Undersøgelse af QGIS-pluginet Stream Flood Case: Storåen

Diplomingeniør-afgangsprojekt
Ida Kemppinen Vester
Byggeri & Anlæg, Vand & Miljø
Aalborg Universitet
Den 12.01.2023

AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Byggeri & Anlæg, Vand & Miljø
7. Semester
Thomas Manns Vej 23
9220 Aalborg Øst
https://www.build.aau.dk

Titel:

Undersøgelse af QGIS-pluginet *Stream Flood*
Case: Storåen

Projekt:

Diplomingeniør-afgangsprojekt

Projektperiode:

01.11.2022 til 12.01.2023

Deltager:

Ida Kemppinen Vester

Vejleder:

Søren Liedtke Thorndahl, AAU

Oplagstal: 2
Sidetal: 123
Bilag: 20 i alt, 6 i rapporten, 14 vedlagt elektronisk
Afleveret: 12.01.2023

Synopsis:

Denne rapport tager udgangspunkt i at undersøge QGIS-pluginet *Stream Flood*. Pluginet er udviklet som et screeningsværktøj for oversvømmelsessårbare områder nær vandløb, samt arealer med potentiale til vandtilbageholdelse. Pluginet anvender en digital højdemodel samt en linje for vandløbet som input, til at generere et vandspejl der ekstrapoleres ud i terræn, for at udpege disse områder.
Pluginet undersøges i rapporten med udgangspunkt i Storåen og Storåens opland som case. Først i rapporten, efter problemet er analyseret og defineret, gives der en præsentation af case-området, samt resultater når pluginet anvendes i case-området. Derefter undersøges det hvorvidt det genererede vandsspejl er repræsentativt for Storåen og Storåens opland, baseret på vandstandsdata. Efter dette undersøges det hvorvidt det genererede vandspejl er repræsentativt i forhold til forskellige typer af analyser foretaget i SCALGO Live. Dernæst undersøges det, hvordan outputs fra *Stream Flood* kan bruges til en udvidet screening for arealer til vandtilbageholdelse, gennem pluginet *VandparkeringVurderingVærdi (VVV)*. Slutteligt gives der en afrunding, der inkluderer en diskussion af nogle af de anvendte analysemetoder og eventuelle forbedringer til de to plugins, samt en konklusion.

Forord

Dette afgangsprojekt er skrevet af studerende Ida Kemppinen Vester på 7. semester på diplomingeniøruddannelsen i Byggeri & Anlæg, med specialeretning i Vand & Miljø, på Aalborg Universitet. Afgangsprojektet svarer tidsmæssigt til de afsluttende 15 ECTS-point af uddannelsen, og udarbejdes normalt i forlængelse af et projekt den studerende har fået kendskab til i løbet af det obligatoriske praktikforløb, der er afsluttet inden afgangsprojektet. Rammerne for projektet er givet i studieordningen for diplomingeniøruddannelsen, under modulet for afgangsprojektet på 7. semester, som beskrevet af Studienævn for Byggeri, By og Miljø [2021].

Der rettes en særlig tak til NIRAS A/S, særligt afdelingen VAND, for at være behjælpelige med materialer, lokaler og sparring i forbindelse med projektet.

Læsevejledning

Der vil i rapporten blive henvist til kilder efter Harvard-metoden. Det vil sige kilder vil blive henvist til med [Forfatter, År], der refererer til bibliografien bag i rapporten. I bibliografien findes den fulde liste med alle kilder anvendt i rapporten. I bibliografien vil der for bøger findes forfatter, titel, årstal, ISBN-nummer og forlag. For artikler vil der findes forfatter, måned og årstal for udgivelse, titel, tidsskriftets titel, volumen og forlag samt sidetal i tidsskriftet. For hjemmesider vil der findes forfatter, titel, dato for seneste besøg og et link til hjemmesiden.

I rapporten vil figurere og tabeller blive nummereret efter kapitel, hvilket vil sige første figur i første kapitel vil være figur 1.1, den næste 1.2 osv. Efter bibliografien findes en række bilag, der er navngivet alfabetisk, altså A, B osv. Der vil desuden i bilag A findes en liste med elektroniske bilag der er vedlagt rapporten ved aflevering, der er navngivet AA, AB, AC osv.

Denne afgangsrapport er udarbejdet og underskrevet af:

Ida Kemppinen Vester

Abstract

The purpose of this project, is to examine the QGIS-plugin *Stream Flood*. *Stream Flood* has been developed by the author of this report during an internship at NIRAS. The purpose of the QGIS plugin is to quickly and simply do a screening for areas near streams and rivers, that are vulnerable to flooding from said streams and rivers, as well as areas that are beneficial for water retention purposes. The plugin uses a digital elevation model and a line along the river or stream as inputs. It generates maps of the vulnerable areas by using the inputs to compute a water table, that is extrapolated into the surrounding terrain. The project is based on the case of Storåen and the catchment area of Storåen, which is placed in Jutland, Denmark. Storåen is the second longest river in Denmark, and has historically been known for causing flooding in the relatively large city of Holstebro. This leads to the problem statement: How is the results from the QGIS-plugin *Stream Flood*, including extrapolated water levels and flood-mappings, representative for Storåen and the catchment area of Storåen, and how can these results be used for screening for areas to be used for water retention purposes?

The problem statement is answered via different studies, including a time series analysis of data from the hydrometric stations within the catchment area of Storåen. Furthermore it is examined how the flood-maps generated from *Stream Flood* compares to flood-maps generated in SCALGO Live, where the maps are both based on a relative water level rise in the river and a rise in flowrate as well. The comparisons are made based on calculations of RMSE, MAE and difference of the sizes of flooded areas. The comparisons are also made through visual analysis of hexagonal binning plots and histograms of the residuals of the mappings. The analysis is expanded by also examining how the outputs of *Stream Flood*, can be used as inputs in a second developed QGIS-plugin *VandparkeringVurderingVærdi (VVV)* (Danish for Water retention, Evaluation, Value), which is used for expanding the screening for areas that are valuable to use for water retention.

In the project it is concluded, that the results of *Stream Flood*, in the form of original sampled and extrapolated water levels, are representative for the normally occurring water levels at the hydrometric stations in the catchment area of Storåen. An exception to this is given, in areas where the line of the river is placed wrong, resulting in the extrapolated water levels being computed wrong. The results from *Stream Flood* are also representative for Storåen and the catchment area of Storåen when analyzed in SCALGO Live, based on a rise in relative water level. This is not the case when the flood mappings in SCALGO Live is based on flowrate. Lastly it is concluded that that results from *Stream Flood* can be used for an expanded screening, by using them in the VVV-plugin, along with mappings of peaty soil layers and land use mappings.

Indholdsfortegnelse

Kapitel 1 Indledning . . . 1

Kapitel 2 Problemanalyse . . . 3

2.1 Hvorfor opstår vandløbsoversvømmelser? . . . 3
2.1.1 Omfanget af vandløbsoversvømmelser i Danmark . . . 3
2.1.2 Klimaforandringer og vandløbsoversvømmelser . . . 5
2.2 Hvornår regner vi på vandløb i Danmark? . . . 6
2.2.1 Planlægning og oversømmelsesdirektivet . . . 6
2.2.2 Miljøpåvirkninger og naturbeskyttelse . . . 7
2.3 Hvordan regner vi på vandløb? . . . 9
2.3.1 Mannings formel . . . 9
2.3.2 VASP, SCALGO & MIKE . . . 10
2.4 Hvad er Stream Flood? . . . 11
2.4.1 Hvorfor blev pluginet udviklet? . . . 11
2.4.2 Hvordan fungerer pluginet? . . . 11
2.4.3 Hvad kan screeningerne bruges til? . . . 12

Kapitel 3 Problemformulering . . . 13

Kapitel 4 Præsentation af case: Storåen . . . 15

4.1 Om Storåen generelt . . . 15
4.2 Resultater fra Stream Flood . . . 17
4.2.1 Input . . . 17
4.2.2 Output . . . 18
4.3 Delkonklusion 1 . . . 28

Kapitel 5 Sammenligning med vandstandsdata fra Storåen . . . 29

5.1 Data for Storåen . . . 29
5.2 Tidsserieanalyse . . . 30
5.3 Evaluering af vandstande ved de enkelte stationer . . . 31
5.3.1 Station 22000043 . . . 31
5.3.2 Station 22000048 . . . 33
5.3.3 Station 22000050 . . . 35
5.3.4 Station 22000053 . . . 37
5.3.5 Station 22000062 . . . 39
5.3.6 Station 22000068 . . . 41
5.4 Evaluering af vandstande ved alle stationer . . . 43
5.5 Delkonklusion 2 . . . 44

Kapitel 6 Sammenligning med vandstandsanalyser fra SCALGO . . . 45

6.1 Oversvømmelsesanalyse baseret på vandstandsstigning . . . 45
6.2 Input i SCALGO og Stream Flood . . . 46
6.3 Sammenligning af oversvømmelsesdybder . . . 46
6.3.1 RMSE og MAE for 0,5 m hævet vandspejl . . . 47

6.3.2 Plots for 0,5 m vandstandsstigning . . . 48
6.3.3 RMSE og MAE for 1 m hævet vandspejl . . . 51
6.3.4 Plots for 1 m vandstandsstigning . . . 52
6.4 Sammenligning af oversvømmelsesudbredelser . . . 54
6.4.1 Arealsammenligning for 0,5 m hævet vandspejl . . . 54
6.4.2 Arealsammenligning for 1 m hævet vandspejl . . . 55
6.5 Delkonklusion 3 . . . 56

Kapitel 7 Sammenligning med flow-rate analyser fra SCALGO . . . 57
7.1 Oversvømmelsesanalyse baseret på flow rate . . . 57
7.2 Input i SCALGO og Stream Flood . . . 57
7.3 Sammenligning af oversvømmelsesdybder . . . 58
7.3.1 RMSE og MAE for alle flow-rate baserede kortlægninger . . . 58
7.3.2 Plots for alle flow-rate baserede kortlægninger . . . 61
7.4 Sammenligning af oversvømmelsesudbredelser . . . 65
7.5 Delkonklusion 4 . . . 67

Kapitel 8 Værdisættelse af arealer til vandtilbageholdelse . . . 69
8.1 Bevæggrund for udvikling af VVV . . . 69
8.2 Input i VVV . . . 71
8.2.1 Oversvømmelseskortlægninger/Volumenkort . . . 71
8.2.2 Kulstofkortlægninger . . . 71
8.2.3 Arealanvendelseskortlægninger . . . 71
8.2.4 Anvendte input . . . 72
8.3 Output fra VVV . . . 73
8.3.1 Tendenser ved udspringene . . . 73
8.3.2 Tendenser i forbindelse med kulstofkortlægningen . . . 74
8.4 Delkonklusion 5 . . . 77

Kapitel 9 Diskussion . . . 79
9.1 Fejl i sampling . . . 79
9.2 Hævelse af vandspejl . . . 79
9.3 Hydraulisk kontakt . . . 80
9.4 Dynamiske kontra stationære betragtninger . . . 80
9.5 Screening for arealer til vandtilbageholdelse . . . 81

Kapitel 10 Konklusion . . . 83

Kapitel A Liste over elektroniske bilag . . . 87

Kapitel B Oversigt over H-stationer . . . 89

Kapitel C Histogrammer til afsnit 6.1 . . . 91
C.1 0,5 m vandstandsstigning . . . 91
C.2 1 m vandstandsstigning . . . 92

Kapitel D QH-data og -kurver . . . 93
D.1 Station 22000043 . . . 93
D.2 Station 22000050 . . . 95
D.3 Station 22000053 . . . 97

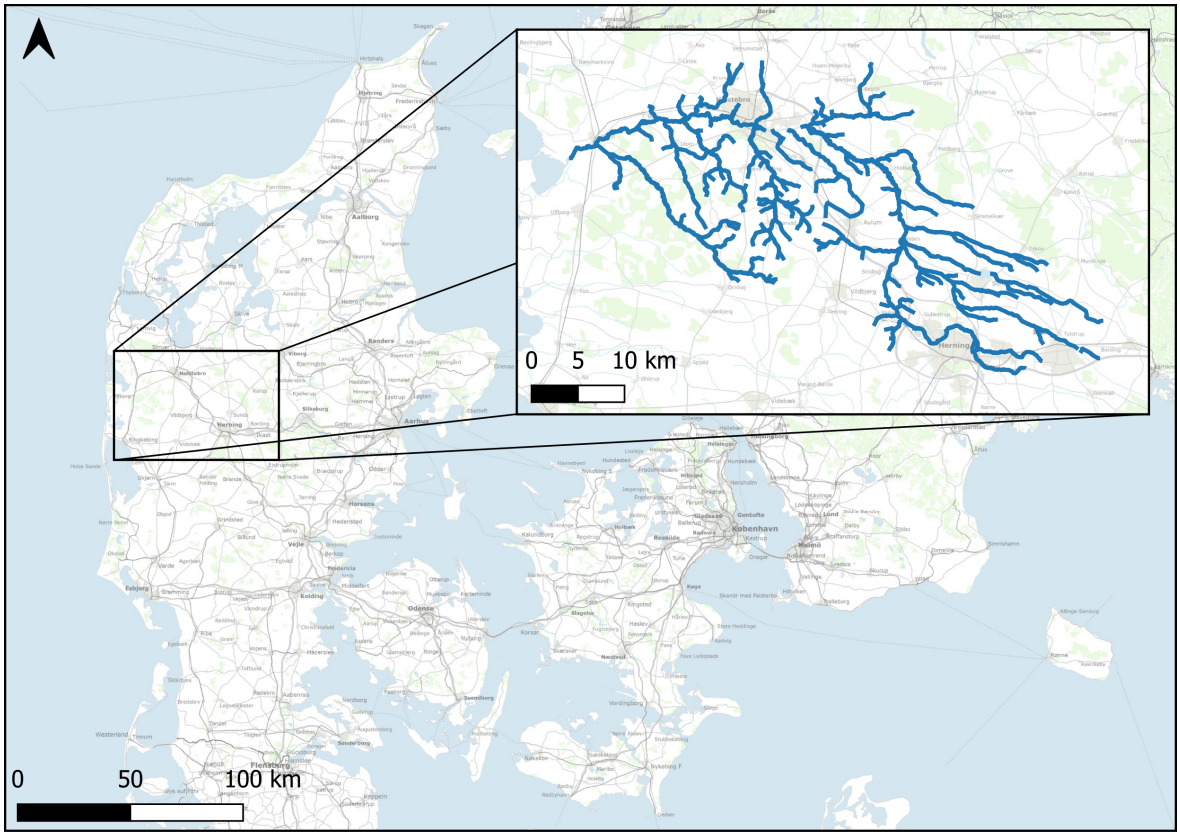
D.4 Station 22000062 . . . 99
D.5 Station 22000068 . . . 101

Kapitel E Histogrammer til afsnit 7.1 . . . 103
E.1 Station 22000043 . . . 103
E.2 Station 22000050 . . . 105
E.3 Station 22000053 . . . 108
E.4 Station 22000062 . . . 110
E.5 Station 22000068 . . . 116

Kapitel F Hexagonal binning plots til afsnit 7.1 . . . 117
F.1 Station 22000043 . . . 117
F.2 Station 22000050 . . . 118
F.3 Station 22000053 . . . 120
F.4 Station 22000062 . . . 121
F.5 Station 22000068 . . . 123

1 | Indledning

Dette afgangsprojekt er udarbejdet i forlængelse af forfatterens praktikforløb afholdt hos NIRAS i perioden fra d. 01.05.2022 til d. 31.10.2022. Der arbejdes i projektet med fokus på et QGIS-plugin, navngivet *Stream Flood*, der blev udarbejdet i praktikken. Pluginet blev udviklet for at undersøge hvilke vandløbsnære områder der er sårbare overfor oversvømmelse og grundvandsstigninger, baseret på data fra en digital højdemodel samt en linje for vandløbet. Hensigten hermed var at finde en metode til at screene for områder til vandtilbageholdelse, samt klima-lavbundsprojekter, i et vandløbs opland. Når pluginet anvendes, genereres der blandt andet vandstande i vandløbene og oversvømmelsesudbredelser som resultater. For at udvide analysen blev der også udviklet et andet plugin kaldet *VandparkingVurderingVærdi (VVV)*, til at screene for områder til vandtilbageholdelse.



Figur 1.1: Placering af Storåen og dens tilløb markeret med blå. Vandløbslinjen er hentet fra MiljøGIS for basisanalyse for vandområdeplaner 2021-2027 [Miljøministeriet / Miljøstyrelsen 2022b]. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.

I projektet vil det undersøges hvor repræsentative resultaterne fra *Stream Flood* er, sammenlignet med resultater fra andre gængse screeningsmetoder for vandløb. Resultaterne vil også sammenlignes med vandstandsdata. Desuden vil *VVV* beskrives og benyttes, hvorefter resultaterne derfra vil analyseres.

Analyserne, både i forbindelse med *Stream Flood* og *VVV*, vil tage udgangspunkt i en specifik case, Storåen. Storåen ligger i Vestjylland og dens opland strækker sig over Holstebro Kommune, Struer Kommune, Herning Kommune og Ikast-Brande Kommune. Storåens placering kan ses i figur 1.1.

Først i rapporten vil der gives en problemanalyse, hvor det vil undersøges hvorfor, og i hvilket omfang vandløbsoversvømmelser opstår i Danmark. Derefter vil det undersøges hvordan og i hvilke tilfælde der normalt regnes på strømninger i vandløb i Danmark, og til sidst i problemanalysen vil der gives en kort beskrivelse af hvordan pluginet *Stream Flood* virker, og hvordan resultaterne genereres. Problemanalysen danner baggrund for den problemformulering og de underspørgsmål der er opstillet i kapitel 3. Dernæst vil problemformuleringen og underspørgsmålene undersøges og besvares i kapitlerne 4, 5, 6, 7 og 8. I kapitel 9 vil der gives en diskussion af områder der også kunne være interessante at undersøge i sammenhæng med de udviklede plugins, samt de fejl og mangler der kan udbedres. På baggrund af kapitel 3-9 vil der drages en konklusion i kapitel 10, hvor problemformuleringen besvares.

2 | Problemanalyse

I dette kapitel vil der gives en analyse af problemet rapporten tager udgangspunkt i, for at konkretisere og klargøre hvordan problemet skal gribes an. Udgangspunktet i analysen vil være, at få undersøgt hvor meningsfyldte resultaterne genereret af QGIS-pluginet, *Stream Flood* er. Efter problemanalysen vil hovedpointerne noteres og samles i en problemformulering med underspørgsmål, i det næste kapitel.

2.1 Hvorfor opstår vandløbsoversvømmelser?

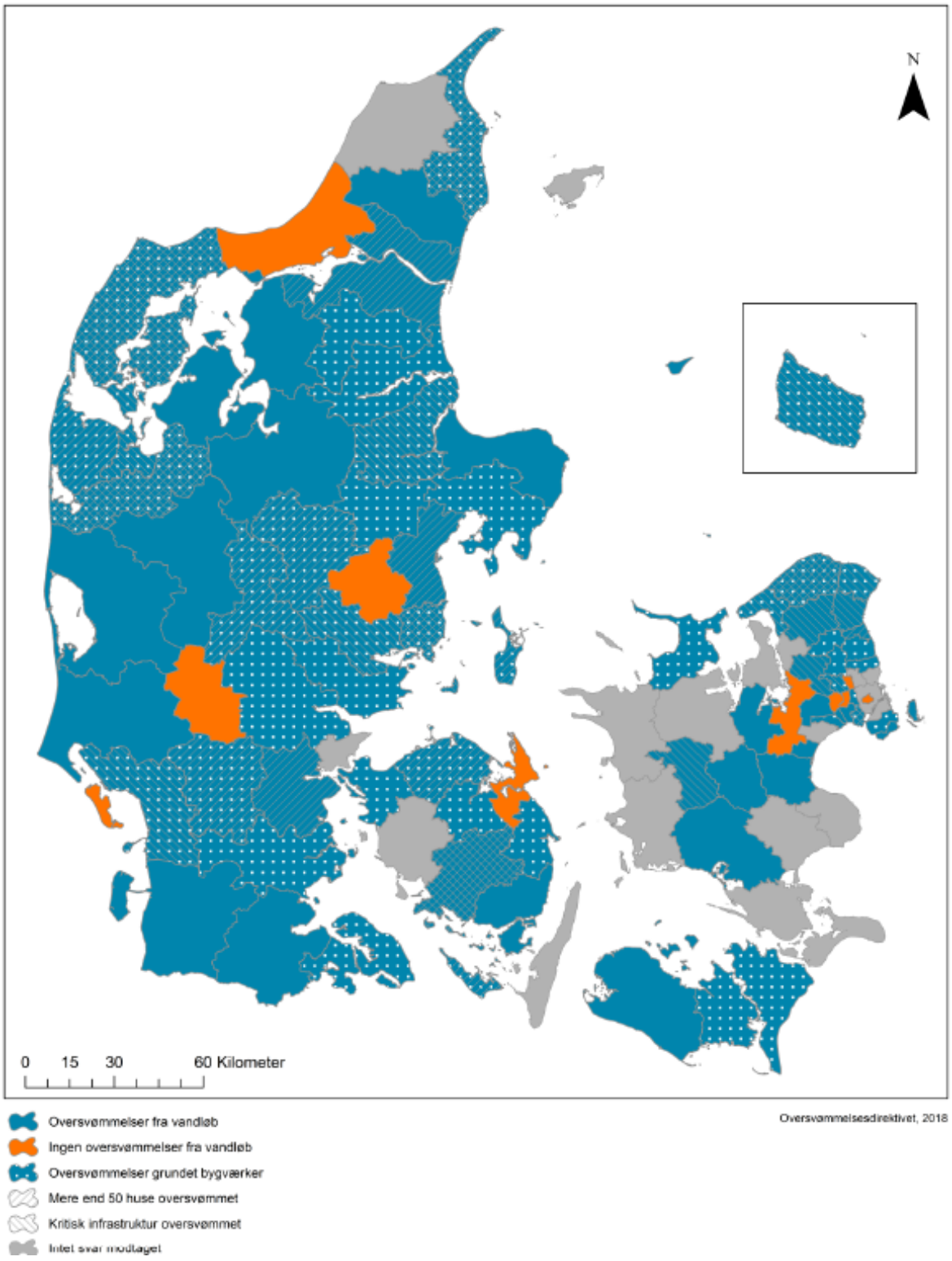
Oversvømmelser fra vandløb sker helt konkret når vandløbet ikke har tilstrækkelig kapacitet. Det vil sige, at der er mere vand i vandløbet, end det kan rumme. Derfor vil vandet løbe over brinkerne, og oversvømme nærliggende arealer. Der kan være flere forskellige årsager til vandløbsoversvømmelser forekommer, heriblandt øget afstrømning pga. nedbørshændelser, eller utilstrækkelig kapacitet pga. grøde eller bygningsværker, der resulterer i tilbagestuvning og hævet vandspejl.

