

Supplerende materialer til:

”Mit livs dessert”: 100-års jubilæet for Ellen Louise Mertz’ studie af niveauforandringerne i Danmark.

AF: MARIE W. SVENDSEN, SØREN M. KRISTIANSEN, VIVI K. PEDERSEN & ANDERS DAMSGAARD

Svensen, M.W.; Kristiansen, S.M. & Damsgaard, A. 2024: ”Mit livs dessert” – 100-års jubilæet for Ellen Louise Mertz’ studie af niveauforandringerne i Danmark. Geologisk Tidsskrift 2024, pp. 107–119, København.

Supplerende materiale SM1. Liste over verificerede strandvolde med nye målte højder (Aflæst ny højde), samt oplysninger fra Mertz (1924) (HOH kort, HOH tabel, Tanglinje, Kilde). Alle højder er angivet i meter over DNN eller DVR90. HOH: højde over havet. HOH kort: højde angivet på Mertz’ kort (fig. 1) HOH tabel: højde (interval) angivet i tabellen i Mertz (1924) (s. 18-33).

id	Lokalitet	Kommentar	Aflæst ny højde (DVR90) [m]	HOH kort (DNN) [m]	HOH tabel (DNN) [m]	Tanglinje (DNN) [m]	Kilde
Jylland							
1	Skiveren og Slynge, S.f Råbjerg Plantage	OK	15	14,7	14,7	2,5	A. Jessen II R.35
2	Kvissel og Tolne, ved Frederikshavn	Afvigende 1,6 m	15,6	15,0	13-14	ca. 2,5	A. Jessen II R.35
3	Mundingen af Slette Aa, Jammerbugten	Afvigende 2,8 m	10	7,8	7,8		A. Jessen II R.35
4	Feggeklit, Mors	OK	5,5	5,6			A. Jessen II R.35
5	Dragstrup Vig, Mors	OK	4	4,0	4,4		A. Jessen II R.35
6	Krik - Agger, Krik Vig	OK	3,3	3,8	3,8	2,3-2,5	A. Jessen II R.35
7	Oddeund, Nisum Bredning	OK	3,4	3,5	3,5-8		A. Jessen II R.35
8	Venø, Venø Sund	OK	3	3,0	ca. 3,0		A. Jessen II R.35
9	Harre Vig	OK	4	4,0	4-4,2	1,25	A. Jessen II R.35
10	Hjorthøje, Lovens Bredning	OK	4,7	4,7	4,7		A. Jessen II R.35
11	Nørholm, Gøjl Bredning	OK	7,2	7,5	7,2-7,5		A. Jessen II R.35

12	Muldbjerg, Vests., Høstemark Skov	OK	8	7,9	7,8-7,9		A. Jessen II R.35
13	Haslev Gaarde, S.f Frøerlund	OK	6,4	6,6	6,3-6,6		A. Jessen II R.35
14	Aamølle, Mariager Fjord	OK	5,7	4,0	3-4		A. Jessen II R.35
15	N f. Fjellerup, Djursland	Afvigende 2 m	7	5,0	5	1,6	A. Jessen II R.35
16	Stavnshoved, Djursland	OK	7	7,0	7		A. Jessen II R.35
17	S.f Stensmark, Djursland	OK	7,3	7,5	7,5		A. Jessen II R.35
18	Fornæs Fyr, Djursland	OK	8	7,8	7,8	2,5-2,8	A. Jessen II R.35
19	Ø f. Rugaard, Djursland	OK	7,2	6,9	6,9	2,5-2,8	A. Jessen II R.35
20	SØ f. Tved, Djursland	OK	4	4,0	ca. 4,0		A. Jessen II R.35
21	Skjødshoved, Kaløvig	OK	3,7	4,0	4,0		A. Jessen II R.35
id	Lokalitet	Kommentar	Aflæst ny højde (DVR90) [m]	HOH kort (DNN) [m]	HOH tabel (DNN) [m]	Tanglinje (DNN) [m]	Kilde
Fyn							
22	Aglbymølle Aa, Fyn	OK	2,3	2,2	2,2		V. Madsen I R. 7
23	Øen Eilinge	OK	2,5	2,5	2,5		V. Madsen I R. 7
24	Fyns Hoved. Hindsholm	OK	3	2,7	2,7		V, Madsen I R. 7
25	Sø f. Ørnebjerg, Hindsholm	Afvigende 1,0 m	4,5	3,5	2,5		V, Madsen I R. 7
26	Landingsstedet, Hindsholm	OK	3,4	3,4	3,4		V, Madsen I R. 7
27	Viemose, Åhuse, Ø Fyn	Afvigende 0,7 m	2,4	1,7	1,7		V. Madsen I R. 9
28	Tangaas Dal, Purreskov	OK	2	2,0	2,0		V. Madsen I R. 9
29	Engdraget v. Lundeberg	OK	1,7	1,7	1,7		V. Madsen I R. 9
Sjælland							
30	Ornum mod Syd, Jammerland Bugt	OK	3	3,0	3		K. Rørdam, V. Milthers I R. 8
31	Asnæspyntens Sydvestende, Asnæs	OK	3	3,0	3,0		K. Rørdam, V. Milthers I R. 8
32	V f. Havnemark Havn, Kalundborg Fjord	OK	3,5	3,5	3,5		K. Rørdam, V. Milthers I R. 8
33	NV f. Hedvigsløst, Kalundborg Fjord	OK	3,5	3,1	3,1		K. Rørdam, V. Milthers I R. 8
34	Kongeparten, Ellinge Lyng	OK	5,3	5,0	5,0	ca. 2,5	K. Rørdam, V. Milthers I R. 8

