter mindste kvadraters metode.

Til udregning af spredning på vægtenheden og middelfejlen (indpasningsspredningen) er anvendt følgende formler⁴:

Spredning på vægtenheden:

$$\sigma_{0EN} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^f (r_{E_i}^2 + r_{N_i}^2)}{2f - 4}}$$

Middelfejlen (indpasningsspredningen):

$$\sigma_{0EN} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^f (r_{E_i}^2 + r_{N_i}^2)}{f - 2}}$$

Hvor:

r_E er residualen i X – koordinaten
 r_N er residualen i Y – koordinaten
 f er antallet af fællespunkter

4.5. Middelfejl og spredning

Middelfejlen på punkterne i den beregnede transformation beregnes til 2.4 cm, hvilket, på baggrund af den valgte opmålingsmetode, må siges at være som forventet.

Transformationens spredningen er på ca. 1.7 cm.

4.6. Skalafaktor

Når der transformeres mellem et lokalt og et landsdækkende koordinatsystem introduceres en skalafaktor. Derfor sammenholdes den beregnede skalafaktor for transformationen (0.9999452) med skalafaktoren for DTKM3 (0.999980) for at kontrollere om der er overensstemmelse mellem skalafaktoren for den beregnede transformation og det landsdækkende koordinatsystem.

Kontrollen viser fin overensstemmelse mellem de to skalafaktorer.

4.7. Nulpunktsforskydning

Når den udleverede bygningstegning transformeres ved hjælp af Helmert transformationen sker der, foruden en skalering og rotation, en forskydning af tegningens nulpunkt (origo).

Transformationsberegningen resulterer i en forskydning af tegningens oprindelige nulpunkt i Y-aksen på 640639.267 meter og X-aksen på 1178735.713 meter.

Skal den oprindelige bygningstegningen transformeres fra det lokale koordinatsystem til det landsdækkende DTKM (DTKM3 for Sjælland), skal følgende parametre angives i CAD-systemet:

⁴ Jensen, Karsten; *Landmåling i Teori og Praksis*. Aalborg Universitet, 2. udgave, 2005. ISBN 87-90893-96-4

Translation:

Forskydning Y: 640639.267 meter

Forskydning X: 1178735.713 meter

Rotation: 22.119 gon (19.907 grader)Skalering: 0.9999452

På følgende side ses en detaljeret tabel for transformationen, hvor afvigelser for hvert enkelt transformationspunkt fremgår.

4.8. Målte punkter

Nedenstående tabel indeholder de målte punkter der er grundlaget for beregningerne. De lokale koordinater er aflæst i den CAD fil der er grundlaget for DTU-BAL-LOK og DKTM koordinaterne er de opmålte punkter.

Afvigelserne beskriver afvigelserne i de enkelte punkter i forhold til netudjævningen af alle punkterne. Dvs. det er afvigelsen imellem de beregnede koordinater og de målte.

0	Y-lok.	X-lok.		Y-glb DKTM3	X-glb. DKTM3	Afv.-Y	Afv.-X	Afv.
1	260.967	0.417	->	640884.764	1178647.246	-0.005	-0.007	0.008
2	255.020	6.364	->	640881.182	1178654.878	-0.020	0.009	0.022
3	127.663	-12.295	->	640755.136	1178680.697	0.027	0.009	0.029
4	88.073	-15.295	->	640716.875	1178691.349	0.010	0.003	0.010
5	-25.078	-30.295	->	640605.329	1178715.794	-0.045	0.026	0.052
6	12.295	-45.295	->	640635.424	1178688.945	0.019	0.004	0.020
7	-95.748	-30.295	->	640538.916	1178739.861	-0.014	0.031	0.034
8	-120.544	-21.295	->	640518.652	1178756.745	-0.029	0.011	0.031
9	-165.714	-21.295	->	640476.203	1178772.082	-0.010	-0.031	0.033
10	-165.714	-6.295	->	640481.333	1178786.186	0.013	-0.030	0.033
11	-180.268	16.553	->	640475.434	1178812.622	0.019	-0.031	0.036
12	-155.668	64.912	->	640515.012	1178849.759	0.003	0.015	0.015
13	-151.425	69.155	->	640520.444	1178852.312	0.001	0.023	0.023
14	-66.572	52.184	->	640594.458	1178807.433	0.015	-0.009	0.017
15	-50.868	44.965	->	640606.760	1178795.305	0.010	-0.003	0.010
16	-190.875	44.965	->	640475.128	1178842.969	0.012	-0.008	0.014
17	44.592	25.873	->	640689.982	1178744.846	-0.019	-0.011	0.022
18	120.959	25.873	->	640761.809	1178718.851	0.008	-0.005	0.009
19	216.419	44.965	->	640858.059	1178704.300	0.007	-0.004	0.008
20	241.875	-44.965	->	640851.359	1178611.083	-0.008	-0.002	0.009
21	163.122	-39.295	->	640779.253	1178643.221	-0.001	-0.008	0.009
22	201.532	-39.295	->	640815.378	1178630.131	0.011	-0.021	0.023
23	51.295	-45.295	->	640672.074	1178675.675	0.002	0.013	0.013
24	232.624	-22.152	->	640850.434	1178635.700	-0.003	0.016	0.017
25	92.451	3.470	->	640727.390	1178707.504	0.020	0.005	0.020
26	200.714	52.184	->	640845.753	1178716.480	0.008	0.041	0.042
27	193.122	-39.295	->	640807.447	1178633.001	-0.013	-0.014	0.020
28	51.295	-12.295	->	640683.300	1178706.713	-0.008	0.024	0.025
29	51.295	-32.705	->	640676.366	1178687.515	0.007	0.015	0.017
30	152.452	-0.110	->	640782.561	1178683.682	-0.003	-0.022	0.022
31	-44.158	-30.295	->	640587.429	1178722.273	-0.006	0.008	0.010
32	-136.781	54.511	->	640529.214	1178833.529	-0.011	-0.006	0.013
33	-61.057	46.669	->	640597.754	1178800.384	0.003	0.004	0.005
34	159.143	25.873	->	640797.706	1178705.823	0.005	-0.032	0.032
35	25.500	44.965	->	640678.563	1178769.297	0.012	-0.010	0.016
36	-0.295	-45.295	->	640623.555	1178693.223	-0.013	-0.005	0.013