2.1.1 Omfanget af vandløbsoversvømmelser i Danmark

Kystdirektoratet [2018] lavede i forbindelse med anden planperiode af vandområdeplanerne i 2018 en undersøgelse af hvilke kommuner der oplevede problemer med vandløbsoversvømmelser. Undersøgelsen blev udført som spørgeskemaundersøgelse, hvor der blev modtaget svar fra 81 af i alt 98 adspurgte kommuner. Langt størstedelen af kommunerne meldte, at de havde oplevet problemer med oversvømmelser fra vandløb.

I undersøgelsen blev der differentieret imellem de hyppigste årsager til vandløbsoversvømmelser i hver kommune. Resultaterne af undersøgelsen viser, se figur 2.1, at langt størstedelen af kommunerne har oplevet vandløbsoversvømmelser. Omkring halvdelen af kommunerne har angivet at årsagen til oversvømmelserne har været bygværker, og ca. 1/5 nævner, at årsagen er høj vandstand i havet. Desuden kan det tilføjes at ca. 1/5 af kommunerne har oplevet oversvømmelse fra vandløb af vigtige knudepunkter, kritisk infrastruktur eller mere end 50 huse [ibid.]. Der blev i undersøgelsen også gået ned på hændelsesniveau, baseret på tilbagemeldingerne fra kommunerne. Her blev det prioriteret at undersøge hændelser der havde berørt flere kommuner. Af de i alt 57 nævnte hændelser, blev der undersøgt 10 med høj prioritet. Her blev det fundet at årsagen til de prioriterede hændelser var store mængder nedbør, samt stormfloder og tøbrud.

Der fremgår altså tydeligt af undersøgelsen, at der i Danmark på nuværende tidspunkt er kendskab til vandløbsoversvømmelser, og at der historisk set er oplevet problemer dermed.



Figur 2.1: Tilbagemeldinger om vandløbsoversvømmelser fra kommunerne [Kystdirektoratet 2018, s. 46].

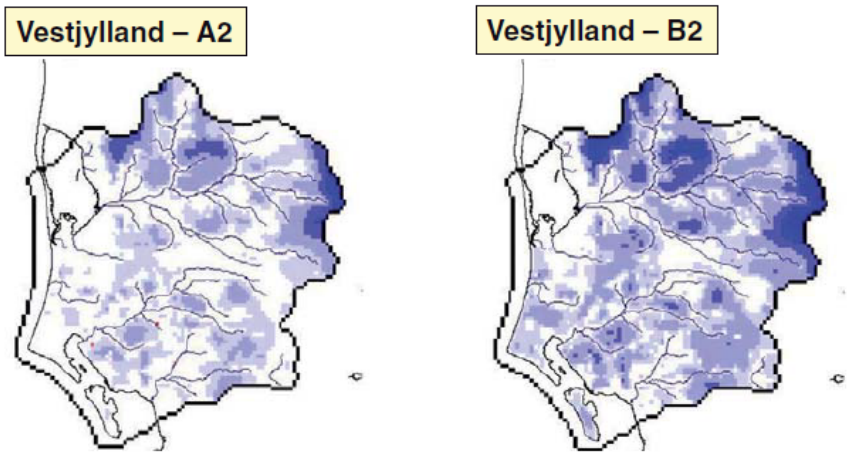
2.1.2 Klimaforandringer og vandløbsoversvømmelser

Pga. de mangeårige udledninger af drivshusgasser, er klimaet i forandring. Der er en række forventninger til det fremtidige klima i Danmark, baseret på disse forandringer. Disse forventninger omfatter generelt højere temperaturer, mere nedbør i vinteren, længere tørre perioder i sommeren, og flere højintense regnhændelser når det regner i sommeren. Alle disse faktorer vil påvirke det hydrologiske kredsløb, og dermed også risikoen for vandløbsoversvømmelser. [Sonnenborg, Christensen og Roosmalen 2007]

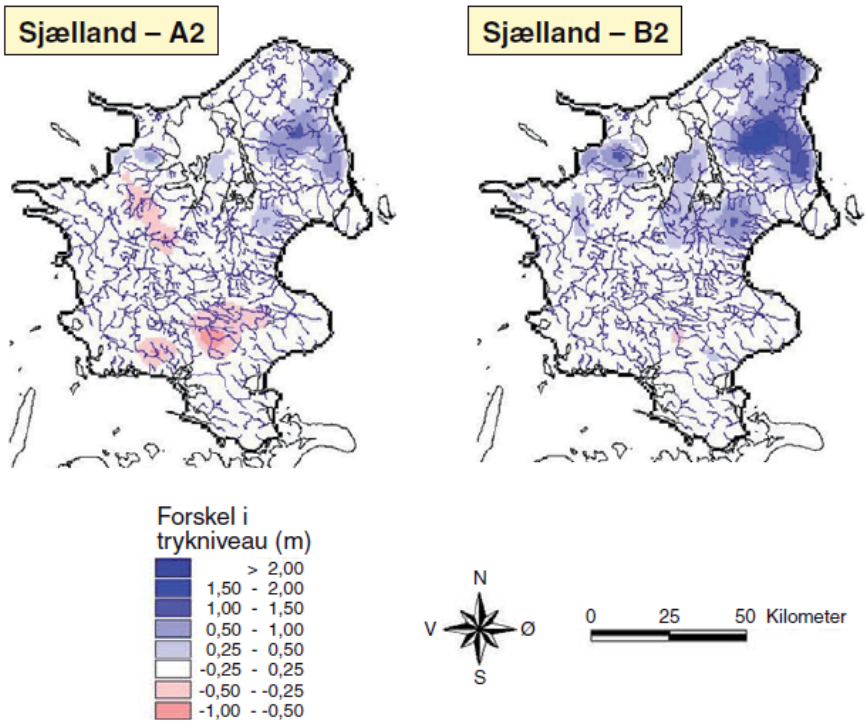
Sonnenborg, Christensen og Roosmalen [ibid.] bruger den nationale vandressourcemodel, DK-modellen, til at undersøge hvordan klimaforandringerne kan manifestere sig i det hydrologiske kredsløb. Der arbejdes med to referenceområder og med to klimascenarier. Scenarierne navngives A2 og B2. I scenarie A2 stiger CO_2-koncentrationen i atmosfæren til 850 ppm, hvor den i B2 stiger til 600 ppm. Dette tilsvarer temperaturstigninger på hhv. 3,1 grader celcius og 2,2 grader celcius i perioden 2071-2100. De områder der undersøges er Vestjylland og Sjælland.

Det findes i artiklen, at vandløbsafstrømningen øges markant i begge områder, i begge scenarier. Desuden findes der også markante stigninger i grundvandsstanden for begge områder i begge scenarier, der kan ses i figur 2.2 og 2.3. Pga. forskelle i geologi og klima i de to områder, drages der dog to forskellige konklusioner for de to områder.

For Sjælland, hvor de terrænnære jordlag udgøres af lavpermeable jordarter, findes der en markant stigning i vandløbsafstrømningen i vinteren, og et fald i afstrømningen om sommeren. Årsagen til dette er, at en mindre del af vinterens nedbør vil infiltrere, og i stedet strømme af overfladenært, og dermed ikke forsinkes som i det nuværende klima. For Vestjylland er problemet også større vinterafstrømning og mindre sommerafstrømning, dog i mindre grad, grundet sandede jorde. Problemet med stigende grundvandsstand er større i Vestjylland. Som illustreret i figur 2.2 og 2.3, er der store områder med store positive trykforskelle, hvilket tyder på at der kan komme perioder hvor lavtliggende områder og ådale vil oversvømmes i det fremtidige klima.



Figur 2.2: Trykforskelle i de primære grundvandsmagasiner i to klimascenarier [Sonnenborg, Christensen og Roosmalen 2007, s. 6]. Figur 1 af 2.



Figur 2.3: Trykforskelle i de primære grundvandsmagasiner i to klimascenarier [Sonnenborg, Christensen og Roosmalen 2007, s. 6]. Figur 2 af 2.

2.2 Hvornår regner vi på vandløb i Danmark?

Som det fremgik af forrige afsnit, er der problemer med vandløbsoversvømmelser i Danmark, og det forventes at problemerne bliver mere udtalte fremtidigt. Der findes flere sammenhænge hvor der regnes på oversvømmelser fra vandløb, samt andre sammenhænge hvor der regnes på vandløb, der kan undersøges nærmere.

2.2.1 Planlægning og oversømmelsesdirektivet

Et eksempel, der allerede er delvist introduceret i rapporten, hvor der regnes på oversvømmelser fra vandløb, er ifm. oversvømmelsesloven. Oversvømmelsesdirektivet er implementeret i den danske oversvømmelseslov. Kystdirektoratet [2018] har som en del af anden planperiode, udarbejdet en sammenfatning af beregninger af oversvømmelser fra hav og vandløb, og sammenstillet disse med et fremstillet sårbarhedskort. Denne sammenstilling bruges til at udpege og revurdere Danmarks risikoområder, når det kommer til oversvømmelse både iht. hav og vandløb. Her er vandløbsberegninger en del af udpegningen i forbindelse med oversvømmelsesdirektivet, hvor EU-medlemslandene skal vurdere og styre risikoen for ekstreme oversvømmelser, for at reducere de negative fremtidige konsekvenser. [ibid.]

En anden kontekst hvor der regnes på vandløbsoversvømmelser er i kommunernes DK2020-planer. DK2020 er et samarbejde de danske kommuner frivilligt har kunnet indgå i, hvoraf 96 af af de i alt 98 kommuner i Danmark har valgt at indgå. Formålet er at få implementeret målene fra Parisaftalen, særligt for klimatilpasning. En del heraf er, ligesom i oversvømmelsesdirektivet, at få udpeget risikoområder for oversvømmelser, og derigennem

udvælge konkrete indsatsområder og handlingsplaner derfor [Miljøministeriet / Miljøstyrelsen 2022a]. Der er tale om risikoområder i forbindelse med alle typer af oversvømmelser, og i de færdige klimaplaner godkendt af C40 og CONCITO inkluderer følgende kommuner klimatilpasning relateret til oversvømmelser fra vandløb [Kommunernes Landsforening 2022]:

- Albertslund Kommune ifm. med vandløbsoplandende Harrestrup Å, Bækrenden og Store Vejleå
- Allerød Kommune ifm. et tillæg til klimaplanen for at håndtere oversvømmelse
- Assens Kommune
- Fredensborg Kommune ifm. klimatilpasning langs Nivåen og Usserød Å
- Frederikshavn Kommune ifm. Elling Å, Bangsbo Å, Sæby Å og Voer Å
- Helsingør Kommune ifm. vandtilbageholdelse
- Herning Kommune ifm. helhedsorienteret vandplanlægning og vandtilbageholdelse
- Horsens Kommune ifm. oversvømmelse fra Bygholm Å og Dagnæs Bæk
- Høje Taastruup Kommune ifm. Sengeløse Å, Vasby Å, Mølleåen og Spang Å
- Jammerbugt Kommune ifm. helhedsplanlægning for Ryaa og Blokhus Bæk
- Køge Kommune
- Odsherred Kommune ifm. manglende kapacitet i vandløbene
- Randers Kommune ifm. ældre klimatilpasningsplaner og en opdateret risikostyringsplan
- Roskilde Kommune ifm. Værebro Å, Skelbækken og Sibækken
- Samsø Kommune ifm. kapacitet og tilbageholdelse i Sørenden
- Sorø Kommune ifm. lavbundsindsatsen
- Svendborg Kommune
- Vejle Kommune

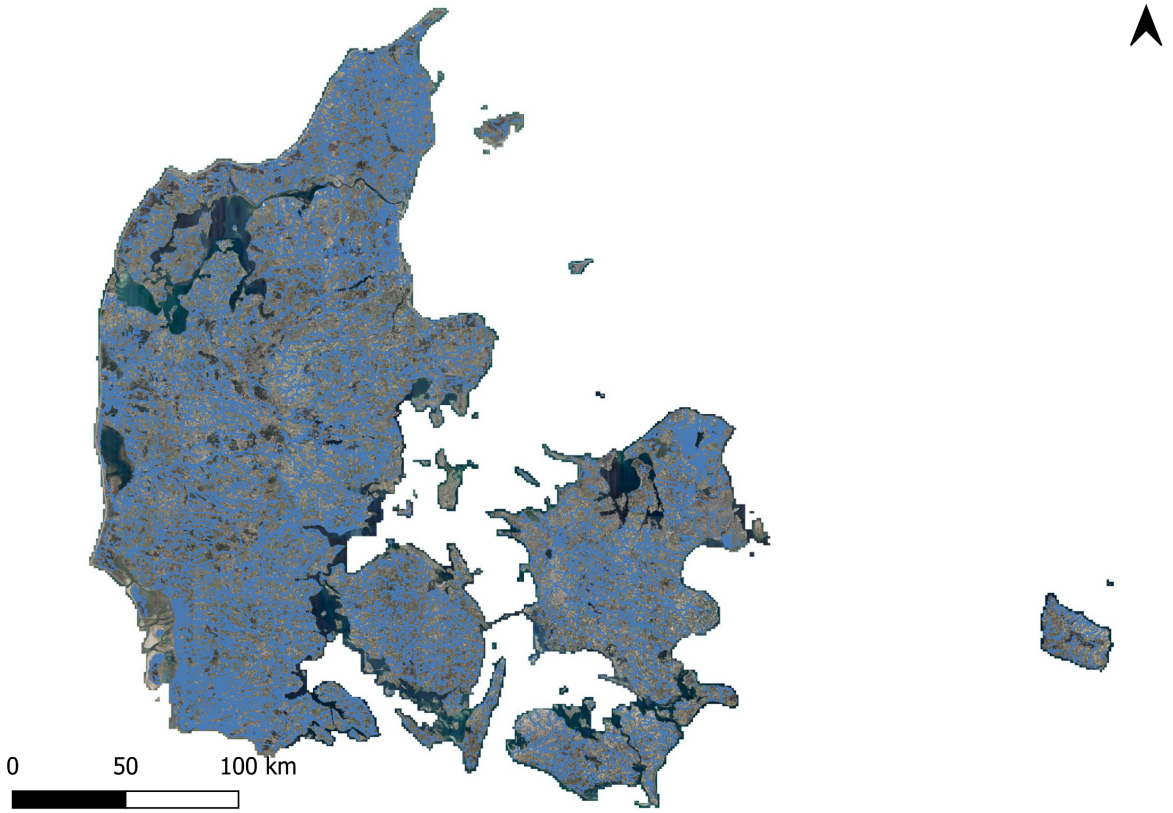
Det kan desuden også nævnes at det i planloven er beskrevet at der i kommuneplanlægningen skal indgå en kommunal risikostyringsplan iht. lov om vurdering og styring af oversvømmelsesrisikoen fra vandløb og søer og bekendtgørelse om vurdering og risikostyring for oversvømmelser fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet [Indenrigs- og Boligministeriet 2020]. Planloven leder altså tilbage til oversvømmelsesloven, hvor der stilles krav til risikostyringsplaner [Miljøministeriet 2017b].

Det er altså i planlægningssammenhæng, både på nationalt niveau samt kommunalt niveau, nødvendigt at kunne regne på vandløbsoversvømmelser. Især da vandløb og klima ikke er stationære, og der derfor fremtidigt vil fortsætte med at være behov for at planlægge og risikostyre.

2.2.2 Miljøpåvirkninger og naturbeskyttelse

Andre tilfælde hvor det kan være relevant at regne på vandløb generelt, og ikke nødvendigvis alene på vandløbsoversvømmelser er ifm. miljøpåvirkninger. Dette kan konkret være i forbindelse med myndighedsansøgninger, ved projektor hvor der enten indvindes eller udledes vand. Indvinding af grundvand kan påvirke afstrømningen i vandløb, så den formindskes, og udledning kan øge vandføringen så vandløbet lider hydraulisk overlast. Det er beskrevet i naturbeskyttelsesloven at der ikke må foretages tilstandsændringer i vandløb eller dele af vandløb, der er udpegede som beskyttede. De beskyttede vandløb i Danmark kan ses i figur 2.4. Det kan ses af figuren, at hele landet er dækket af et tæt net af beskyttede vandløb. Selv for vandløb der ikke er beskyttede, er der anmeldelsespligt hvis der ændres i tilstanden.

Det vil altså sige alle vandløb i Danmark i nogen grad er omfattet af naturbeskyttelsesloven [Miljøministeriet 2022].



Figur 2.4: Beskyttede vandløb i Danmark markeret med blå [Danmarks Miljøportal 2022].

Ydermere findes vandrammedirektivet, som har til formål at beskytte vandmiljøer i alle EU-lande. Vandmiljøerne omfatter vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand. Vandrammedirektivet er implementeret i den danske lov om vandplanlægning [Miljøstyrelsen 2022a]. Den danske lov om vandplanlægning leder videre til bekendtgørelsen om fastsættelse af miljømål for vandløb, søer, kystvande, overgangsvande og grundvand [Miljøministeriet 2017a]. I denne beskrives hvordan vandløb, og andre øvrige vandmiljøer kan tilstandsbestemmes. Tilstandsbestemmelsen varierer efter kategoriseringen af vandmiljøet, men den generelle vurdering er funderet i, at god kvalitet eller godt potentiale, betyder der er meget få eller ingen menneskeskabte ændringer i vandløbet.

I tilstandsvurderingen bruges termen *biologiske kvalitetselementer*. For vandløb beskrives der under biologiske kvalitetselementer, at de hydromorfologiske elementer understøtter de biologiske elementer. Der er tale om emner som størrelsen af afstrømningen, hydraulisk kontakt til grundvand, variation i dybde og bredde, bundforhold, med mere [Miljøministeriet 2016]. Det vil altså sige, at kunne regne på vandløb og på skiftende scenarier også er meningsfuldt i denne kontekst. Dog påpeges det af L. D. Henriksen m.fl. [2019] at de hydromorfologiske støtteparametre egentligt ikke støtter tilstandsvurderingen, fordi der er så mange påvirkningsfaktorere af vandløb.

2.3 Hvordan regner vi på vandløb?

For at klargøre hvilke metoder beregningerne og resultaterne fra *Stream Flood* holdes oppe imod senere i projektet, må de typer software der ofte anvendes til at regne på strømninger i vandløb kendes. Dette indebærer både at kende til typerne, men også at kende til Mannings formel og de parametre denne indeholder. Der findes flere forskellige typer software designet til at regne på vandløb. De forskellige typer varierer i kompleksitet, hvor de mest simple metoder baserer sig på terrænanalyse og i stationære endimensionelle beregninger og de mere komplekse kan regne i flere dimensioner og dynamisk. Noget af det software der almindeligt anvendes er:

- VASP
- SCALGO Live
- MIKE HYDRO River
- MIKE 11 & MIKE 21
- MIKE FLOOD

2.3.1 Mannings formel

I de mere simple programmer med endimensionelle stationære strømningsberegninger er det Mannings formel der bruges til at bestemme vandspejlets højde i vandløbet. Mannings formel for vandhastigheder og vandføringer gennem et tværsnit lyder som følger [Larsen 2017]:

$$V = M \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \tag{2.1}$$

$$Q = A \cdot M \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \tag{2.2}$$

Hvor:

V	Er middelstrømningshastigheden [m/s]
Q	Er middelvandføringen [m^3/s]
A	Er tværsnittets areal [m^2]
M	Er Manningtallet [$m^{1/3}/s$]
I	Er hældningen på energilinjen over strækningen [$-$]
R	Er den hydrauliske radius i tværsnittet, defineret ved det gennemstrømmede areal delt med den våde perimeter $R = A/P$ [m]

Som det fremgår af ligning 2.1 og 2.2, vil et højere Manningtal, betyde en højere vandhastighed eller en højere vandføring, hvis tværsnittet forbliver konstant. Et højere Manningtal er tilsvarende mindre hydraulisk modstand, hvilket vil tillade højere vandhastigheder og vandføringer. Modsat er et lavere Manningtal tilsvarende højere hydraulisk modstand. Det ses også at ved øget hydraulisk radius, og altså mere gennemstrømmet areal relativt til den våde perimeter, vil vandhastigheden og vandføringen stige, og det samme gør sig gældende for hældningen på energilinjen. Disse to størrelser er dog ikke ligefrem proportionale med vandhastigheden og vandføringen.

Dybden af vandspejlet, y, fremgår implicit af både den hydrauliske radius og tværsnitsarealet. Derfor kan højden af vandspejlet bestemmes iterativt, når der findes en kendt vandføring, gradient samt Manningtal. Højden af vandspejlet benævnes den naturlige dybde, og beregningen deraf sker under antagelse af at bundhældningen og tværsnittet i vandløbet, er tilnærmelsesvis konstante over den givne strækning hvor der ønskes at regne naturlig dybde.

2.3.2 VASP, SCALGO & MIKE

Ifølge Davidsen [2019] er VASP og SCALGO Live passende til analyser på screeningsniveau, og MIKE HYDRO River, efterfølger af MIKE 11, passende til analyser med et højere detaljeringsniveau. Det er altså VASP og SCALGO Live der på detaljeringsniveau minder mest om *Stream Flood*, da der her er tale om analyser af terrænmodellen frem for hydrodynamisk modellering.

VASP er et program der er udviklet af Orbicon. Programmet bruges til at håndtere og regne på vandløbsdata. I VASP er der tale om en stationær model hvor der inputtes tværsnit langs vandløbet, altså et længdeprofil, vandføring og Manningtal. Med disse kendt beregnes den naturlige dybde i det det givne vandløb, ved den givne vandføring. [ibid.]