35	Sonnerup skov, Sjællands Odde	Afvigende 1,0 m	8	7,0	7,0	ca. 2,5	K. Rørdam, V. Milthers I R. 8
36	S f. Korshage, Nyrup Bugt	OK	5,4	5,0	5		K. Rørdam, V. Milthers I R. 8
37	N.f. Hønehalsen, Isefjord	Afvigende 1,1 m	5,1	4,0	4,0		K. Rørdam, V. Milthers I R. 8
38	Lindholms Østside, Inderbredning	OK	4,5	4,7	4,7		K. Rørdam, V. Milthers I R. 8
39	Ovrø, S.f. Næsset, Issefjord	OK	5	5,0	5,0		K. Rørdam, V. Milthers I R. 8
40	NV. f Orebjerg, Jægerspris Bugt	OK	5,4	5,0	5,0		K. Rørdam II R.2
41	V.f Karolinehøj, Jægerspris Bugt	Afvigende 6,0 m	5,3	4,7	4,7		K. Rørdam II R.2
42	V. f. Knudshøj, Isefjord	OK	5,3	5,3	5,3		K. Rørdam II R.2
43	Øen Alholm, Isefjord	OK	3,1	3,1	3,1		K. Rørdam II R.2
44	Ø f. Kulhus, Roskilde Fjord	OK	4,2	4,1	4,1		K. Rørdam II R.2
id	Lokalitet	Kommentar	Aflæst ny højde (DVR90) [m]	HOH kort (DNN) [m]	HOH tabel (DNN) [m]	Tanglinje (DNN) [m]	Kilde
45	Bognæs, Roskilde Fjord	OK	3,5	3,1	3,1		K. Rørdam I R.6
46	Ørnehøj i Hornbæk Plantage	OK	10,3	10,2	10,2	2,5-3,0	K. Rørdam II R.2
47	Sofieberg N f. Rungsted	OK	6,4	6,0	6	2,5 - 3,0	V. Milthers V R.3
48	S.f Kongelunden, Amager	OK	1,7	1,9	1,3-1,9		K. Rørdam I R.6
49	Landingsstedet N f. Sibirien, Faxe Bugt	OK	4,4	4,4	4,0	2,0	V. Milthers I R.11
50	Fedet, Præstø Fjord	Afvigende 0,5 m	3,5	4,0	4,0		V. Milthers I R.11
51	Broen, Even, Præstø Fjord	OK	2,7	2,5	2,5		V. Milthers I R.11
52	Maderne ved Præstø Fjord	Afvigende 2,4 m	3,9	2,5	2,5		V. Milthers I R.11
Sejersø							
54	Mellem Skagelse Huk og Esbjerg Huk, Sejersø	Afvigende 0,9 m	4,4	3,5	3,5		K. Rørdam, V. Milthers I R.8
55	S f. Lindehoved, Sejersø	OK	5,5	5,8	5,8		K. Rørdam, V. Milthers I R.8
56	SV f. Mastrup, Sejersø	Afvigende 1	4	5,0	5,0		K. Rørdam, V. Milthers I R.8
Samsø							
57	Ud.f Skagebjerg, Samsø	OK	4,2	4,1	4,1	1,6	V. Madsen I R.5
58	SØ f. Besser, Samsø	OK	4,9	5,2	5,2	1,2	V. Madsen I R.5
59	N f. Ljushage Samsø	OK	4	4,1	4,1		V. Madsen I R.5