SCALGO Live bruger også Manning-formlen i deres udregning af vandstanden i vandløb. Her genereres tværsnit langs en vandløbslinje på baggrund af højdemodellen. Beregningerne er igen stationære, og der anvendes et nationalt gældende Manningtal, og et nationalt datasæt for vandløbsmidter. I tilfælde af bygværker hvor der ikke længere er frit vandspejl i højdemodellen, bliver flowet sendt videre nedstrøms bygværket. Den endimensionelle beregning fører til en vandstand, der derefter fordeles ud i terrænmodellen. Fordelingen ud i terræn foregår ved, at strømningsvejen opstrøms fra vandløbet følges i terrænmodellen. Cellerne i terrænmodellen markeres som oversvømmede indtil højden af terrænmodellen overstiger højden af vandspejlet. Hvis vandspejlet når over højden der markerer kanten af et delopland, markeres der en overflow path. [SCALGO ApS u.d.(b)]

I SCALGO Live kan vandføringen, angivet arealspecifikt, ændres med en slider i brugerinterfacen, hvor det således kan undersøges hvordan øgede vandføringer oversvømmer vandløbsnære arealer. Der er også en funktion hvor vandspejlet i vandløbet med en slider kan hæves relativt til vandspejlet, der er opmålt i højdemodellen. Desuden kan der også oprettes work spaces hvor der kan specificeres flows og vanddybder i knudepunkter langs vandløbet, frem for ændringer i hele vandløbet på en gang. [ibid.]

I de forskellige MIKE programmer kan der også regnes stationært som med de ovenstående metoder. Analyserne kan også gøres dynamiske, og baseres på hændelser. Der er desuden mulighed for at koble en vandløbsmodel med modeller for grundvand, hav og afløb. For at regne dynamisk, og i øvrigt flere dimensioner, bruges der andre strømningsligninger end Manningformlen. Navier-Stokes-ligningerne anvendes og løses iht. om der er tale om 1, 2 eller 3 dimensioner. Med disse ligninger kan der forekomme en diskretisering både i tid og sted, hvor der kan regnes på mere komplekse situationer end ovenstående nævnte software kan. [DHI A/S 2022] [DHI A/S 2021]

2.4 Hvad er Stream Flood?

Med ovenstående afsnit er det undersøgt hvorfor og hvordan andre typer software kan bruges til at regne på strømninger i vandløb og oversvømmelser derfra. Med disse kendt, er det meningsfyldt at redegøre for hvordan det i praktikken udviklede plugin fungerer, samt årsagen til det blev udviklet.

2.4.1 Hvorfor blev pluginet udviklet?

Pluginet *Stream Flood* blev i første omgang udviklet for at undersøge hvilke vandløbsnære områder er sårbare overfor vandløbsoversvømmelser. Værktøjet skulle fungere som et screeningsværktøj, hvor der på hurtig og effektiv vis, med få input, kunne fås et overblik over kritiske områder i systemet, hvor det kunne være meningsfyldt at etablere vandtilbageholdelse. Udviklingen af *Stream Flood* blev sat i gang i forbindelse med, at der skulle udarbejdes en helhedsplan for Storåen. Da Storåen har så stort et opland og strækker sig over store længder, gav det mening at igangsætte en automatiseret analyse, hvor det var nemt at ændre på inputparametre, og hurtigt at køre store datamængder igennem.

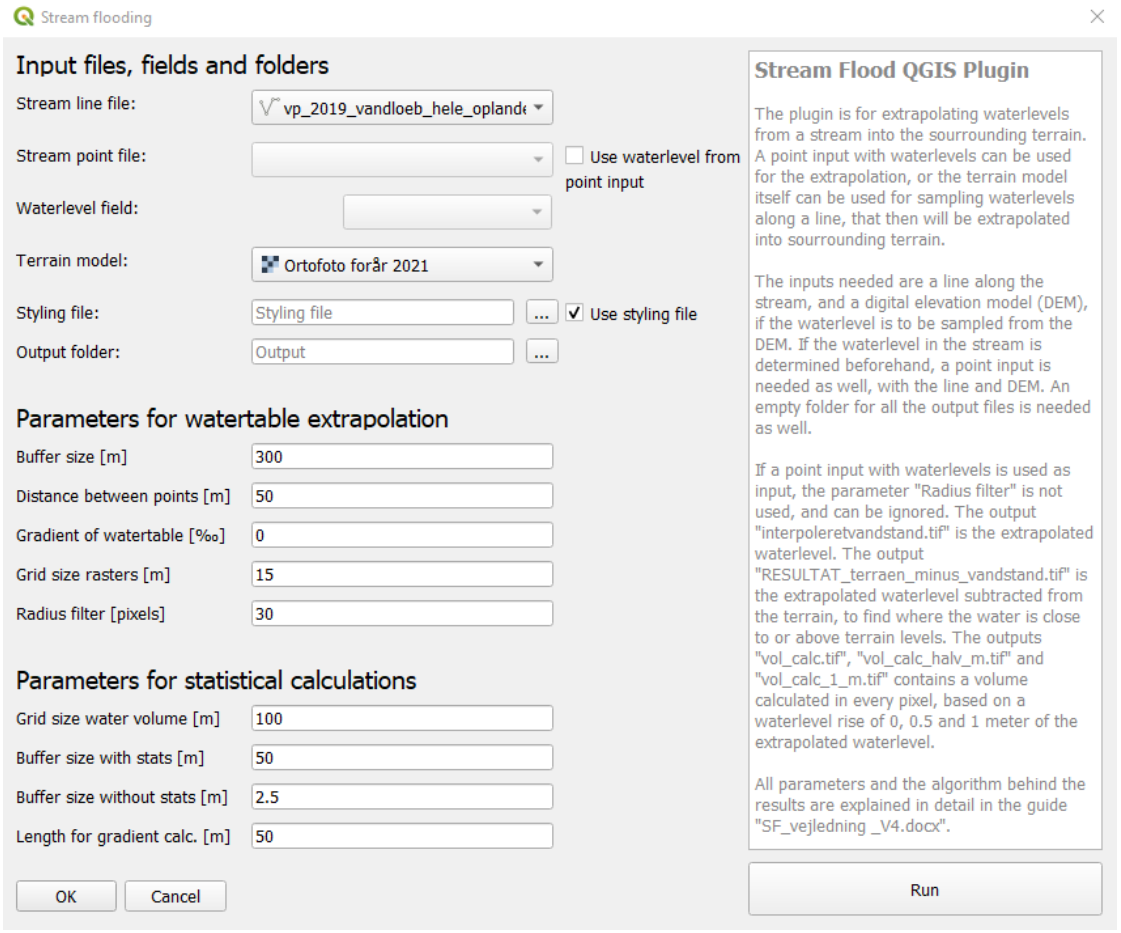
2.4.2 Hvordan fungerer pluginet?

Pluginet fungerer ved automatisk at generere et kort over grundvandsstanden i det vandløbsnære område der ønskes undersøgt, under den antagelse at vandspejlet i vandløbene i DHM er repræsentative for grundvandsspejlet omkring et vandløb. Yderligere en antagelse der gøres her er, at vandspejlet i vandløbene aflæst i DHM faktisk er repræsentative for de vandspejl der findes i vandløbene. Grundvandsstandens højde bestemmes ud fra samplede punkter med vandstande i vandløbene, hvor disse samplede værdier interpoleres, udglattes og ekstrapoleres ud i terræn.

Dermed kan der regnes på afstanden mellem grundvandsspejlet og terrænet. Foruden at regne på afstanden mellem grundvandsspejl og terræn, bliver der også regnet på hældningen på vandspejlet langs vandløbet, samt statistiske størrelser af afstande mellem grundvandsspejl og terræn, i en given afstand fra vandløbet. Et skærmbillede af brugerinterfacen i *Stream Flood* kan ses nedenfor i figur 2.5.

Som det kan fremgår i figur 2.5, er de eneste input der reelt er nødvendige, en terrænmodel og en linje der ligger i det vandløb, hvor området ønskes undersøgt. Begge dele er frit tilgængelige i Danmark. Der er desuden også mulighed for, at bruge forhåndsberegnede vandstande i et vandløb som input, frem for at de samples i DHM. I den anvendelse er det dog ikke længere et værktøj til at lave screeninger ved hjælp af frie tilgængelige data, men nærmere et værktøj til at illustrere resultater opnået i andre kommercielle beregningsprogrammer, som de nævnt i afsnit 2.2.

Det vandspejl der bliver genereret i *Stream Flood*, bliver derefter brugt til at undersøge afstande mellem terræn og grundvandsspejl, både i tilfældet hvor vandspejlet er som den dag højdemodellen er blevet opmålt, men også hvor vandsstanden i vandløbene er hævet hhv. 0,5 og 1 m relativt til højdemodellen. Disse kortlægninger med hævet vandstand, er tænkt som en slags oversvømmelseskort.



Figur 2.5: Brugerinterface i pluginet *Stream Flood*. Egen figur.

Efter pluginet er udviklet, er der udarbejdet en brugervejledning der i detaljen beskriver hvordan de forskellige output udregnes, hvordan værktøjet bruges, og de kendte svagheder pluginet har. Selve pluginet kan installeres via det elektroniske bilag, bilag AA, og vejledningen kan findes i bilag AB. Det anderkendes desuden at navnet *Stream Flood* ikke er retsvisende for alle værktøjets funktioner.

På trods af at pluginet kun er tiltænkt screeningssituationer, er det interessant at få undersøgt metoden. Beregningsmetoderne bag pluginet er simple, stationære beregninger, baseret på et vandspejl der ikke er defineret statistisk, og vandføringer der ikke er defineret statistisk. Derfor tages der netop ikke hensyn til hvor ofte de oversvømmelsesudbredelser og afstande mellem grundvandsspejl og terræn der udregnes, egentligt burde forekomme.

2.4.3 Hvad kan screeningerne bruges til?

Foruden at screene for oversvømmelsessårbare områder, blev *Stream Flood* som nævnt også udviklet med den hensigt, at resultaterne fra screeningen skulle kunne bruges til yderligere analyse af arealer, hvor vandtilbageholdelse kunne være gunstigt. Derfor er der under praktikken udviklet yderligere et plugin til at sammenholde data fra forskellige relevante kortlægninger. Pluginet er navngivet *VandparkeringVurderingVærdi (VVV)*. Dermed er det også interessant at undersøge pluginet VVV og resultaterne derfra, i den valgte case. Hovedfokus i projektet ligger dog i at undersøge resultaterne fra, og metodikken bag, *Stream Flood*.

3 | Problemformulering

Gennem introduktionen blev det beskrevet, at det ønskes at undersøge hvor valide resultaterne fra det udviklede QGIS-plugin *Stream Flood* er, med udgangspunkt i Storåen og oplandet for Storåen som case. I ovenstående problemanalyse er det blevet belyst, at der er behov for at kunne regne på vandløb og oversvømmelser derfra. Det blev også undersøgt i hvilke sammenhænge beregninger på vandløb kan bruges, og at oversvømmelser fra vandløb er et problem der kan forventes stigende i fremtiden. Slutteligt blev det undersøgt hvilke metoder og software der bruges til at regne på strømninger i vandløb og oversvømmelser fra vandløb. På baggrund af den viden, der er opnået gennem problemanalysen, opstilles følgende problemformulering og underspørgsmål:

Problemformulering:
Hvordan er beregningsresultaterne fra QGIS-pluginet Stream Flood, herunder interpolerede vandstande og oversvømmelsesudbredelser, repræsentative for Storåen og Storåens opland, og hvordan kan de bruges til at screene for arealer til vandtilbageholdelse?

Underspørgsmål:

1. Hvilke vandstande og oversvømmede arealer genereres af *Stream Flood* ved input af Storåen?
2. Hvordan er vandstandene genereret af *Stream Flood* repræsentative for målte vandstande i Storåen?
3. I hvor stor grad er der sammenfald mellem oversvømmelseskortlægninger genereret af *Stream Flood*, og analyser af vandløbet og oplandet udført i SCALGO Live?
4. Hvordan kan outputs fra *Stream Flood* bruges til at screene for arealer der kan være fordelagtige til vandtilbageholdelse?

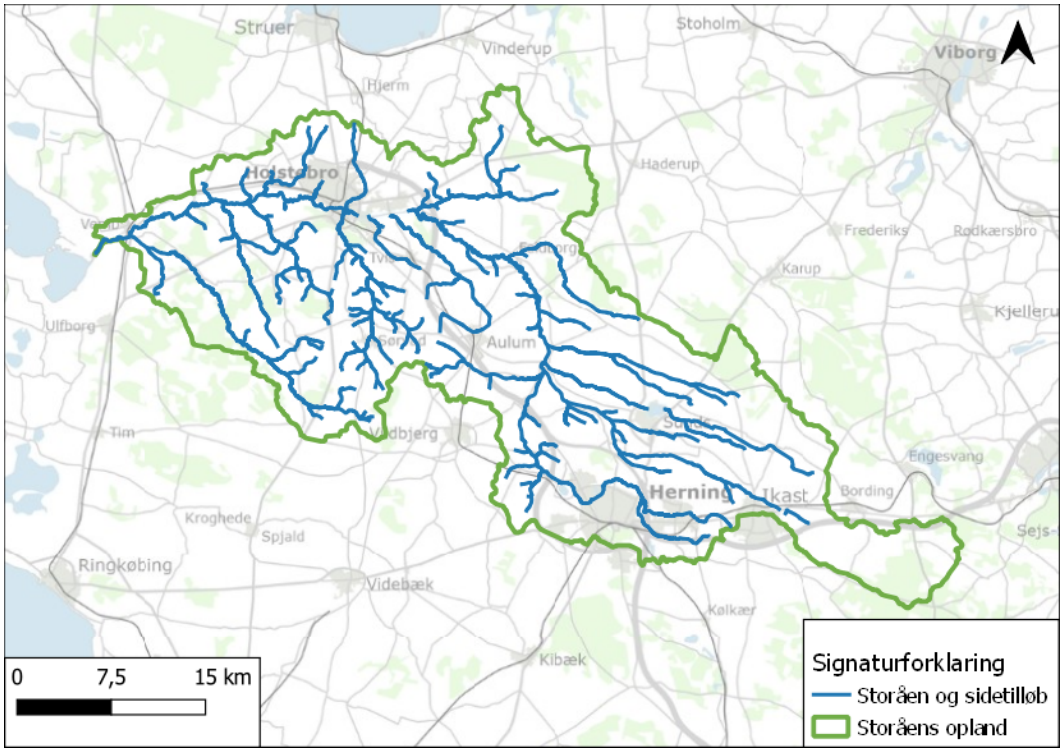
4 | Præsentation af case: Storåen

For at belyse problemstillingen formuleret i kapitel 3, er det som nævnt i indledningen valgt at arbejde med Storåen og dens opland som specifik case. I dette kapitel vil der gives en beskrivelse af Storåen og dens oplands karakteristiska. Derefter vil resultaterne præsenteres, når Storåen analyseres med det udviklede QGIS-plugin *Stream Flood*.

4.1 Om Storåen generelt

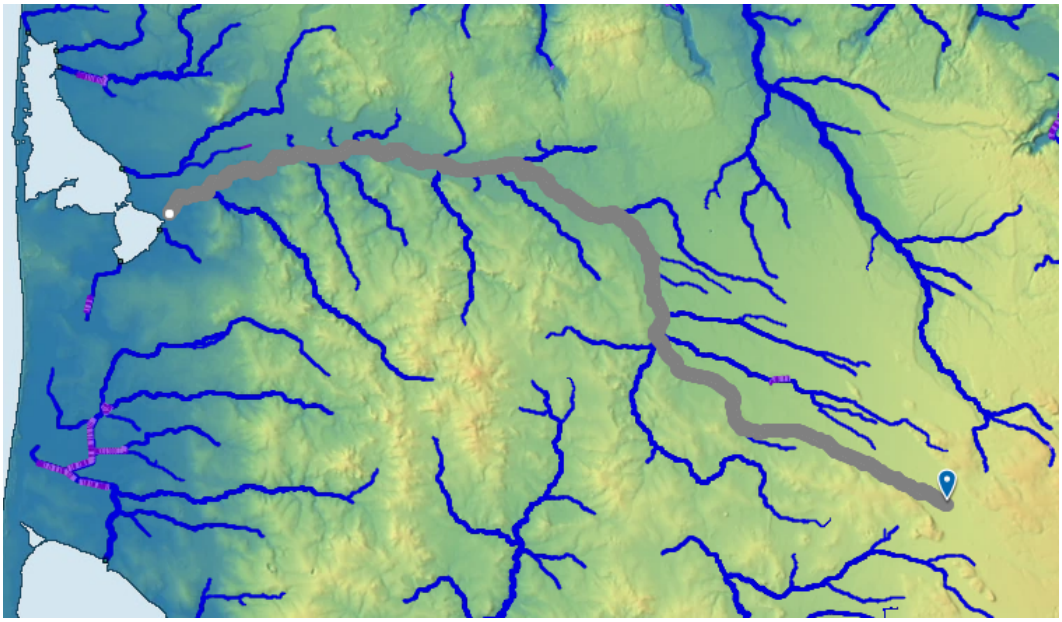
Storåen er Danmarks 2. største vandløb, med en længde på ca. 104 km. Bredden på åen når nogle stedet op på 27 m, og oplandet der afvandes af åen er ca. 1.100 km^2 stort. Storåen og dens opland kan ses i figur 4.1. Åen udspringer i Gludsted plantage og har udløb til Nissum Fjord. Der har historisk set været problemer med oversvømmelser i vinterhalvåret i Holstebro By. Oversvømmelserne i Holstebro fremkommer oftest på grund af gentagne regnhændelser i vinterhalvåret, samt ved tøbrud. [COWI A/S 2018]

Jordtypen i de øverste jordlag i Storåens opland, består hovedsageligt af typerne JB-1 (76%), JB-3 (8%), JB-11 (7%) og JB-4 (6%) [SCALGO ApS u.d.(a)]. Det vil sige hovedsageligt grovsandet jord, samt mindre områder karakteriseret som grov lerblandet sandjord, humus og fin lerblandet sandjord [Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri 2020].



Figur 4.1: Storåen og åens sidetilløb, samt oplandet for Storåen. Egen figur efter SCALGO ApS [u.d.(a)] og Miljøministeriet / Miljøstyrelsen [2022b]. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.

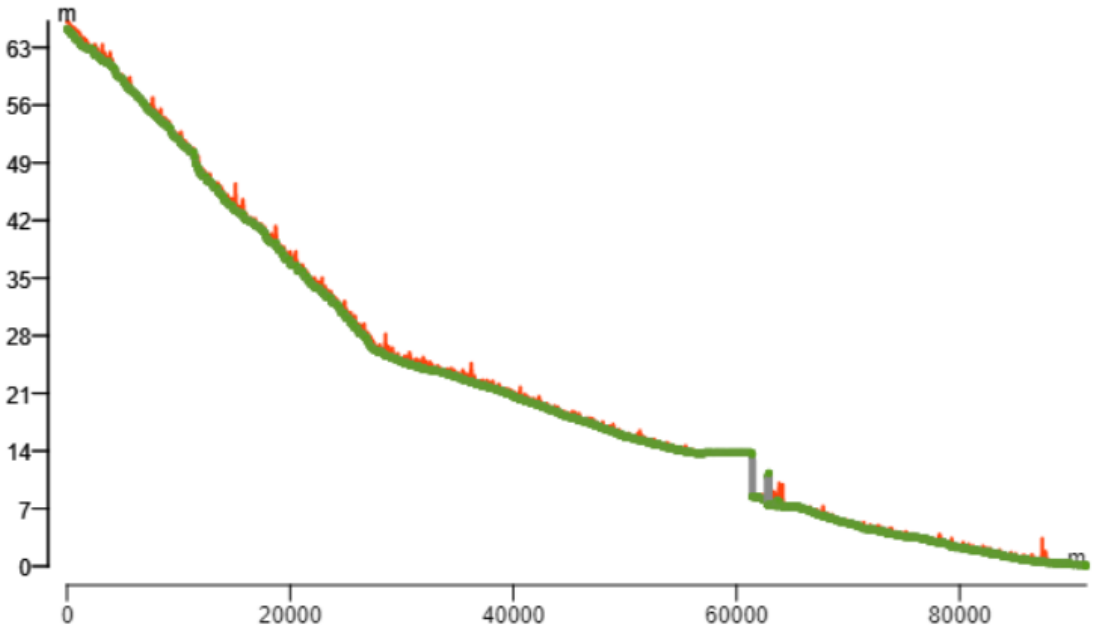
I figur 4.2 ses Danmarks højdemodel for Storåen og de omkringliggende arealer. I figuren kan det ses at der generelt i de øverste forgreninger af vandløbet er kuperet, og dermed bedre faldforhold. Nedstrøms ses det at terrænnet nær vandløbet i større grad begynder at tage form som ådalsstrukturer, hvor der er kuperet og gode faldforhold for sidetilløbene, men ikke for selve hovedstrækningen af vandløbet. Denne tendens genkendes også i profilsnittet i figur 4.3.



Figur 4.2: Danmarks højdemodel for arealet omkring Storåen. Storåen er markeret med grå. Markøren refererer til nulpunktet i profilsnittet optegnet i figur 4.3. Nord er opad i figuren. [SCALGO ApS u.d.(a)]

Det er desuden karakteristisk at åen fra sit udspring og ca. 28 km nedstrøms, har relativt høj gradient ift. resten af forløbet. Dette kan ses i profilsnittet i figur 4.3, der viser forløbet af Storåen langs strækningen vist i figur 4.2. Gradienten er på den øverste strækning ca. 1,4 promille, hvor den over de resterende 62 km er ca. 0,4 promille. Laves der en simpel betragtning, hvor hydraulisk radius, tværsnitareal og Manningtal fastholdes, svarer dette fald i gradient til en halvering i vandføringskapacitet for vandløbet, da $(1{,}4 \cdot 10^{-3})^{1/2} = 0{,}04$ og $(0{,}4 \cdot 10^{-3})^{1/2} = 0{,}02$.

Springene i længdeprofilet forekommer alle i Holstebro. Det første store spring, markeret ved ca. 60 km fra startpunktet i figur 4.3, er nedstrøms for vandkraftsøen, under Ringvejen. Her findes et opstemningsbygværk, også kaldet stemmeværk, der holder vandstanden i vandkraftsøen i kote 13,80 m DVR90. Her er der i SCALGO lavet en hydrologisk tilpasning ift. den originale højdemodel. Der ses også flere mindre spring et par kilometer længere nede af Storåen i figur 4.3. Disse fremkommer pga. veje der krydser Storåen, hvor der igen er lavet hydrologiske tilpasninger.



Figur 4.3: Profilsnit af højdemodellen langs Storåen. Snittet har nulpunkt i markøren vist i figur 4.2, og følger den grå linje der ligeledes ses i figur 4.2. [SCALGO ApS u.d.(a)]

4.2 Resultater fra Stream Flood

De resultater der er produceret i *Stream Flood*, for områder der er sårbare for stigninger i grundvandsstand og vandstandsstigninger i Storåen, kan for hele oplandet ses i bilag AC. De oversvømmelseskort der er lavet, baseret på en relativ stigning af vandstanden på 0,5 og 1 m kan for hele oplandet ses i bilag AD. Nedenfor er det beskrevet hvilke input der er brugt, og der er desuden udtaget 4 interessante nedslag hvor resultaterne fra pluginet beskrives nærmere. I bilag AC og AD kan placeringerne af nedslagene nedenfor også ses.

4.2.1 Input

De input der ses i tabel 4.1 er brugt i *Stream Flood* for at producere de nedenstående figurer og de tilhørende bilag AC og AD.

For at producere de nedenstående figurer for oversvømmelser, er det de samme kortlag der er brugt som for de sårbare områder. De er dog tematiseret forskelligt. I kortene for sårbare områder er resultaterne farvegradueret efter hvor langt over og under terræn grundvandspejlet findes, på baggrund af analysen i *Stream Flood*. I oversvømmelseskortene er alle celler farvelagt, hvor der er vand på terræn, på baggrund af analysen i *Stream Flood*.

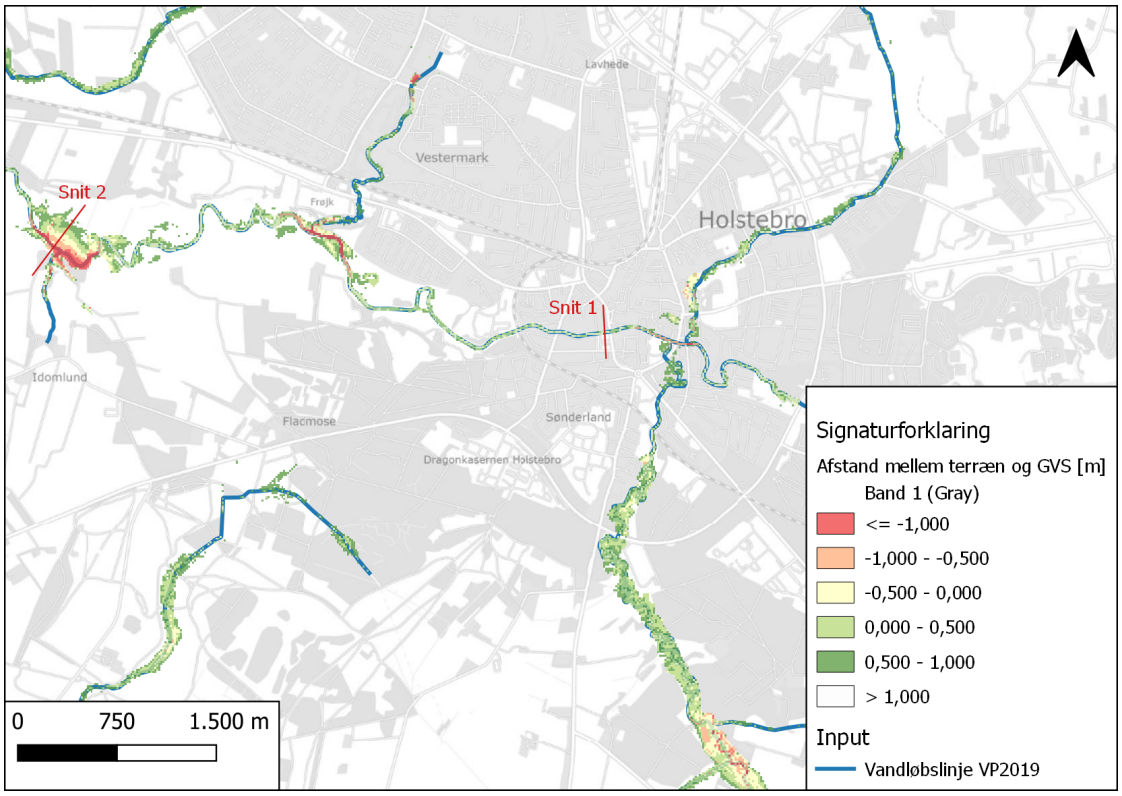
Parameter	Input	Enhed
Stream line file	Vandløbslinje fra vandområdeplaner. [Miljøministeriet / Miljøstyrelsen 2022b]	-
Terrain model	DHM inkl. bygninger	-
Buffer size	300	m
Distance between points	50	m
Gradient of watertable	0	‰
Grid size rasters	15	m
Radius filter	30	pixels
Grid size water volume	100	m
Buffer size with stats	50	m
Buffer size without stats	2,5	m
Lenght for gradient calc.	50	m

Tabel 4.1: Input brugt i *Stream Flood* til at generere outputs i bilag AC og AD, samt nedenstående figurere.

4.2.2 Output

Nedslagene der gennemgås nedenfor er valgt på baggrund af deres forskellige karakteristika, for at vise nogle forskellige typer output der kan blive dannet, selvom det er samme input der er brugt i alle tilfældene.

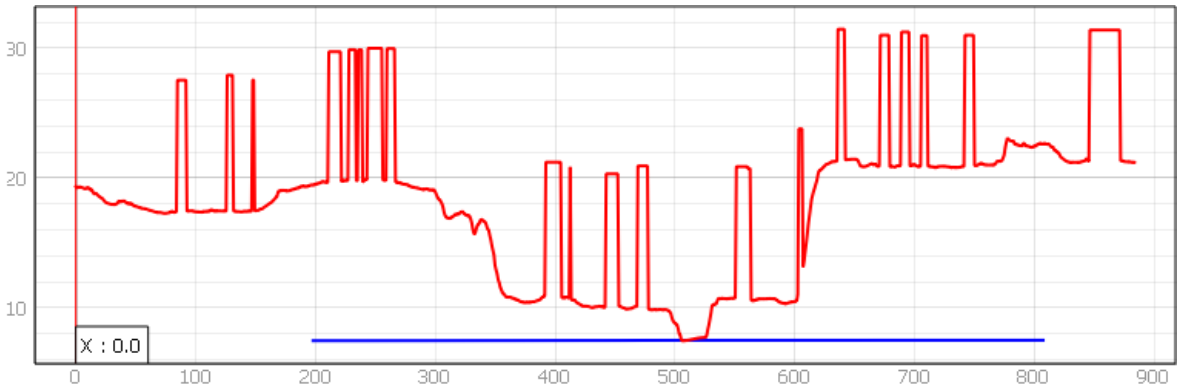
Nedslag 1: Holstebro Midtby



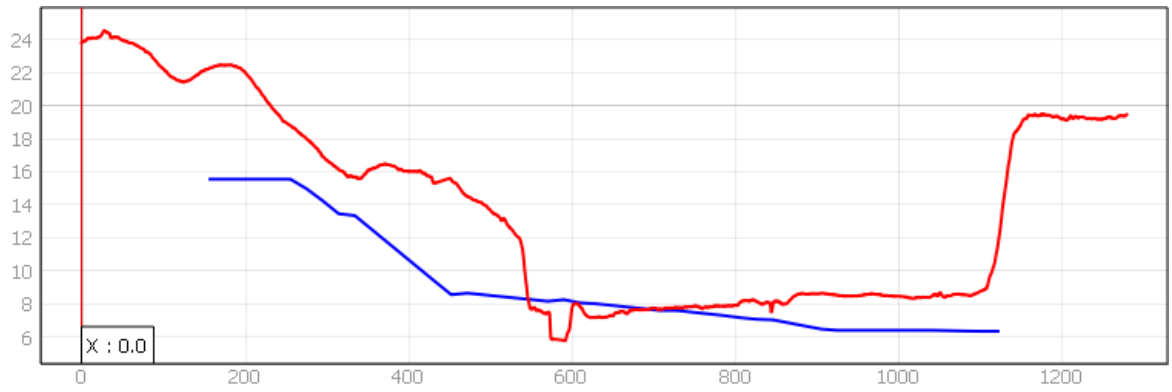
Figur 4.4: *Stream Flood* output for oversvømmelsessårbare områder i Holstebro Midtby. Egen figur. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.

I figur 4.4 ses det såkaldte sårbarhedskort for Holstebro Midtby. Som figuren viser, er der tale om afstanden mellem terræn og grundvandsspejl. Afstanden er defineret sådan, at negative afstande betyder vand på terræn. Det vil sige at det i figurerne er de røde, orange og gule områder, at vandet er over terræn. I de grønne er det under terræn. Er grundvandspejlet over en meter under terræn, vises det ikke i figurerne. Desuden er det valgte input for linjelaget, se tabel 4.1, et hvor det er afbrudt ved søer. Derfor er eksempelvis vandkraftsøen ikke med i analysen.

Det er iøjnefaldende at Holstebro Midtby generelt ikke viser udslag i analysen. Dette er ellers forventet, da Holstebro som nævnt i afsnit 4.1 historisk set har oplevet problemer med oversvømmelser fra Storåen. Undersøges Storåens forløb igennem midtbyen nærmere, kan det ved tværsnit gennem åen og de ekstrapolerede vandstande, se figur 4.5, ses at årsagen er, at der er en afstand på næsten to meter fra den vandstand der er samplet i åen, og det omkringliggende terræn. Derfor ser Holstebro Midtby ikke truet ud.

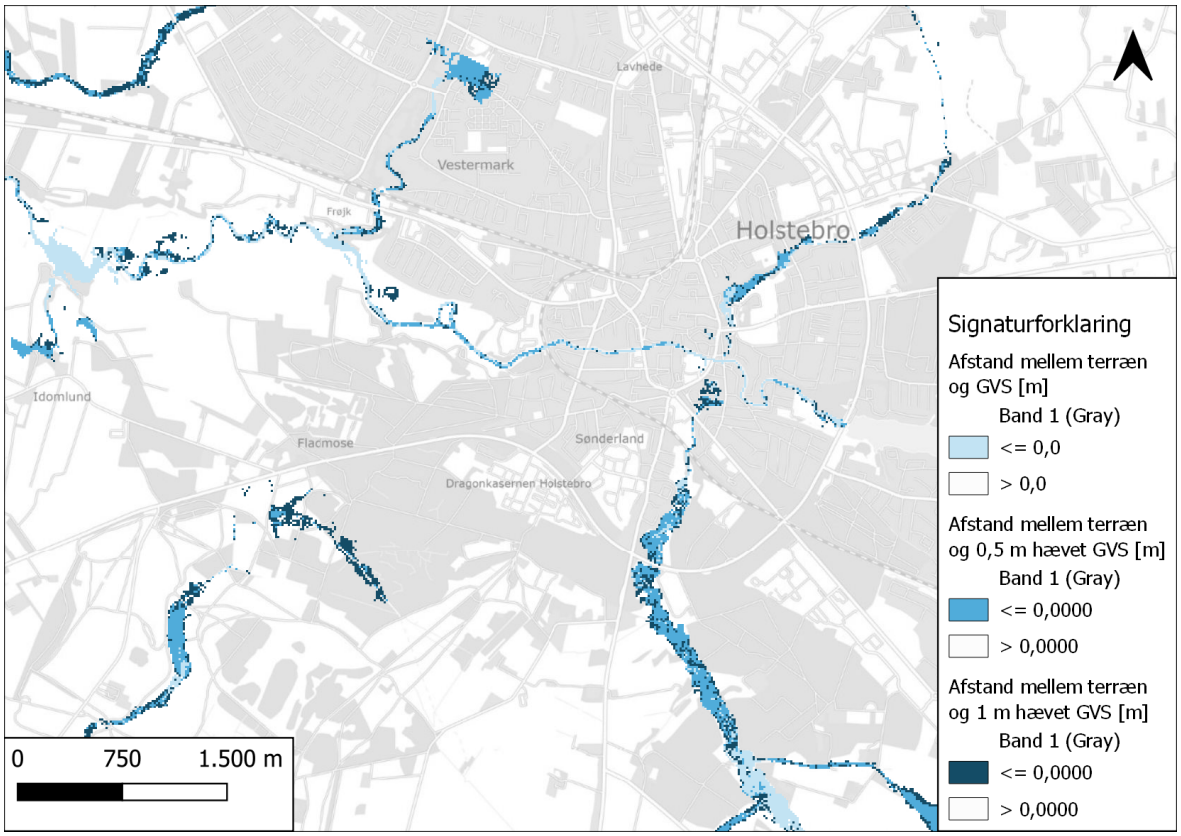


Figur 4.5: Snit 1 gennem det ekstrapolerede vandspejl (blå) og højdemodellen (rød). Placeringen af snittet kan ses i figur 4.4. Egen figur.



Figur 4.6: Snit 2 gennem det ekstrapolerede vandspejl (blå) og højdemoddellen (rød). Placeringen af snittet kan ses i figur 4.4. Egen figur.

Der ses dog alligevel et par områder, hvor vandet når på terræn. Det ene er vest for Holstebro og det andet syd for. Et snit gennem området vest for Holstebro, viser at vandspejlet dér, er en konsekvens af det sidetilløb der møder Storåen. Snittet kan ses i figur 4.6. I området syd for, kan det ses at arealerne der bliver udpeget, er brede ift. midtbyen. Dette er et udtryk for at der ikke længere er så stejl og høj en kant på vandløbet, som der er i Holstebro Midtby.

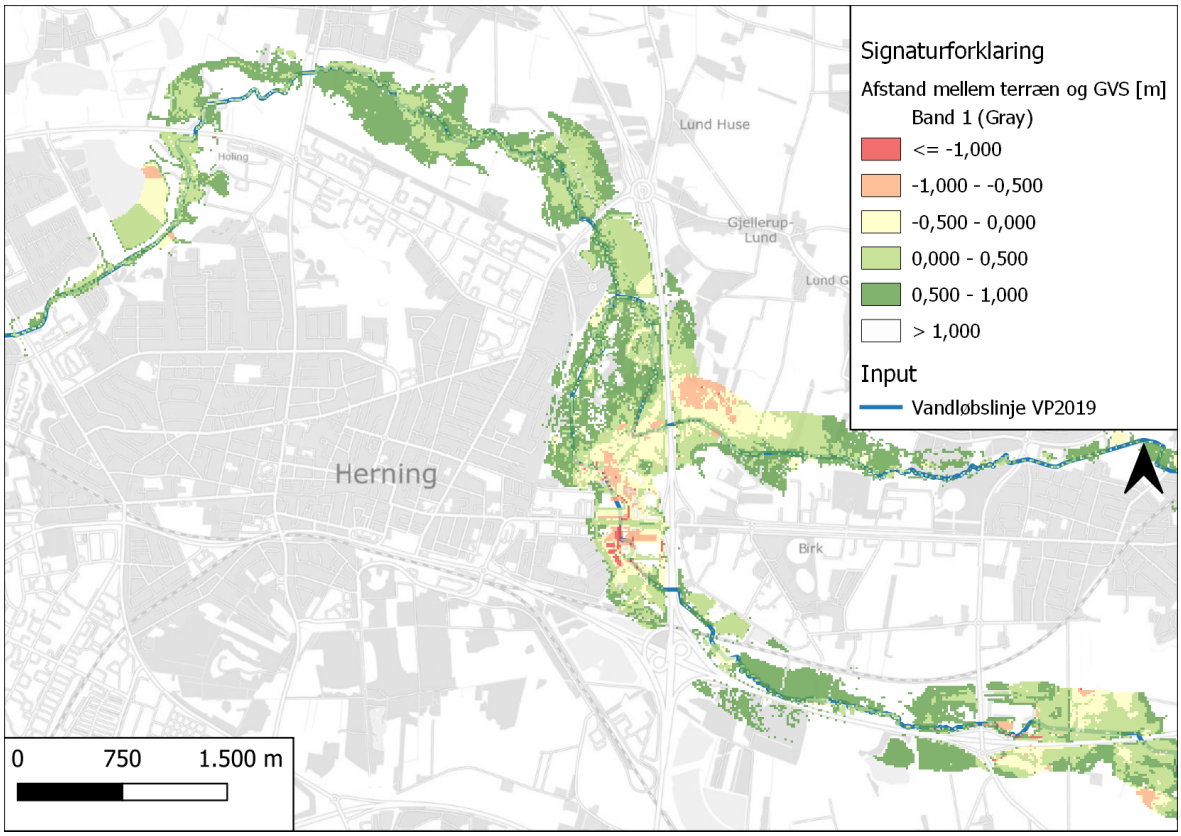


Figur 4.7: *Stream Flood* output for oversvømmelsesubredelser i Holstebro Midtby. Egen figur. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.

Oversvømmelseskortet består af en markering af alle våde celler i de kort, hvor grundvandsspejlet ikke er hævet, er hævet 0,5 m og 1 m. Det vil sige alle de røde, orange og gule områder i figur 4.4, vil være blå i 4.7. Det er igen bemærkelsesværdigt at der ikke er nogen problemer udpeget med oversvømmelser i Holstebro Midtby, men igen må det påpeges at når afstanden fra vandløbet og op til terræn er ca. 2 m, vil det naturligvis ikke vises nogen oversvømmelsesudbredelse, når vandstanden hæves 1 m.

Nedslag 2: Herning Midtby

Som det ses i figur 4.8, er det meget større arealer der påpeges som sårbare i Herning Midtby, end i Holstebro Midtby. For at forstå hvorfor så stort et areal øst for byen markeres som sårbart, kan det undersøges hvordan vandstandene er genereret i området.

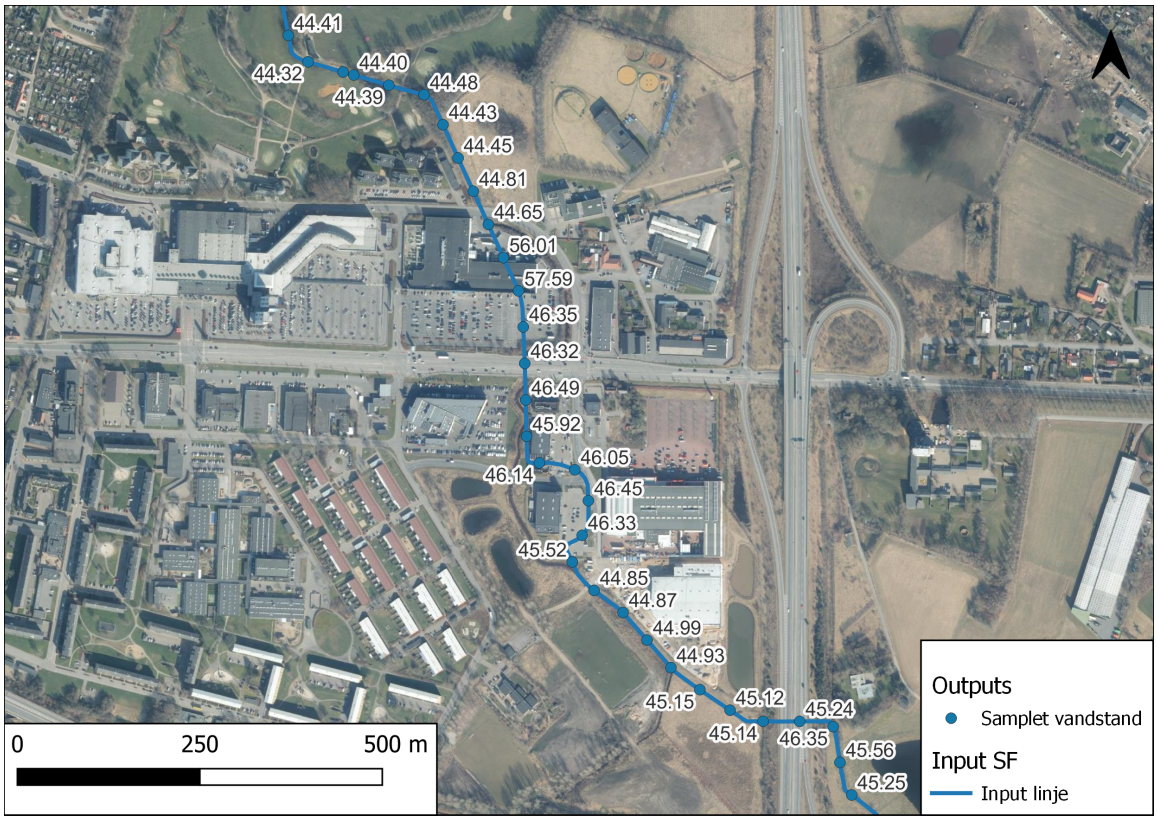


Figur 4.8: *Stream Flood* output for oversvømmelsessårbare områder i Herning Midtby. Egen figur. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.