60	SV for Issehoved, Samsø	OK	4,5	4,7	4,7	1,5	V. Madsen I R.5
	Andre øer						
61	Anholt	OK	10,3	10,0			A. Jessen I R.4
62	Brandsø	Afvigende 0,7 m	2,6	1,9	1,8-1,9		A. Jessen I R.12
63	Thorø, SV f. Assens	Afvigende 0,5 m	2,3	1,8	1,6-1,8		A. Jessen I R.12
64	Øen Endelave	OK	2,8	2,9	2,9		V. Madsen I R.7
65	Hjelm Landingsted, Sydhage, Øen Hjelm	OK	5,4	5,3	5,3		V. Madsen I R.5
66	N f. Fyr Øst, Hesselø	OK	7,3	7,1	7,1		Ikke publiceret

Supplerende materiale SM2. Antallet af tilbageværende datapunkter efter forskellige trin af databehandling, herunder beskæring til interesseområde, fjernelse af elementer og filtrering af outliers. Hvert trin er en fortsættelse af det forrige.

Databehandling	Antal af tilbageværende datapunkter
Downloadet EGMS - datapunkter	6.825.066
EGMS-datapunkter tilskåret til interesseområdet	4.601.663
Natur <i>kyster, heder</i>	4.162.972
Infrastruktur <i>jernbane, E-veje (S) + motor - og motortrafikveje</i>	4.108.826
By <i>bykerne, by/bebyggelse, sommerhusområder</i>	3.861.772
Infrastruktur <i>havn, industri, erhverv, bassin, råstofområder</i>	3.842.408
1. removal by filter ± 0.1	881.971
2. removal by filter ± 0.1	622.990
3. removal by filter ± 0.1	581.563
4. removal by filter ± 0.1	562.976
5. removal by filter ± 0.1	557.063
6. removal by filter ± 0.1	548.908
Manuelt fjernet outliers	544.528
7. removal by filter ± 0.1	530.200

Supplerende materiale SM3. Elementer og tilhørende bufferstørrelser i meter. Bufferstørrelsen er vurderet individuelt for hvert element ud fra GIS-temaernes dækningsgrad.

Elementer	Bufferstørrelse [m]
Natur	
Hede	200
Kyst	500
Infrastruktur	
Motortrafikvej	15
Motorvej	40
Jernbane	50
E-veje Sverige	60
By	
bykerne	20
Sommerhus-område	200
By/bebyggelse	500
Industri	
Basin	20
Industri	50
Erhverv	50
Råstofområde	200
Havn	200

Supplerende materiale SM4. Databehandling af EGMS-data og generering af glacio-isostatisk model i QGIS.

Download og forbehandling af data

I EGMS udvælges den relevante data og downloades med kode i Python. For at kunne behandle den downloadede data, er det nødvendigt at datamængden minimeres. I Python frasorteres data, fra de downloadede filer, der ikke er relevante for dette projekt. Den relevante data kombineres i én samlet CVS-fil, der indeholder koordinater (*easting* og *northing*) og den vertikale bevægelse i mm pr. år (*mean_velocity*), for hvert datapunkt. Herefter hentes CVS-filen ind i QGIS, hvor databehandlingen foregår. I QGIS minimeres datamængden yderligere, ved at beskære data til et interesseområde. Behandling af dette område er beskrevet i de følgende afsnit.