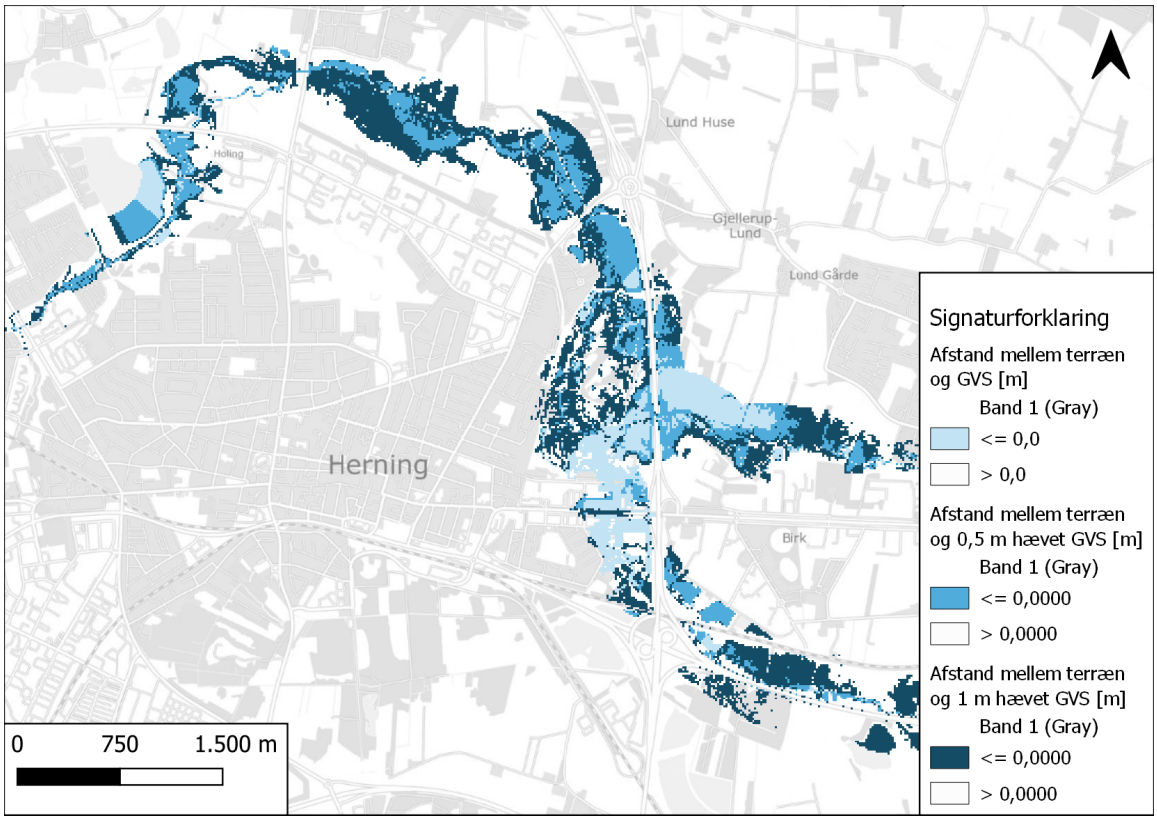
Linjen for vandløbet, samt de vandstande der er samplet fra højdemodellen i området kan ses i figur 4.9. Det fremgår tydeligt, at koten for vandløbet flere steder bliver valgt på baggrund af den faktiske kote af terrænnet. Dette er, som det kan ses i figuren, et produkt af vandløbslinjen der ikke følger vandløbet i terrænmodellen. Både steder hvor det i ortofotoet ser ud til at være rørlagt, og også steder hvor det løber frit, men ikke hvor linjen ligger. Derfor bliver terrænkoten ekstrapoleret ud i det omkringliggende terræn, hvilket resulterer i et sårbarhedskort det ikke er retsvisende.

For at undgå en fejl som dette, vil det være nødvendigt at flytte linjen for vandløbet, til faktisk at ramme vandløbet, og derefter køre *Stream Flood* igen. Ellers skal punktlaget hvor de samplede koter findes, bruges som input til en ny kørsel, men hvor de fejl-samplede punkter fjernes manuelt.

De større arealer nord for byen der er markerede i figur 4.10, ser ved nærmere undersøgelse ikke ud til at være udpeget på et forkert grundlag. Det vil sige at der findes et større areal nord for Herning, hvor grundvandsspejlet ligger mindre end en meter under terræn, ifølge analysen i *Stream Flood*.



Figur 4.9: Samplede vandstande fra en del af området øst for Herning. Egen figur.



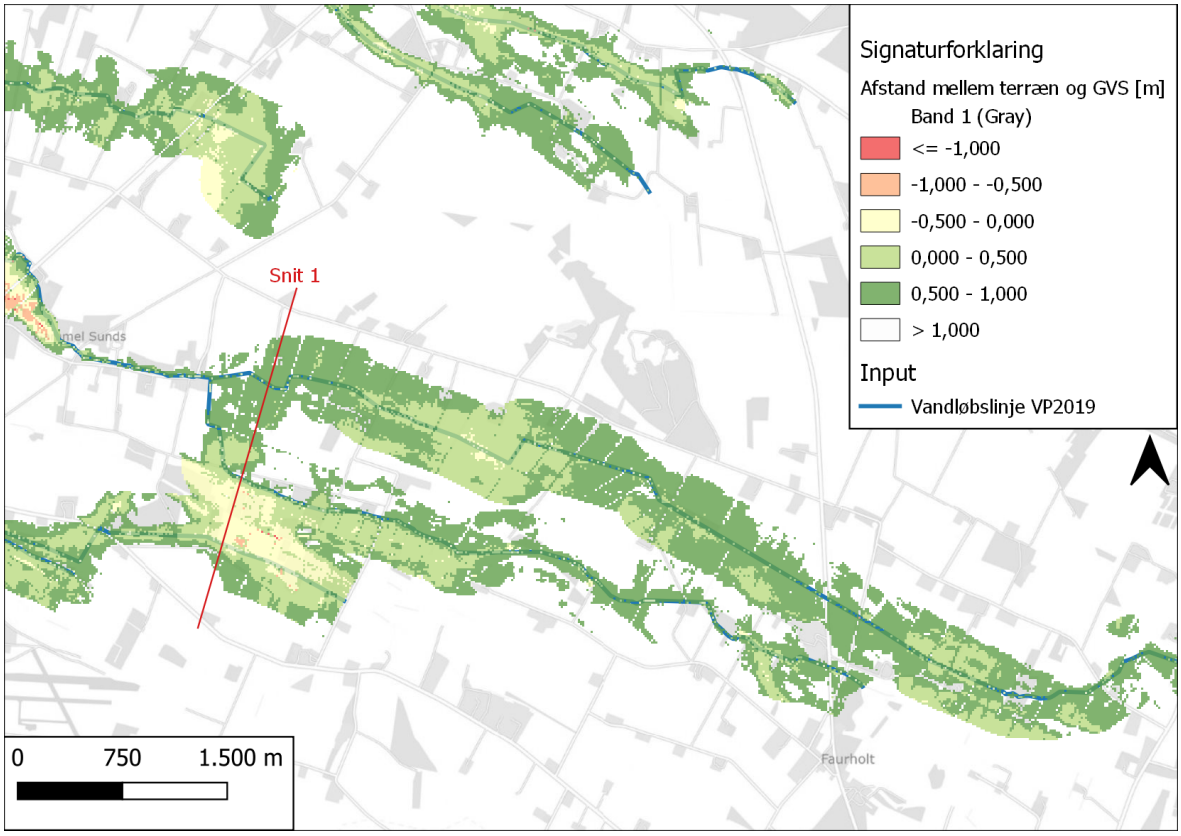
Figur 4.10: *Stream Flood* output for oversvømmelsesubredelser i Herning Midtby. Egen figur. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.

I oversvømmelseskortet i figur 4.10 er der også store udbredelser i området øst for Herning. Disse fremkommer af samme problematik som beskrevet ovenfor. Det kan i øvrigt ses at den afstand der er valgt at analysere i, bliver begrænsende for den udbredelse der vises. Dvs. visningen ikke stopper fordi oversvømmelsen stopper, men fordi vandfladen ikke er ekstrapoleret længere ud. Dette kan undgås ved det at sætte parameteren *Buffer size* i pluginets interface op, hvorefter pluginet skal køres igen. Det er dog ikke nødvendigt her, da udbredelsen som nævnt ikke er retsvisende.

Området nord for Herning er umiddelbart stadig retsvisende, hvor det tyder på at et større areal vil oversvømmes hvis vandstanden i vandløbet stiger 0,5 og 1 m. Der er ingen bebyggelse på arealet, der er ca 1,2 km^2 stort. Hovedsageligt består det af §3-beskyttet natur, herunder mose og eng.

Nedslag 3: SV for Gammel Sunds

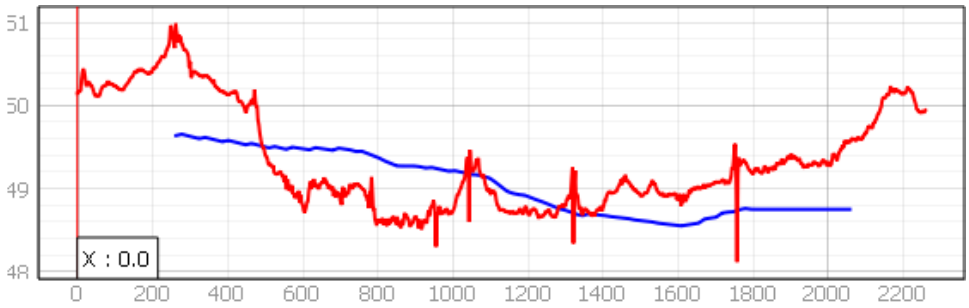
Dette areal er valgt fordi det netop ikke er bynært, som de to ovenstående arealer. Desuden er dette areal, som det kan ses i bilag AC, i toppen af vandløbssystemet ift. de andre nedslag. Det kan altså forventes at vandløbet har væsentligt andre karakteristika her, ift. nedstrøms, hvor der er relativt stor bredde på vandløbet, hvilket giver større chance for at der faktisk samples vandspejlskoter de rigtige steder.



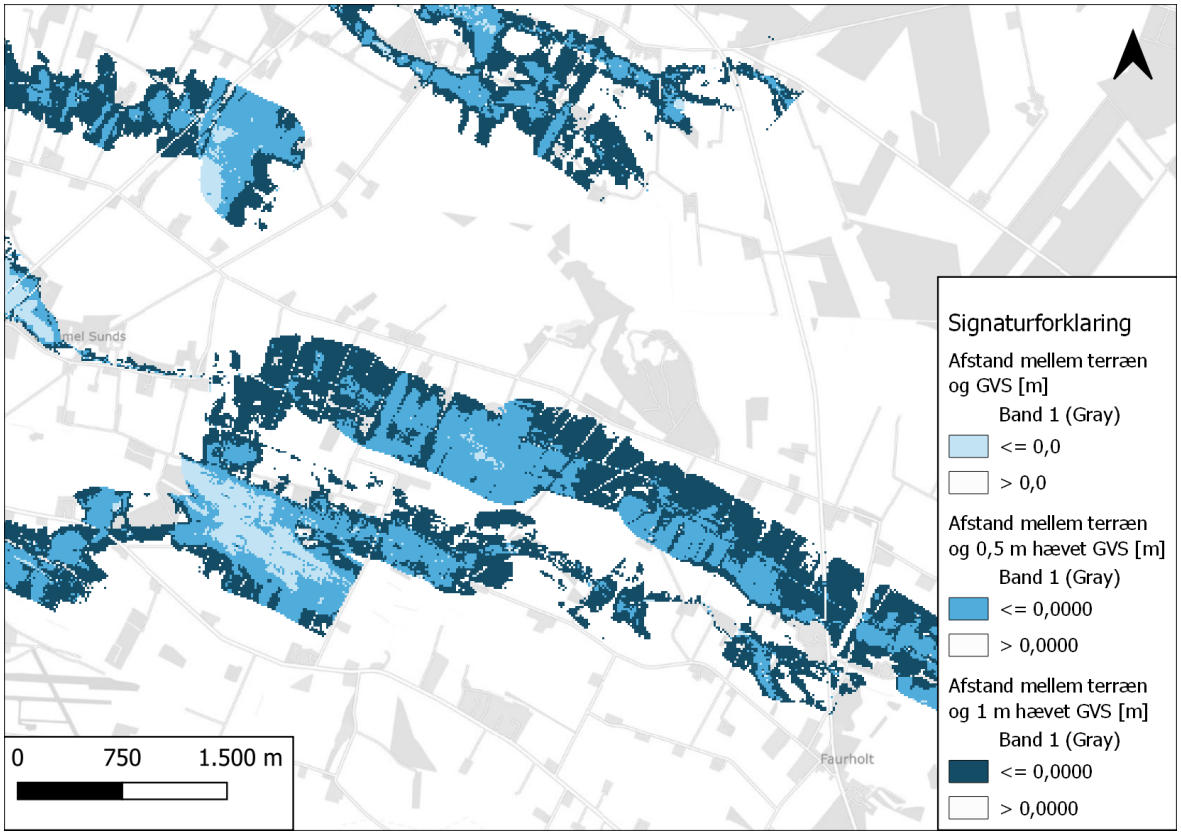
Figur 4.11: *Stream Flood* output for oversvømmelsessårbare områder SV for Gammel Sunds. Egen figur. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.

Som det ses i figur 4.11 er det relativt store arealer der udpeges som sårbare, hvor grundvandsspejlet altså er mindre end en meter under terræn. En del af udpegelsen afgrænses igen af den begrænsning der er valgt i analysen, og ikke fordi afstanden mellem grundvandsspejl og terræn bliver tilpas stor. Her kunne der opnås større indsigt ved at gøre analyseområdet større.

Arealet kan igen undersøges nærmere ved at ligge et snit ind gennem terræn og vandspejl. Dette kan ses i figur 4.12. Det fremgår af figuren, som i kortene, at der i store dele af arealet ikke er langt mellem terræn og ekstrapoleret vandspejl. Det fremgår dog også at det ikke længere er tydeligt hvor vandspejlet er samplet fra, ligesom i snittet i Holstebro Midtby i figur 4.5.



Figur 4.12: Snit 1 gennem det ekstrapolerede vandspejl (blå) og højdemodellen (rød). Placeringen af snittet kan ses i figur 4.11. Egen figur.



Figur 4.13: *Stream Flood* output for oversvømmelsesubredelser SV for Gammel Sunds. Egen figur. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.

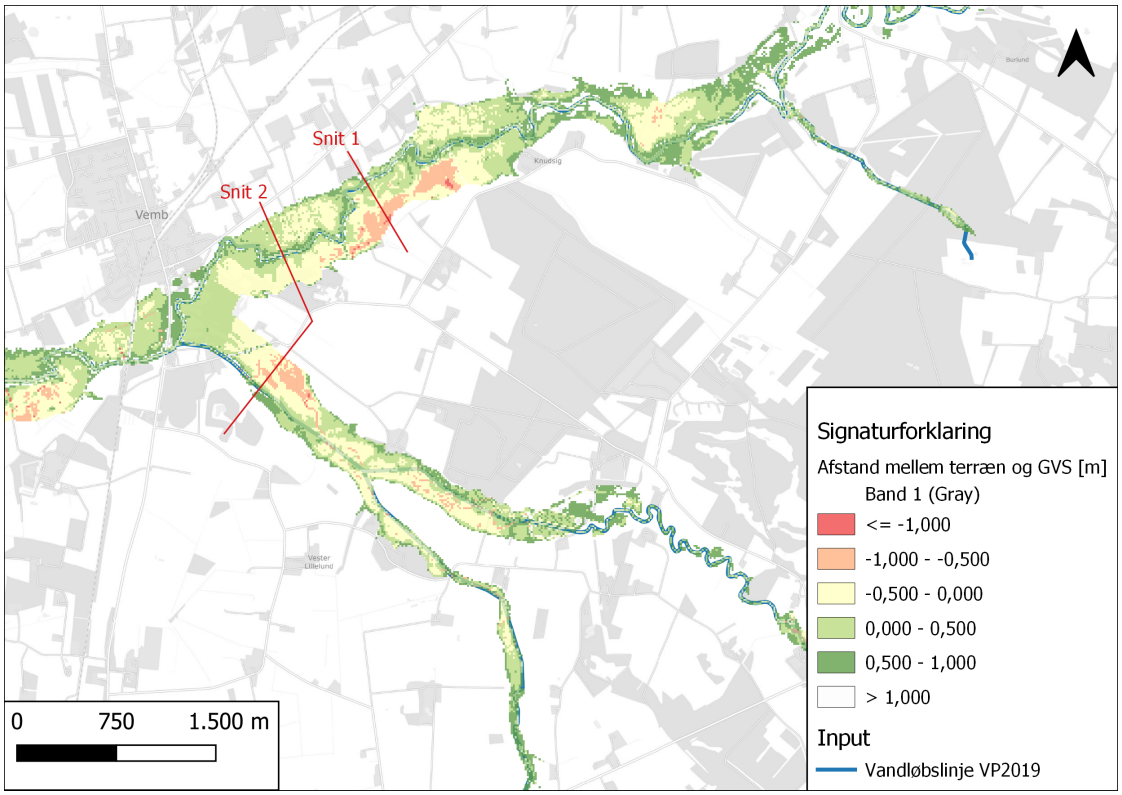
Ses der på vandløbslinjen, findes det at grundvandsspejlet i snittet ovenfor er genereret på baggrund af tre linjestykket. Undersøges snittet samt ortofotoet nærmere ser det ud til, at det kun er de to nordligste af vandløbslinjerne der indgår i snittet, der faktisk rammer vandløb. Den sydligste linje rammer umiddelbart terræn, hvilket igen giver et misvisende billede. Her vil der igen skulle rettes i ind-datasættet for at få et mere retsvisende billede.

Igen er oversvømmelseskortet, her i figur 4.13, påvirket af, at der er dele af vandspejlet der reelt repræsenterer punkter der er samplet i terræn. Umiddelbart er det dog kun den sydligste del af kortet der er påvirket sådan.

Der kan også knyttes en kommentar til, om disse større oversvømmelsestruede arealer egentligt er meget oversvømmelsestruede. Det argumenterer imod at de er oversvømmelsestruede, at de reelt ikke afvander en særlig stor del af oplandet sammenlignet med strækninger nedstrøms. Det taler for at de er oversvømmelsestruede, at det netop er små vandløb der er tale om. Det må i dette tilfælde særligt være ekstremhændelser indenfor det relativt lille opland der kan få stor effekt, hvor det længere nedstrøms kan tænkes især at være koblede hændelser.

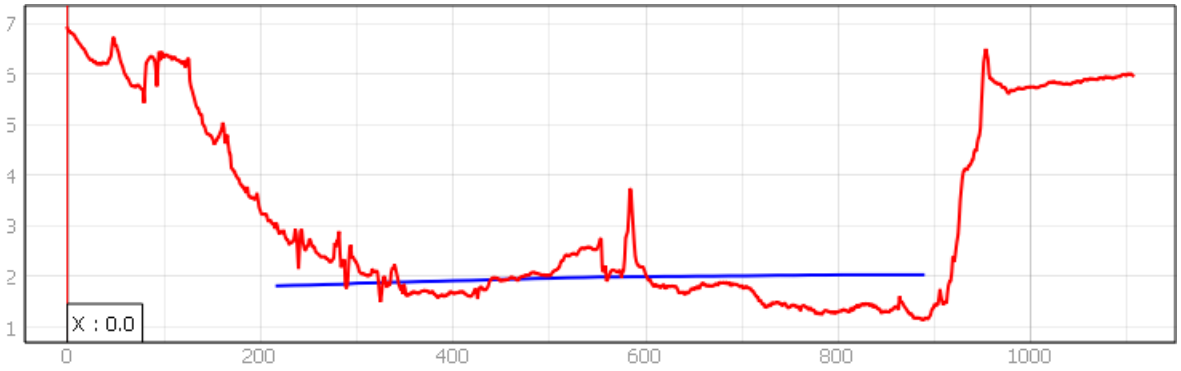
Nedslag 4: Syd og vest for Vemb

Dette nedslag er karakteriseret af, helt modsat nedslag 3, at være placeret nær udløbet af Storåen. Her er de fleste af sidetilløbene løbet til, og det må altså være hvor den største vandføring i Storåen findes. I figur 4.14 ses der et par områder, der udpeges som sårbare overfor oversvømmelser. Selve Vemb ses at være uden markering, men både øst, vest og syd for, er store dele af de markerede arealer, med vand på terræn, ifølge analysen.

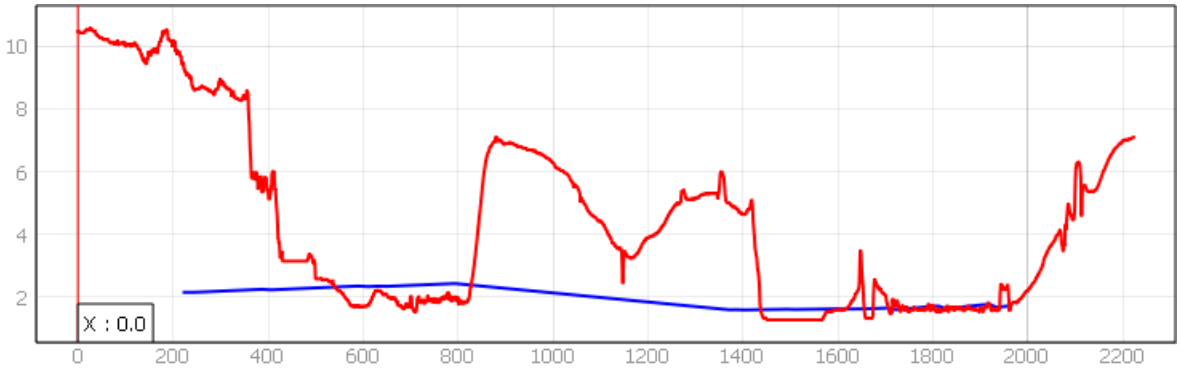


Figur 4.14: *Stream Flood* output for oversvømmelsessårbare områder syd og vest for Vemb. Egen figur. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.

I snit 1, figur 4.15 kan det ses, at det oversvømmede areal på syd-siden af Storåen, samt et mindre areal på nord-siden, er betinget af at oversvømmelsen skal nå over brinkerne, der er forhøjede til diger. Det samme er gældende for snit 2, figur 4.16, hvor det areal der er markeret sydligst i snittet i figur 4.14, ville være oversvømmet jf. det ekstrapolerede vandspejl. Det mest nordlige markerede areal i snittet ville igen ikke være oversvømmede pga. brinkerne.

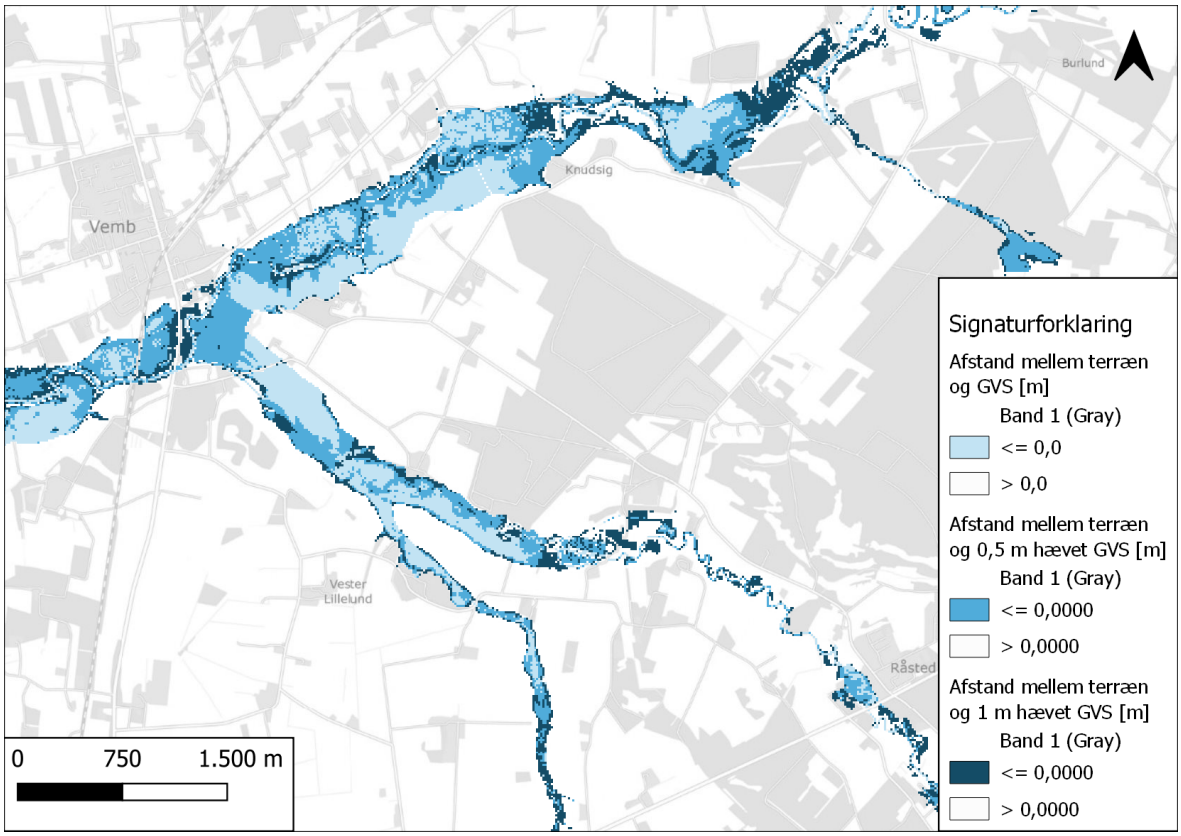


Figur 4.15: Snit 1 gennem det ekstrapolerede vandspejl (blå) og højdemodellen (rød). Placeringen af snittet kan ses i figur 4.14. Egen figur.



Figur 4.16: Snit 2 gennem det ekstrapolerede vandspejl (blå) og højdemoddellen (rød). Placeringen af snittet kan ses i figur 4.14. Egen figur.

I figur 4.17 kan det anes hvordan digerne på hver side af Storåen ikke er farvede. Det vil sige disse celler har en værdi større end 0 både ved det originale ekstrapolerede vandspejl, samt når det hæves 0,5 og 1 m. Arealerne på hver side vil altså kun være oversvømmede såfremt vandpejlet i Storåen stiger mere end 1 meter, relativt til da overflyvningen til højdemodellen blev foretaget. Dette er samme effekt der er nævnt ovenfor, i forbindelse med sårbarheds-kortet for området. Det vil altså sige oversvømmelserne i kortet kun er repræsentative hvis vandspejlet i vandløbet reelt stiger mere end 1 meter, eller hvis det er det omkringliggende grundvandsspejl der stiger mere end de 0,5 og 1 meter der er vist i figur 4.17.



Figur 4.17: *Stream Flood* output for oversvømmelsesubredelser syd og vest for Vemb. Egen figur. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.

4.3 Delkonklusion 1

Underspørgsmål 1 lød:
"Hvilke vandstande og oversvømmede arealer genereres af Stream Flood ved input af Storåen?"

Hertil kan der svares, at de afhænger af kvaliteten af det input der gives til programmet. Hvis linjen for vandløbet ikke ligger hvor vandløbet lå da overflyvningen for højdemodellen blev foretaget, vil de oversvømmelseskort og sårbarhedskort der bliver genereret, være misvisende. Dette ses i eksemplet ovenfor med Herning Midtby, hvor Storåen er blevet rørlagt steder det ikke er angivet i vandløbslinjen. Der ses også i eksemplet ovenfor, SV for Gammel Sunds, hvor vandløbet enten er for småt til at fremgå af højdemodellen, eller at linjen ligger forkert ift. højdemodellen, hvilket fører til større markerede arealer, end der ellers bør være.

Ellers er det fundet at de oversvømmede arealer der udpeges gennem *Stream Flood* viser sig mindre i områder hvor vandløbet løber dybt relativt til højdemodellen, som i Holstebro Midtby, hvor der ellers har været problemer med oversvømmelser. Der findes større oversvømmede arealer hvor forskellen mellem brink og vandflade ikke er så stor, hvilket i Storåens eksempel viser sig både i de tynde ender af vandløbet, såvel som nær udløbet.

Det er også fundet, at oversvømmelseskortene kan være misvisende iht. der ikke tages højde for diger. Dvs. hvis oversvømmelser skal forekomme ved at vandløbet løber over sine bredder, findes der tilfælde som syd for Vemb, hvor arealer der reelt ikke vil oversvømmes pga. diger vises som oversvømmede. Tænkes stigningen i vandstand som en stigning af grundvandspejlet nær vandløbet, bliver det dog mindre misvisende, da diger ikke afhjælper dette problem.

5 | Sammenligning med vandstandsdata fra Storåen

I dette kapitel vil de opnåede resultater fra kapitel 4 sammenlignes med eksisterende data fra hydrometriske målestationer i Storåens opland. Først vil der gives en beskrivelse af de data der er valgt til sammenligningen, hvorefter resultaterne af tidsserieanalyser udført på dataene vil beskrives. Derefter vil resultaterne fra forrige kapitel, valideres mod resultaterne fra tidsserieanalyserne.

5.1 Data for Storåen

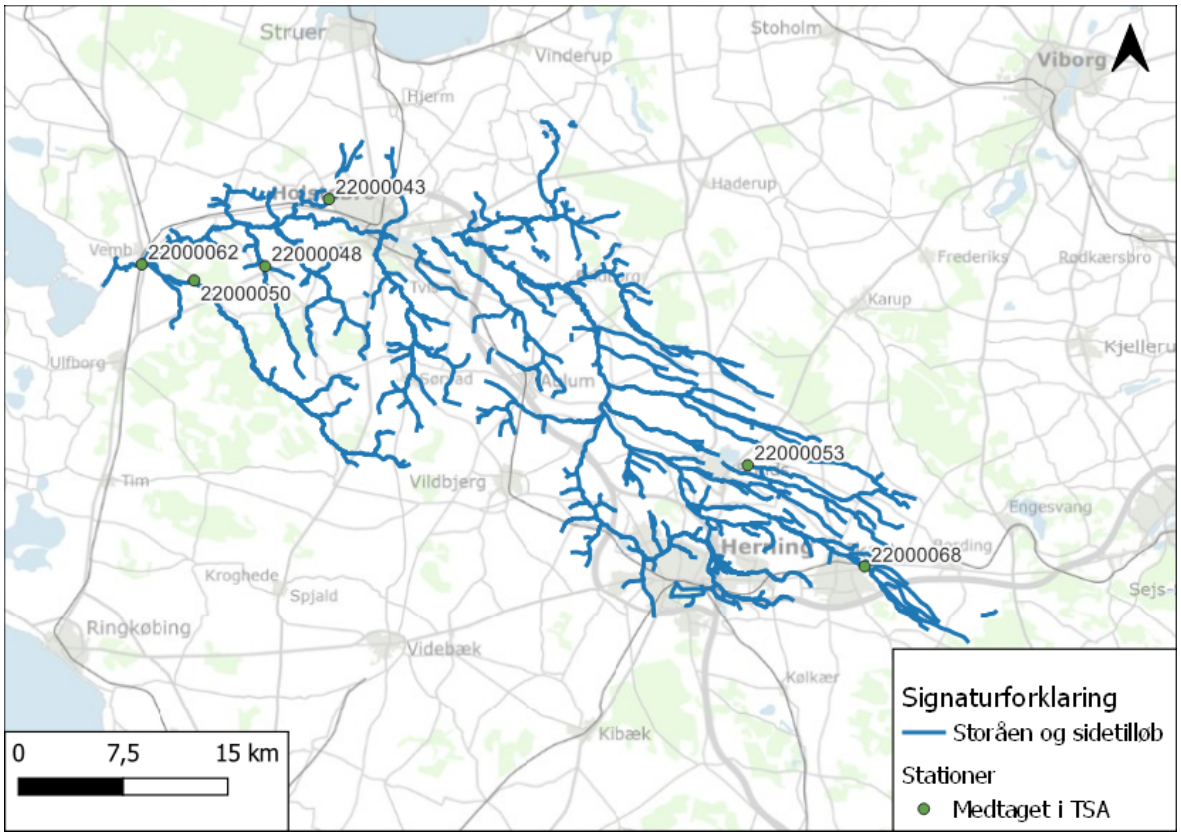
Der er lavet et dataudtræk for alle hydrometriske stationer i Storåens opland i forbindelse med helhedsplanlægningen hos NIRAS. Dataudtrækket er lavet igennem odaforalle.dk, og udtrækket indeholder alle døgnmidddelvandstande og døgnmiddelvandføringer for de forskellige stationer, hvor dataen er kvalitetskontrolleret. Tilsammen har der været 43 stationer med vandføringsmålinger, og 26 med døgnmiddelvandstandsdata. Det er dog ikke alle dataserier der er lige lange, nye og fuldstændige. Derfor kan de ikke alle bruges til tidsserieanalyser. For at få sorteret mangelfulde data fra, er der opstillet følgende kriterier:

- Der skal være målinger for 5 hele år eller mere.
- Der må ikke være fejl i dataen.
- Dataen skal ligge i et vandløb, der løber til, eller er Storåen.

Det andet krav, at der ikke må være fejl i dataen, burde ikke være nødvendigt da dataen som nævnt er kvalitetskontrolleret. Der er dog en enkelt station der bliver fjernet på baggrund af dette, da der er et pludseligt spring i vandstand på over 80 meter, hvilket ikke kan være rigtigt.

I bilag B kan der ses et skemaført overblik over hvilke stationer der er medtaget, og hvilke der ikke er medtaget, samt årsagen herfor. Resultatet er, at der ud fra de stillede krav kan udarbejdes tidsserieanalyse for 6 datasæt med vandstande. Placeringen af de respektive stationer der vil blive medtaget i analysen kan ses nedenfor i figur 5.1. Mange stationer er fjernet fordi de er opsat i 2019, og der derfor ikke er 5 års målinger tilgængelige endnu. Hvis det var ønsket at have flere punkter medtaget i analysen, kunne disse medtages, under antagelse af, at den mest relevante del af analysen er de mindst ekstreme hændelser. Hvis disse var medtaget ville der i stedet være 22 punkter tilgængelige til sammenligning.

Det skal nævnes at der i processen af at korrigere dataen for skift i vertikalt referencesystem er sket en fejl. Fejlen indebærer at alt dataen er sammenlignet med vandstande, korrigeret til DNN, selvom en del af dataen er indmålt til DVR90. Fejlen er af en størrelsesorden på 7-11 cm afhængig af stationen. Det vurderes at fejlen ikke er så betydelig, at den ødelægger gyldigheden af analysen.



Figur 5.1: Storåen og de stationer der er medtaget i tidsserieanalysen. Egen figur efter Miljøministeriet / Miljøstyrelsen [2022b]. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.

5.2 Tidsserieanalyse

Tidsserieanalysen er udført med baggrund i et Excel-ark udviklet til formålet, udleveret af NIRAS. Arket er udviklet til at lave ekstremværdianalyser af vandføringsdatasæt, og indebærer at der laves lineær reggression over en parameter beregnet fra et sorteret udtræk af den største vandføring fra perioden. Arket er udarbejdet under antagelse af at maksvandføringerne i tidsserien er Gumbel-fordelte, som beskrevet af H. J. Henriksen, Olsen og Troldborg [2013]. Det er i denne kontekst, hvor det er vandstande der ønskes undersøgt, antaget at vandstande kan undersøges på samme måde som vandføringer.

For vandstandsdataen er det som nævnt, ønsket at undersøge hvordan den vandstand der er bestemt i *Stream Flood* relaterer til statistikken for vandstanden for vandløbet. Det ønskes at lave sammenligningen for både den oprindelige samplede vandstand fra pluginet, og den der er hævet hhv. 0,5 og 1 m. For at få et mere nuanceret sammenligningsgrundlag fra vandstandsdataen, er det valgt at lave ekstremværdianalyse for maksimalvandstanden i hhv. sommeren (maj-september) og vinteren (oktober-april). Sådan bliver der for hver station en tidsserie med maksimale sommer- og vintervandstande, der kan sammenlignes med. Der er desuden lavet en generel analyse af middelværdier og fordelingen af vandstande gennem histogrammer og boxplots i de kommende underafsnit for hver station. Alle udførte tidsserieanalyser kan findes i det elektroniske bilag AE.

5.3 Evaluering af vandstande ved de enkelte stationer

For at evaluere vandstandene genereret af pluginet, er denne fundet i placeringen af stationen, både ved den originale ekstrapolerede vandstand, og hvor den er hævet 0,5 og 1 meter. Derefter er den tilsvarende gentagelsesperiode for sommer- og vintervandstande fundet baseret på analyserne foretaget i bilag AE. I de følgende underafsnit kan resultaterne af analysen ses.

5.3.1 Station 22000043

Denne station er placeret lige efter Holstebro, på et af sidetilløbene til Storåen, som det kan ses i figur 5.1. Betragtes de overskridelsesperioder der hører til de beregnede vandstande ved stationen, i tabel 5.1, kan det ses at den oprindeligt samplede og ekstrapolerede vandstand på 17,28 m DNN, fra *Stream Flood* er repræsentativ for de målte vandstande, der vil forekomme ofte. Dette er både gældende for sommer og vinterdataen, hvor overskridelsesperioden fra vinteren viser at denne vandstand vil forekomme hvert år, og med rimeligt stor sandsynlighed også om sommeren, med en gentagelsesperiode på 1,3 år (p = 0,77).

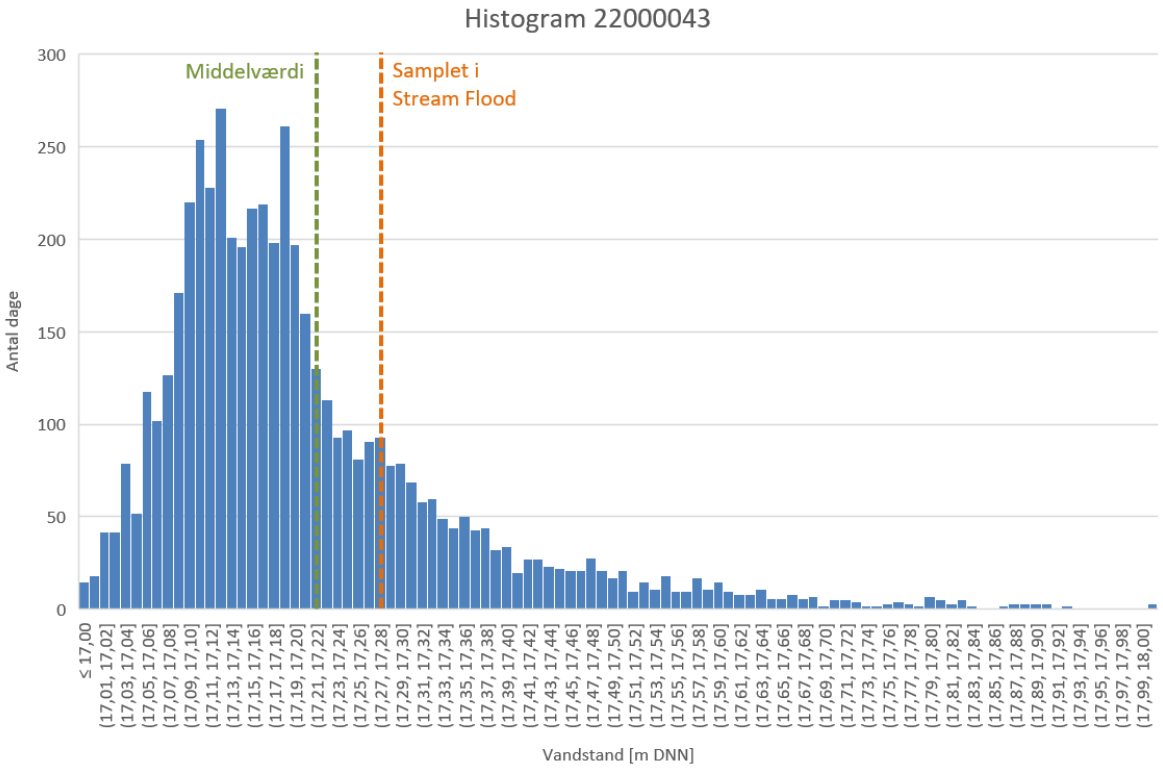
Da vandstanden ved stationen har været højere i vinteren, kan det også ses at vandstanden fra *Stream Flood* der er hævet en halv meter, også har relativt stor sandsynlighed for at forekomme om vinteren, hvor gentagelsesperioden er på 1,5 år. Denne gentagelsesperiode er altså lavere end en medianmaksimum for vandstanden, hvor gentagelsesperioden vil være 2 år. Det er dog ikke det samme for sommervandstandene, der forekommer noget mere sjældent.

Når vandstanden hæves med 1 meter i forhold til udgangspunktet, ses det at der om vinteren bliver tale om en 34-årshændelse (p = 0,03), hvor der om sommeren bliver tale om en 110-årshændelse (p = 0,009). Begge hændelser har altså en ganske lille sandsynlighed for at ske en given sommer eller vinter, ifølge statistikken for vandstandene.

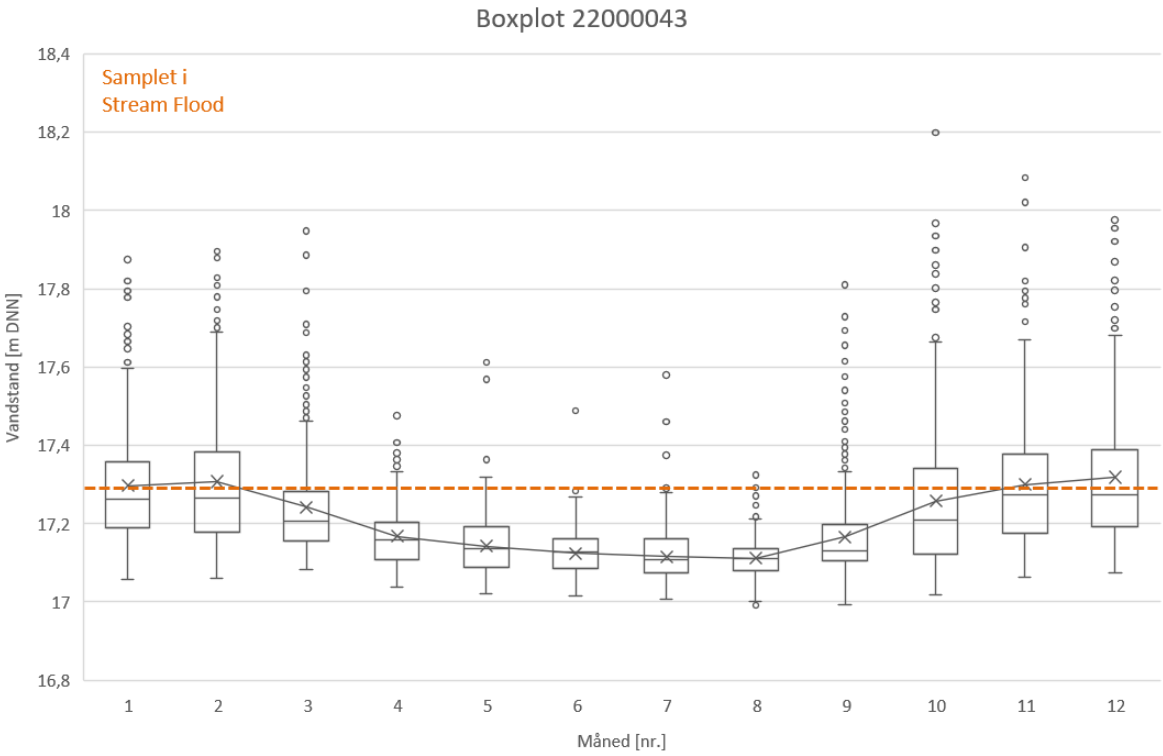
Vandstand fra plugin	**Vinter overskridelsesperiode**	**Sommer overskridelsesperiode**
[m DNN]	[år]	[år]
17,28	1,0	1,3
17,78	1,5	8,9
18,28	34,0	110,1

Tabel 5.1: Vandstande outputtet fra *Stream Flood* ved station 22000043, og de tilsvarende overskridelsesperioder for vandstandene.

Det ses i histogrammet i figur 5.2, at vandstanden fra *Stream Flood* er en smule højere end de vandstande der ellers generelt forekommer mest ved denne station. Den er dog ikke usandsynligt høj, som det også fremgår af ekstremværdianalysen. Samme tendens genkendes i boxplottet i figur 5.3, hvor værdien fra *Stream Flood* ses at ramme vintervandstandene, og være høj ift. sommervandstandene. Dette er forventeligt, da højdemodellen netop er genereret ud fra scanninger foretaget i vintermånederne, hvor der ikke længere er blade på træerne. Ved denne station er overflyvningen specifikt sket 30. oktober 2014 [Dataforsyningen u.d.]. Det ses i figur 5.3 at den genererede vandstand netop rammer de vandstande der normalt forekommer i oktober-november.