Databehandling i QGIS

Efter forbehandling af data interpoleres de resterende EGMS-datapunkter med interpolationsmetoden Inverse Distance Weighting (IDW) i QGIS. IDW er en deterministisk interpolationsmetode, der estimerer værdier for ukendte punkter, baseret på kendte punkters værdier og deres afstand til de ukendte punkter. Afstanden og vægtningen er omvendt proportional; vægtningen falder med stigende afstand, hvilket betyder at værdierne tilhørende punkter der ligger tættere på det nye punkt, vægtes højere end de punkter der ligger længere væk (Mulka *et al.*, 2019). I QGIS' IDW betragtes alle datapunkter i vektorlaget under interpolationen, og hele interesseområde, med 4,6 mio. datapunkter, interpoleres på én gang. Det producerede lag er navngivet: *Q_IDW_interesseområde*.

Fjerne outliers: Elementer

Herefter ønskes der at fjerne outliers i data. De mest signifikante outliers i data undersøges først og fremmest i QGIS, på det interpolerede lag (*Q_IDW interesseområde*). Dernæst ved at illustrere datapunkterne med forskellige farver, der afhænger af datapunktens værdi (*mean_velocity* mm pr. år). Der observeres, at de mest signifikante outliers primært forekommer i forbindelse med bestemte elementer: heder, kyster, større veje, jernbaner, byer, industriområder, råstofgrave, bassiner, erhvervsområder og havne. På baggrund af denne observation ønskes der at fjerne de datapunkter der ligger indenfor disse elementer ved brug af *Buffer* og *Difference (Multiple)* funktionerne i QGIS. Elementerne inddeles i fire forskellige kategorier: Natur, Infrastruktur, By og Industri. Én kategori fjernes ad gangen.

En buffer anvendes som et redskab til at definere et området i en specifik afstand fra et objekt, hvor afstanden definerer bufferstørrelsen. Bufferstørrelsen vurderes individuelt for hvert element ud fra dækningsgraden af GIS- temaernes polygoner, linjens præcision og ud fra manuel opmåling af elementets bredde (veje, jernbaner mm.), eller ud fra kildeoplysninger om elementets omfang. F.eks. benyttes Kystdirektoratets Erosionsatlas til at vurdere kysterosionen og bufferstørrelsen omkring kystlinjen. Formålet med at anvende buffere, er at markere alle de datapunkter, der er påvirket af de pågældende elementer. En buffer er særlig nyttig i de tilfælde hvor en linje markerer elementet (f.eks. veje, jernbane og havn) eller hvor GIS-temaets prægenereret polygon ikke dækker hele elementet. Flere steder er det nødvendigt at justere linjerne og polygonerne så de følger elementerne mere præcist. På denne måde kan buffer-størrelsen minimeres, således at relevante datapunkter ikke fjernes ved generering af en for stor buffer. Enkelte steder oprettes polygoner eller linjer på steder, hvor GIS-temaerne ikke indeholder disse.

Ved funktionen *Difference (Multiple)*, fratrækkes de punkter, der falder indenfor bufferne. Funktionen tillader at punkterne fjernes direkte fra data. Elementer i de omkringliggende lande fjernes ikke (Sverige, Norge, Tyskland og Polen) på baggrund af begrænset tilgang til GIS-temaer. Temaerne i tabellen er udelukkende for Danmark, med undtagelse af 'E-veje Sverige'. Vektorlaget, *elements_removed*, indeholder de resterende datapunkter, efter at alle elementerne i de fire kategorier er fjernet.

Fjerne outliers: GDAL's IDW, Sample Raster Value & filter

Overstående metode fjerner de mest signifikante outliers i data, dog indeholder data stadigvæk outliers efter metodens udførelse. Følgende metode fokuserer på at filtrere de resterende outliers ud af data ved brug af QGIS' Sample Raster Values og filter, og GDAL's IDW. Metoden kategoriserer ikke outliers. Sample Raster Values er en funktion, der henter værdier fra et rasterlag og overfører dem til et vektorlag. Fra det interpolerede rasterlag (*Q_IDW elements_removed*), overføres *mean_velocity*-celleværdier (*r_mean_veloc*) til et nyt vektorlag, der indeholder *mean_velocity* punktværdier (*v_mean_veloc*) fra vektorlaget *elements_removed*. *v_mean_veloc* og *r_mean_veloc* er separeret i hver deres kolonne i attributtabellen. Herefter benyttes filter funktionen til at frasortere de datapunkter i vektorlaget, hvis værdi er 0,1 over eller under celleværdien fra rasterlaget:

```
"v_mean_veloc" >= "r_mean_veloc" -0.1 AND "v_mean_veloc" <= "r_mean_veloc" + 0.1
v_mean_veloc punktværdi fra vektorlaget (elements_removed)
r_mean_veloc celleværdi fra rasterlaget (Q_IDW_elements_removed)
```