Figur 5.2: Histogram af vandstandene ved station 22000043, samt middelværdien anført med grøn, og vandstanden genereret i *Stream Flood* med orange. Egen figur.



Figur 5.3: Boxplot af vandstandene ved station 22000043, samt vandstanden genereret i *Stream Flood* markeret med orange. Egen figur.

5.3.2 Station 22000048

Denne station er også beliggende på at af sidetilløbene til Storåen, nedstrøms for Holstebro, ligesom stationen ovenfor. Modsat stationen ovenfor kan det ses, at de vandstande der er genereret af *Stream Flood* langt fra er repræsentative i dette tilfælde. Det kan for reference nævnes at den højest målte vandstand for hele perioden ved denne station var på 11,92 m DNN. Resten af de målte vandstande er naturligvis lavere, og derfor bliver estimatet fra *Stream Flood* på 13,08 m DNN og over, alt for høje, som det også fremgår af de beregnede gentagelsesperioder i tabel 5.2. Dette er både gældende for vinter- og sommmersituationen, og for alle outputtede vandstande fra pluginet på denne lokation.

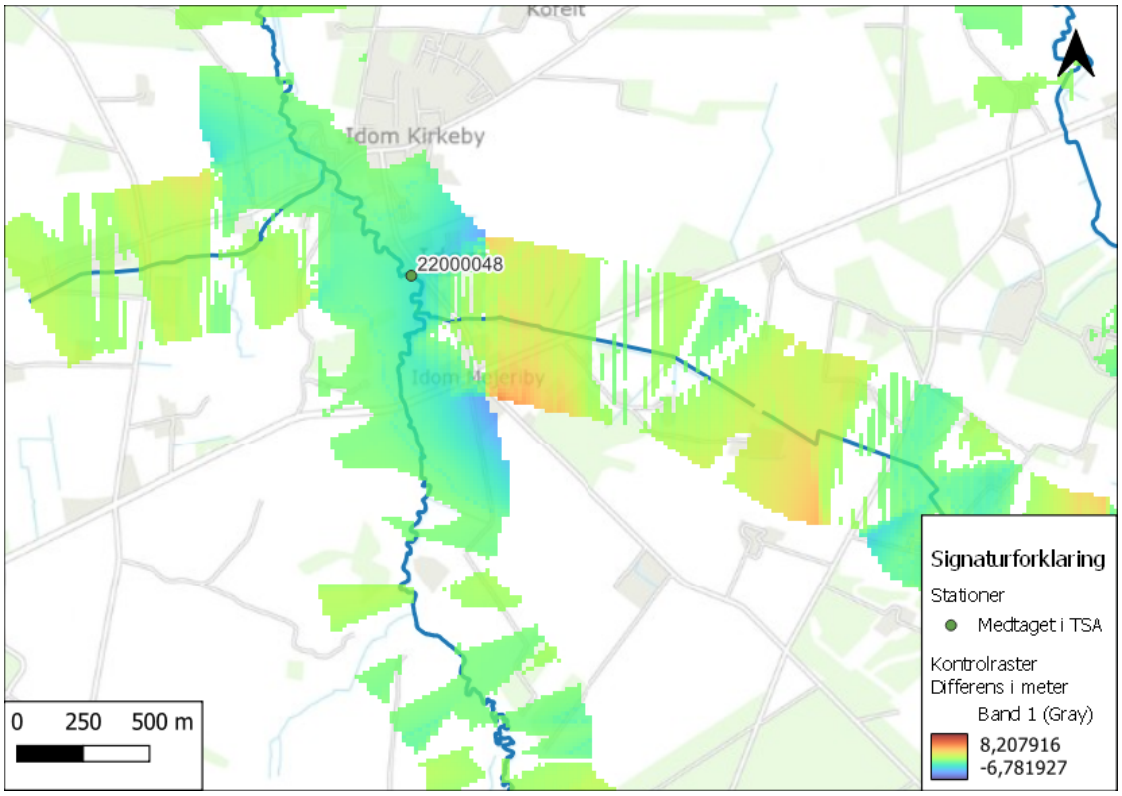
Vandstand fra plugin	**Vinter overskridelsesperiode**	**Sommer overskridelsesperiode**
[m DNN]	[år]	[år]
13,08	12.331	60.178.948
13,58	282.822	14.730.788.016
14,08	6.486.765	3.605.764.313.348

Tabel 5.2: Vandstande outputtet fra *Stream Flood* ved station 22000048, og de tilsvarende overskridelsesperioder for vandstandene.

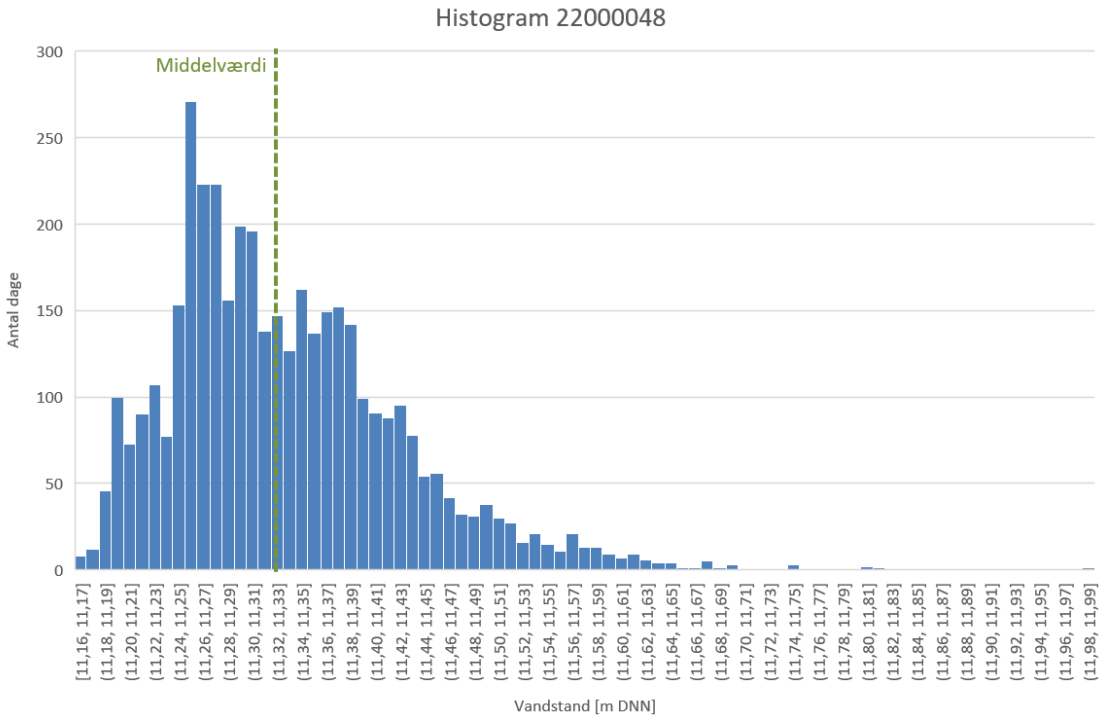
Hvis det undersøges hvordan vandstanden på 13,08 m DNN er genereret af pluginet (oprindeligt 13,17 m DVR90, korrigeret til DNN), vil det ses at der er markant forskel på den værdi der er samplet for vandstanden i højdemodellen, og den der er blevet brugt til det endelige vandspejl. Det oprindelige vandspejl er samplet til 11,60 m DVR90 i nærheden af stationen. Kort opstrøms er der dog samplet vandstande på over 16 m DVR90. Derfor må disse vandstande have haft indflydelse på interpolationen i *Stream Flood*, så de i fladen for vandstanden er blevet hævet til et niveau der ikke længere er repræsentativt for vandløbet.

Det forventes desuden at problemet er blevet forværret under den operation hvor pluginet forsøger at jævne små ujævnheder ud over vandspejlet. Der fremgår det at de meget høje samplede vandstande på sidetilløbet, har fået for stor vægt i det endelige billede af vandspejlet. Det kunne ligeledes tyde på at der ved sidetilløbet er samplet vandstande på terræn, pga. vandløbslinjens placering, ligesom der blev nævnt i eksemplet SV for Gammel Sunds i underafsnit 4.2.2. Denne tendens er illustreret i figur 5.4. Kontrolrasteren består af differensen mellem den flade der oprindeligt er blevet dannet af pluginet, og den der er blevet dannet efter den oprindelige er glattet ud. Det kan ses i figuren at der ved sidetilløbet lige optrøms for stationen er blevet samplet og ekstrapoleret meget høje vandstande, relativt til efter udglatningen. Processen med udglatning er beskrevet i nærmere detalje i bilag AB.

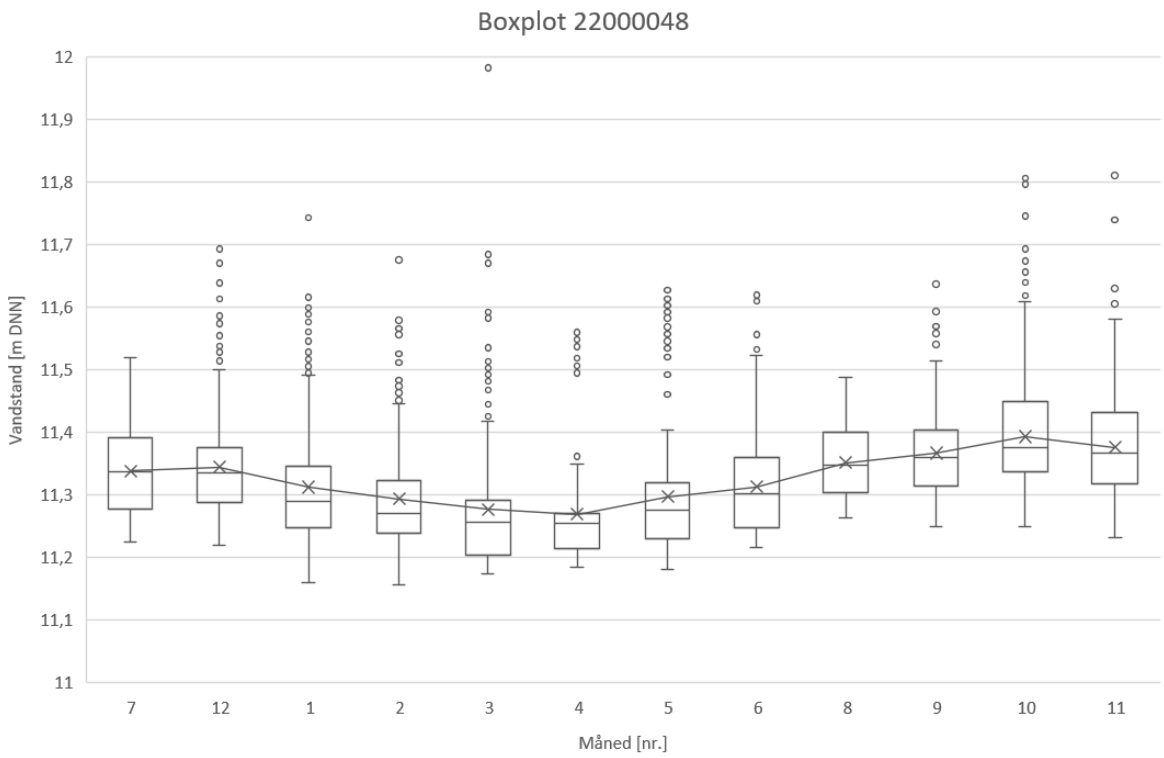
I histogrammet for vandstandene ved stationen, se figur 5.5, fremgår det at vandstandene generelt ligger omkring de 11,3 m DNN, hvor *Stream Flood* altså rammer meget for højt. Det samme fremgår i boxplottene i figur 5.6, hvor selv outliersne ligger langt under den genererede vandstand.



Figur 5.4: Kontrolraster i arealet omkring station 22000048. Forskelle under 20 cm er ikke vist i kortet. Egen figur efter Miljøministeriet / Miljøstyrelsen [2022b]. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.



Figur 5.5: Histogram af vandstandene ved station 22000048, samt middelværdien anført med grøn. Vandstanden genereret i *Stream Flood*, 13,08 m DNN, er for høj til at indgå i histogrammet. Egen figur.



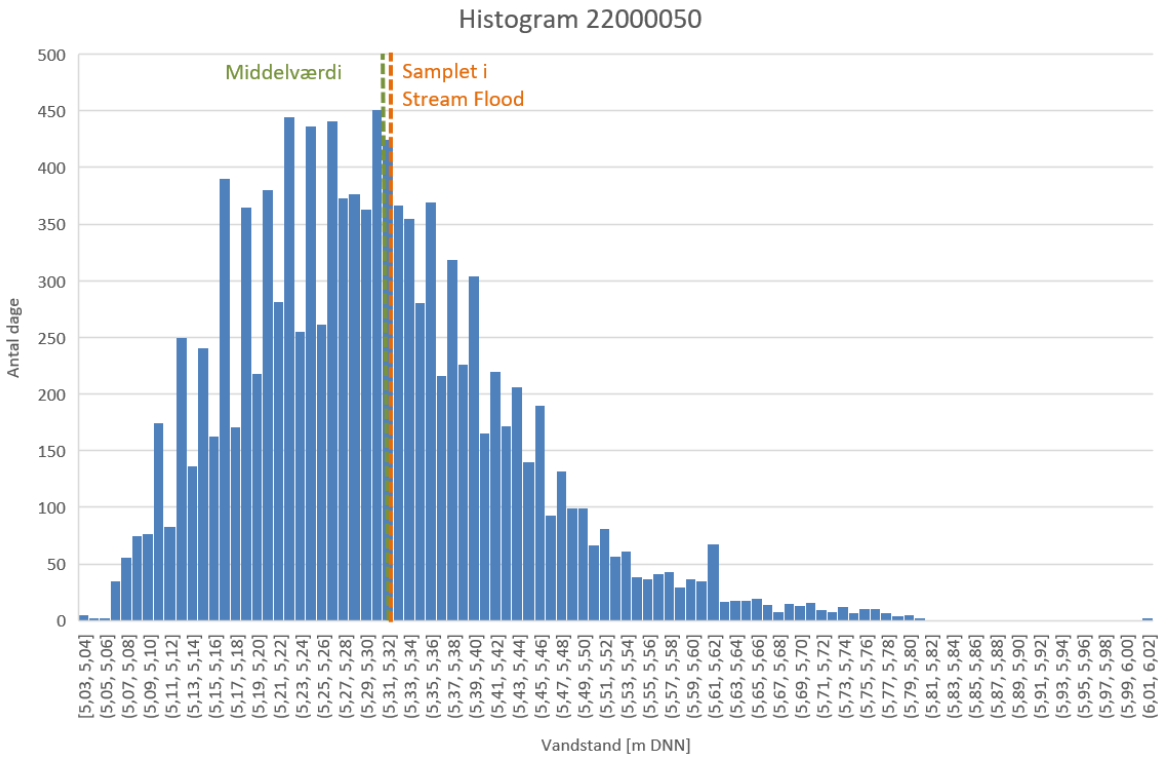
Figur 5.6: Boxplot af vandstandene ved station 22000048. Vandstanden genereret i *Stream Flood* er for høj til at være medtaget i boxplottet. Egen figur.

5.3.3 Station 22000050

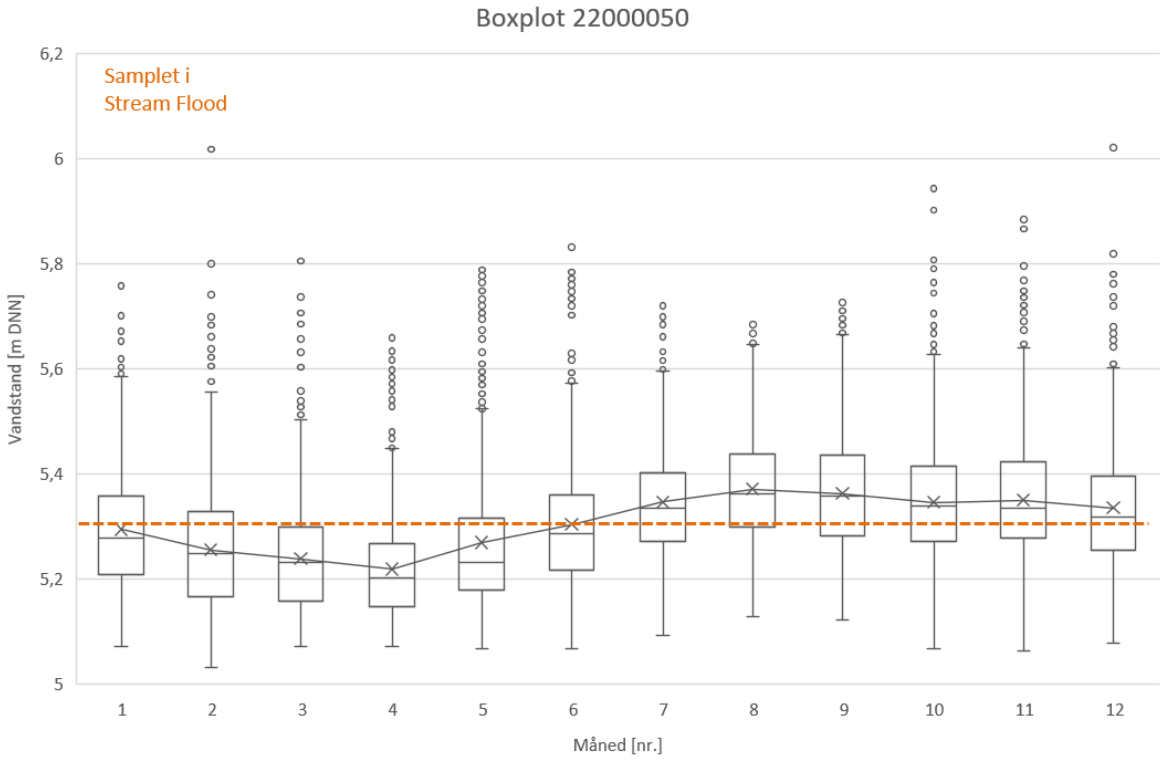
Denne station er også placeret på et af sidetilløbene til Storåen, endnu tættere på udløbet end de forrige. Der ses ligesom ved station 22000043 i afsnit 5.3.1 at vandstanden fra *Stream Flood* er repræsentativ både for sommer- og vintervandstanden. Det ses dog at vandstanden hævet med en halv meter, med mindre sandsynlighed forekommer ved denne station, end ved 22000043. Vandstanden hævet med 1 meter, til 6,32 m DNN, ses at have en ganske lang overskridelsesperiode, hvilket betyder denne vandstand ikke er repræsentativ for de vandstande der er målt i vandløbet ved stationen. Dog er den mere repræsentativ for vintervandstanden, end for sommervandstanden.

Vandstand fra plugin	**Vinter overskridelsesperiode**	**Sommer overskridelsesperiode**
[m DNN]	[år]	[år]
5,32	1,0	1,0
5,82	6,0	18,4
6,32	388,2	2.803,9

Tabel 5.3: Vandstande outputtet fra *Stream Flood* ved station 22000050, og de tilsvarende overskridelsesperioder for vandstandene.



Figur 5.7: Histogram af vandstandene ved station 22000050, samt middelværdien anført med grøn, og vandstanden genereret i *Stream Flood* med orange. Egen figur.



Figur 5.8: Boxplot af vandstandene ved station 22000050, samt vandstanden genereret i *Stream Flood* markeret med orange. Egen figur.

I histogrammet for stationen i figur 5.7 ses det at vandstanden genereret ved denne station ligger meget tæt på middelværdien af dataen, faktisk indenfor samme 10 centimeters interval. Det ses også at de vandstande der ellers forekommer fordeler sig omkring denne værdi. Dette understøtter også resultaterne af ekstremværdianalysen for stationen, hvor den genererede vandstand er repræsentativ, men ikke længere når den hæves 0,5 og 1 meter.

I boxplottene i figur 5.8 ses det at den genererede vandstand ligger sig pænt imellem medianerne og middelværdierne for de forskellige måneders vandstande. Derfor tyder det på, at vandstanden genereret i *Stream Flood* er repræsentativ for vandstandene ved denne station. Vandstanden hævet med 0,5 meter er også at finde indenfor outliersne, hvor vandstanden hævet med 1 meter til 6,32 m DNN dog er meget høj ift. de vandstande der faktisk har været ved stationen, og også de vandstande ekstremværdianalysen baserer sig på.