Herefter interpoleres de resterende punkter med IDW-værktøjet fra GDAL. GDAL er et bibliotek med forskellige værktøjer, der behandler raster- og vektorlag med geospatiale informationer.

Sammenlignet med QGIS' IDW-værktøj, tilbyder GDAL's IDW flere valgmuligheder for interpolationen, herunder søgeradius, det maksimale og minimale antal datapunkter, der tages i betragtning i interpolationen. GDAL's IDW er valgt med henblik på at forkorte processeringstiden til minutter (sammenlignet med flere timer for QGIS' IDW), ved en mindre søgeradius (5000 m) og ved at minimere antallet af datapunkter i interpolationen. Vægtkoefficienten er sat til 2 (*p*). GDAL tilbyder ikke umiddelbart justering af grid-størrelsen for output-laget, derfor redigeres GDAL consol call, hvor grid-størrelsen specificeres til 1000 x 1000 m. Sample Raster Value, filtrering og interpolationen gentages i alt 6 gange ved hele tiden at bruge det nyest filtrerede vektor- og rasterlag.

Efter 6. gang (SM1: *6.removal by filter ± 0.1*), fjernes de sidste signifikante outliers manuelt. De resterende outliers er dem, der hverken er fjernet ved GIS-temaerne eller ved filter. For at identificere disse, justeres farveskalaen og antal af farver (*color classes*) af punkterne i vektorlaget. Outliers fjernes manuelt ved at markere datapunktet og trykke delete. Herefter gentages Sample raster value og filtrering en sidste og 7. gang. Herefter interpoleres de resterende 530.200 datapunkter med QGIS' IDW og den endelige fil er navngivet: *Q_IDW_outliers_removed*.

Udglatning, konturlinjer & IDW

Dernæst ønskes der at lave konturlinjer på det interpolerede rasterlag. Først udglattes rasterlaget med Simple Filter, der er en matematisk model, der danner et nyt rasterlag ved at genberegne værdierne fra et eksisterende lag. I beregningen betragtes den enkelte celle og dens naboceller, afhængigt af radius (i projektet er radius valgt til 35). Simple Filter tilbyder flere valgmuligheder for udglatningen. Til dette formål benyttes filterfunktion Smooth, der giver en gennemsnitlig udglatning. Konturlinjerne dannes ved funktionen Contour, der ud fra det udglattede rasterlag, forbinder celler med samme værdi (*mean_velocity*). Ækvidistancen mellem kurverne vælges til 0,2 mm pr. år. Som det sidste, interpoleres alle genererede vektorlag med QGIS' IDW-værktøj.

Supplerede materiale SM5. Nutidige og postglaciale landbevægelser i Danmark vist i samme figur. Konturlinjer (blå) for den nutidige landbevægelse i mm pr. år, genererer ud fra interpoleret EGMS-data. Hvor den blå linje er stippet, er der ingen eller et meget begrænset antal datapunkter til at interpolere isolinjen. Isobaser (grøn) og formodet isobaser (stippet grøn) for den relative landbevægelse, siden Littorinahavets maksimale udbredelse i meter over DNN fra Mertz (1924). Ækvidistancen er for hhv. konturlinjer 0,2 mm pr. år, og isobaser 0,5 m.

Supplerende materiale SM6. Landbevægelsen i mm pr. år vist ved forskellige konturlinjerne, genereret ved forskellige udglatning (radiusstørrelse - angivet i parentes på figur) af projektets glacio-isostatisk model. Konturlinjer 0 er dannet direkte ud fra projektets glacio-isostatiske model, uden udglatning.