5.3.4 Station 22000053

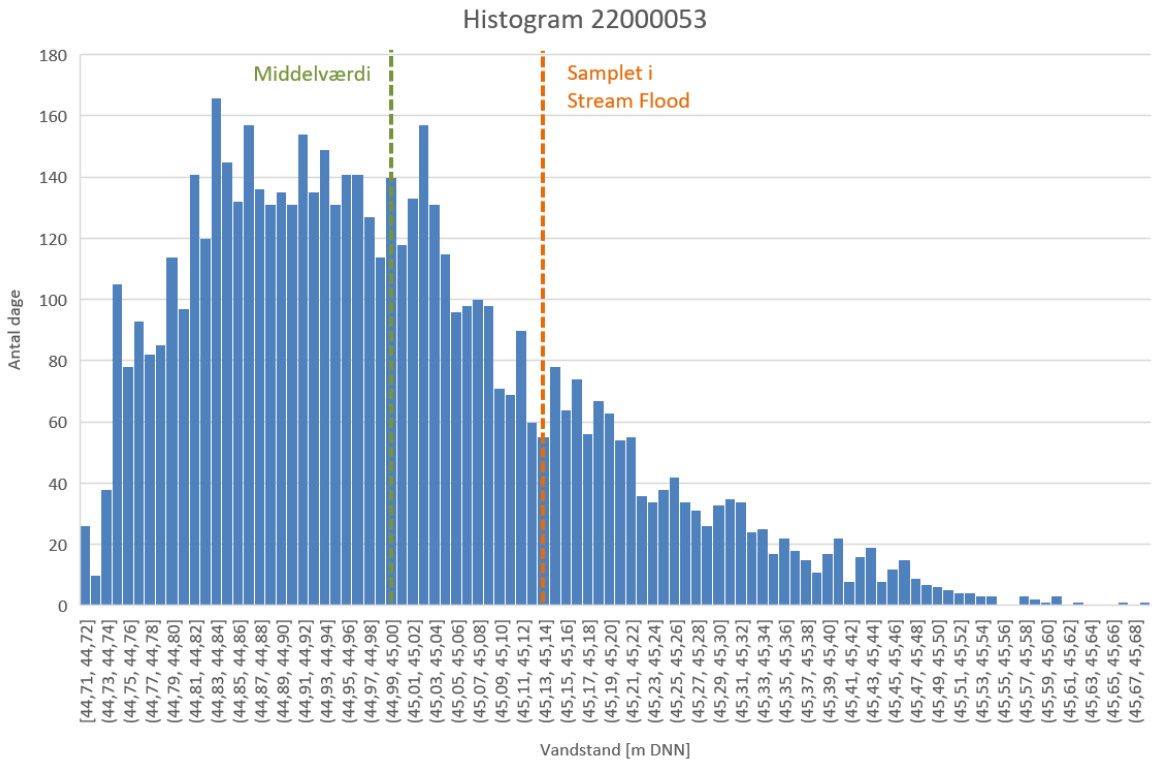
Denne station er placeret relativt langt oppe i oplandet, især set i forhold til de tidligere nævnte stationer. Det er en af de to stationer der er medtaget, der ligger opstrøms for Holstebro, og som er placeret på den strækning af vandløbet hvor der endnu er høj gradient, som nævnt i afsnit 4.1.

Det ses i tabel 5.4 at de vandstande der er genereret i *Stream Flood*, har overskridelsesperioder der især i vinteren i stor grad minder om dem for station 2000050 i tabel 5.3. Dette er interessant, da disse to stationer ligger på så relativt forskellige strækninger af vandløb i oplandet. Station 22000050 har et oplandsareal på 83,08 km^2, hvor 22000053 afvander et meget mindre areal, på 48,47 km^2. Desuden kan det nævnes at station 22000050 de fleste år har en middelvandføring omkring 1.700-3.000 l/s, hvor station 22000053 de fleste år har en middelvandføring omkring 600-700 l/s. Vandføringer og oplandsarealer er fundet hos WSP [2022]. Alligevel viser det sig, som nævnt ovenfor, at en vandstand genereret ud fra højdemodellen, er tilnærmelsesvist lige repræsentativ, og ikke repræsentativ, for vintervandstandene ved de to stationer.

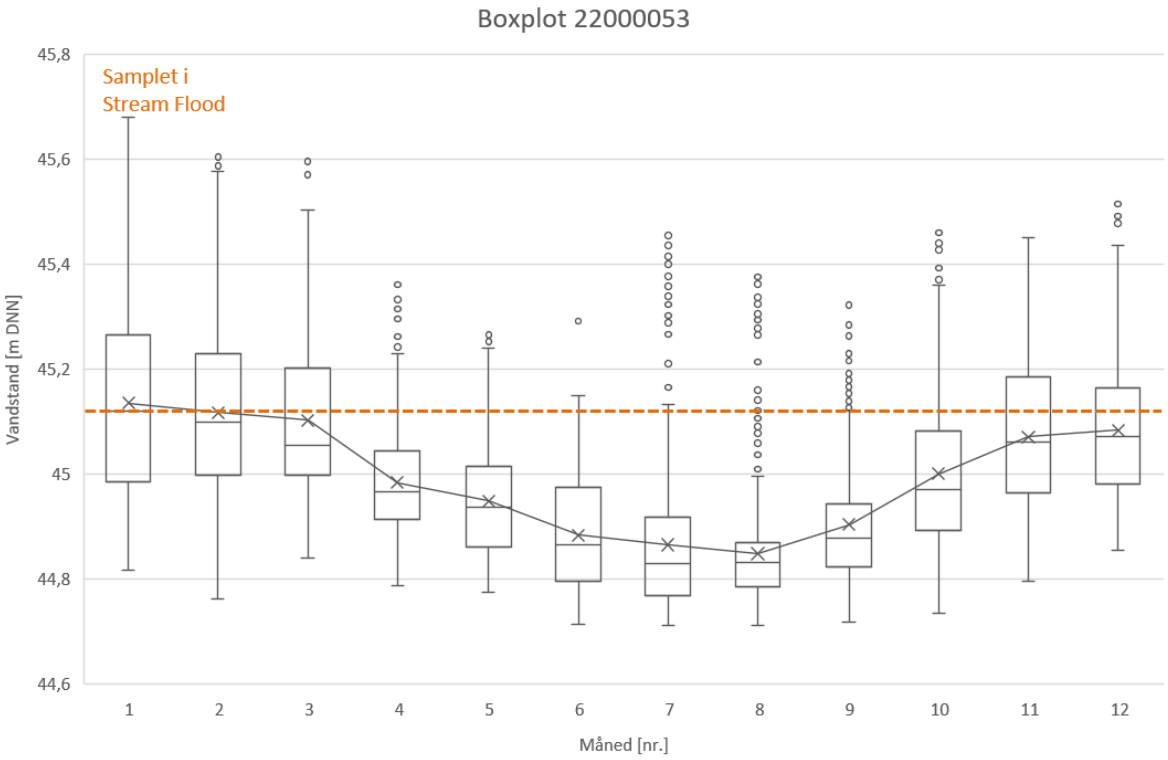
Vandstand fra plugin	**Vinter overskridelsesperiode**	**Sommer overskridelsesperiode**
[m DNN]	[år]	[år]
45,13	1,0	2,4
45,63	7,2	70,8
46,13	321,6	2.700

Tabel 5.4: Vandstande outputtet fra *Stream Flood* ved station 22000053, og de tilsvarende overskridelsesperioder for vandstandene.

Sommmervandstandene minder ikke ligeså meget om dem ved station 22000050 som vintervandstandene. Det ses i tabel 5.4 at den genererede vandstand på 45,13 m DNN har en gentagelsesperiode på 2,4 år (p = 0,4) i sommeren. Alligevel kan vandstanden tænkes som repræsentativ da den er forekommet alle år. I histogrammet i figur 5.9 ses der at *Stream Flood* igen rammer en smule højt ift. middelværdien af vandstandene, og den generelle fordeling af dem. Dog ikke usandsynligt højt som i eksemplet ovenfor. Dette ses også i boxplottene i figur 5.10. Det fremgår den genererede vandstand forekommer i vintermånederne, hvor den også er repræsenteret blandt outliersne i sommermånederne.



Figur 5.9: Histogram af vandstandene ved station 22000053, samt middelværdien anført med grøn, og vandstanden genereret i *Stream Flood* med orange. Egen figur.



Figur 5.10: Boxplot af vandstandene ved station 22000053, samt vandstanden genereret i *Stream Flood* markeret med orange. Egen figur.

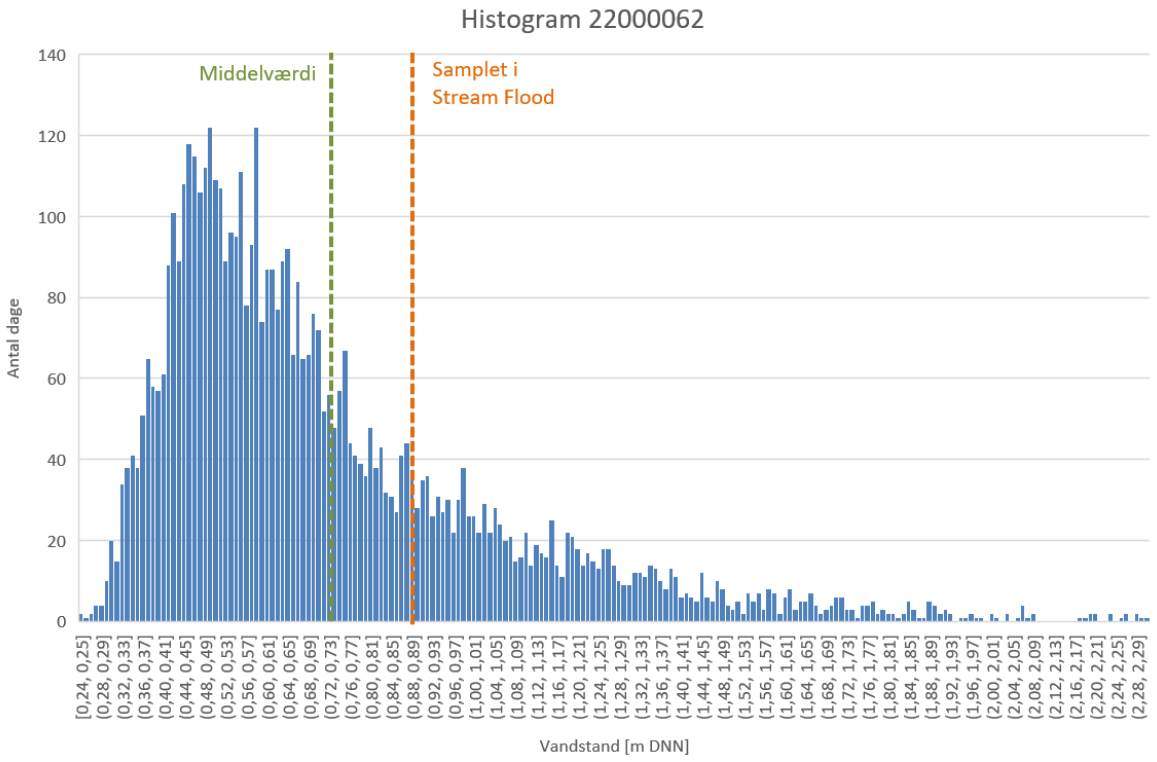
5.3.5 Station 22000062

Denne station er beliggende nærmest udløbet af Storåen. Overskridelselsperioder for denne, både for sommer- og vintervandstande, viser samme tendenser som dem fundet ved station 22000043. Det er ved disse stationer at stigningen i vandstand på 1 meter er mest sandsynlige, især i vinteren.

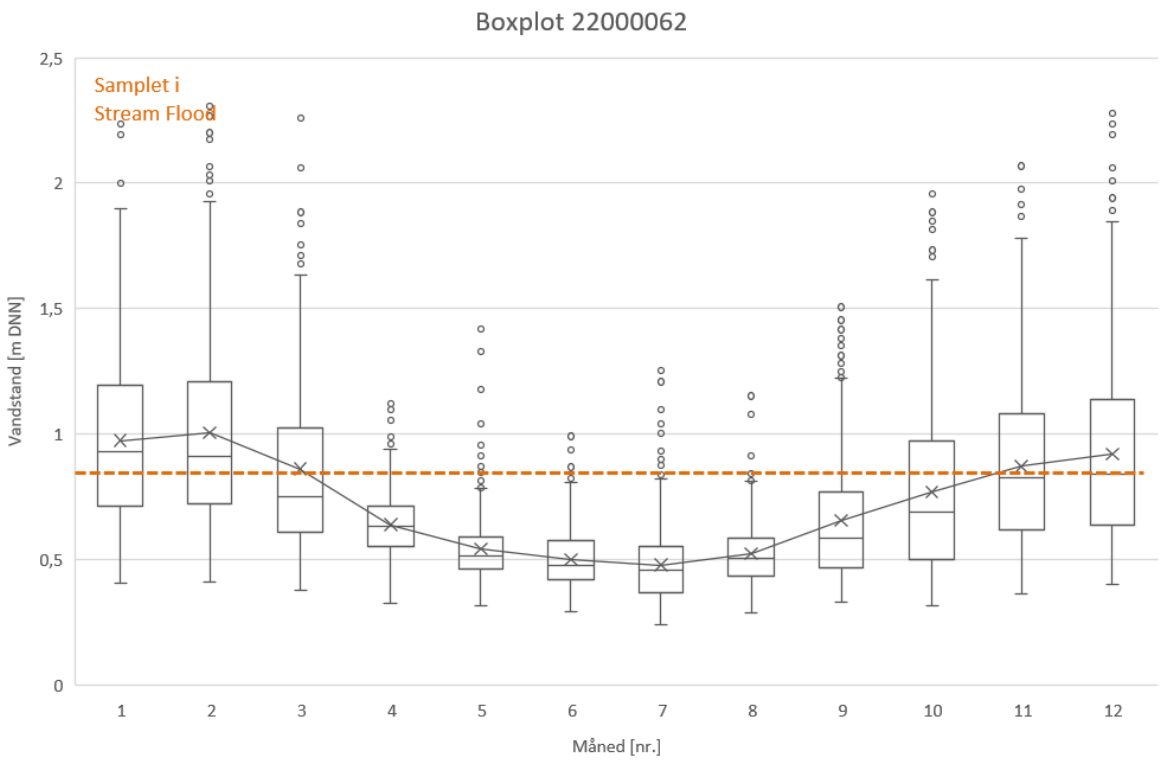
Der er dog ligesom i eksemplet ovenfor ikke mange ligheder at finde i karakteristika for de to stationer, hvor den ene igen har meget større opland og meget større vandføringer end den anden. Der er også stor forskel i hvor stor sæsonvariationen er i vandstand ved de to stationer, hvor der er ca. 85 cm forskel på en vinter og sommer 5-årshændelse ved station 22000062. Ved station 22000043 er der kun ca. 35 cm forskel. Derfor er det igen svært at påpege hvorfor, men det kan konkluderes at den samplede genererede vandstand, samt når den bliver hævet 0,5 og 1 m, er rimeligt repræsentativ for vandstandene ved denne station, især for vintervandstandene, som altså er højest.

Vandstand fra plugin	Vinter overskridelsesperiode	Sommer overskridelsesperiode
[m DNN]	[år]	[år]
0,88	1,0	1,0
1,38	1,0	7,2
1,88	2,3	107,7

Tabel 5.5: Vandstande outputtet fra *Stream Flood* ved station 22000062, og de tilsvarende overskridelsesperioder for vandstandene.



Figur 5.11: Histogram af vandstandene ved station 22000062, samt middelværdien anført med grøn, og vandstanden genereret i *Stream Flood* med orange. Egen figur.



Figur 5.12: Boxplot af vandstandene ved station 22000062, samt vandstanden genereret i *Stream Flood* markeret med orange. Egen figur.

I histogrammet i figur 5.11 ses der samme tendens som ved alle tidligere stationer, at vandstanden fra *Stream Flood* er højere end årsmiddelværdien. Alle histogrammerne har samme interval ved hver søjle, på 10 cm. Derfor kan det også ses af de mange søjler i figur 5.11 at vandstanden ved denne station generelt svinger over et større spænd, end ved de andre stationer. For reference kan det nævnes at forskellen på den mindste og største målte vandstand ved station 22000043 er på ca. 1,2 meter, hvor den ved danne station er på ca. 2 meter. I dette tilfælde vil det altså også være mere besværligt at bestemme én sigende vandstand ved stationen.

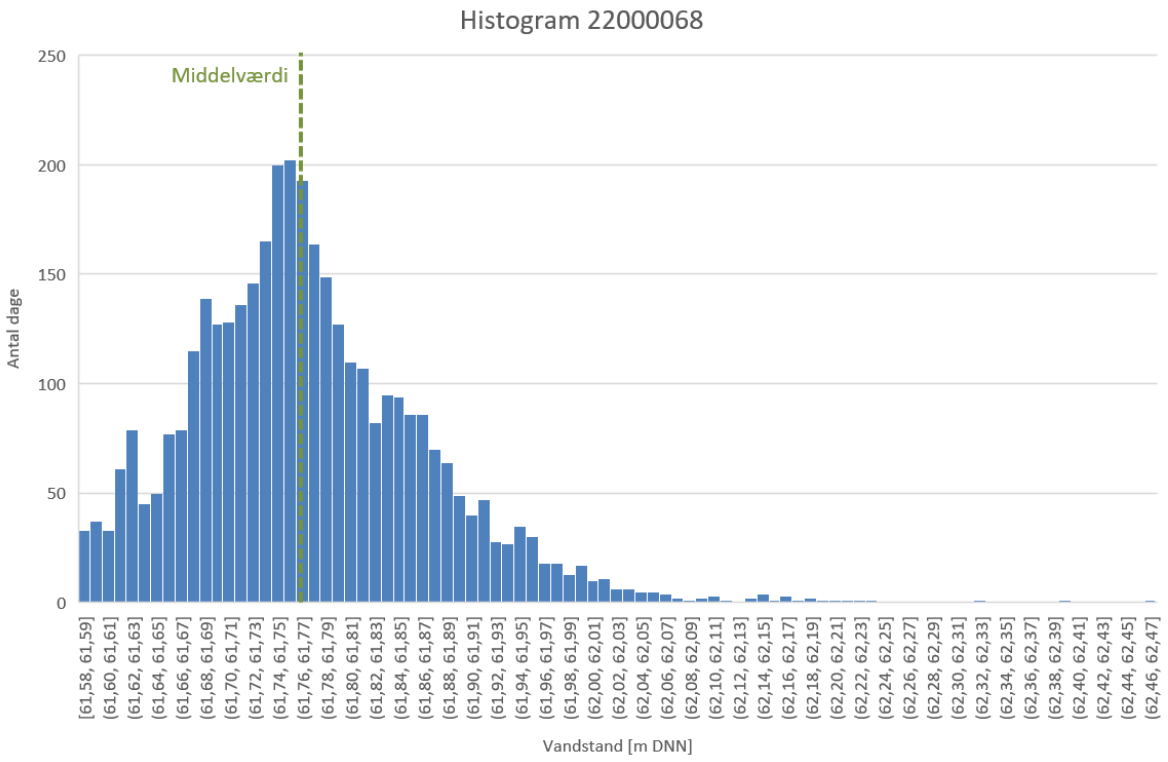
I boxplottene i figur 5.12 ses det at den genererede vandstand placerer sig rimeligt repræsentativt i forhold til variationen over året. Det er ved denne station vandstanden hævet med 0,5 og 1 m, i største grad ligger indenfor de registrerede døgnvandstande ved stationen. Det ses i figur 5.12 at en vandstand på 1,88 m DNN i december, januar og februar er for tæt på datasættets værdier, til at blive talt med som outliers. Konkret betyder det, at 1,88 m DNN er indenfor 1,5 gange IQR (interquartile range) af de nævnte måneders data. Ved denne station er både den oprindeligt genererede og den hævede vandstand altså rimeligt repræsentative for de faktiske forhold.

5.3.6 Station 22000068

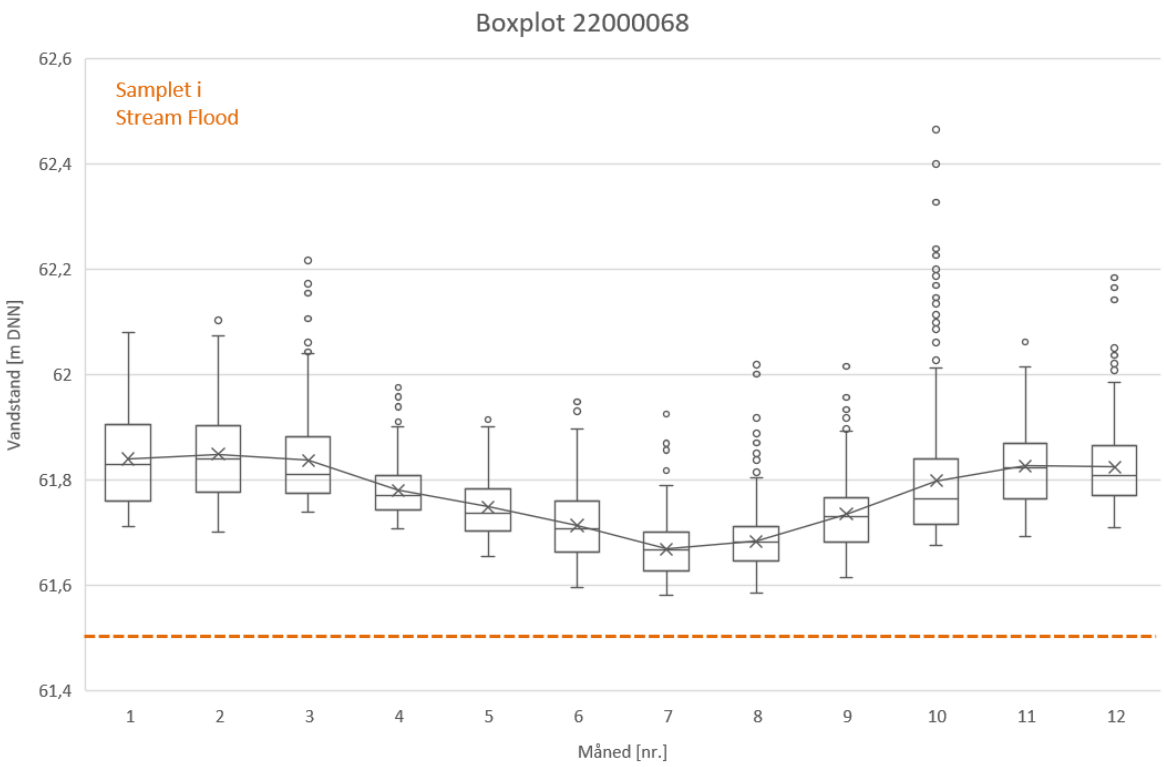
Denne station er den anden af de to stationer der er placeret i de tynde ender af vandløbssystemet. Der er ikke meget andet at påpege om resultaterne der ses i tabel 5.6, end der har været ved de forrige beskrevne stationer. Det ses dog at vandstanden ved denne station, når den stiger en meter, i stor grad er usandsynlig om sommeren i forhold til om vinteren. Det er den station, med undtagelse af station 22000048, hvor der er størst forskel på gentagelsesperioden i sommer og vinter for den vandstand der er hævet 1 meter.

Vandstand fra plugin	Vinter overskridelsesperiode	Sommer overskridelsesperiode
[m DNN]	[år]	[år]
61,55	1,0	1,0
62,05	1,8	11,1
62,55	37,7	121.052

Tabel 5.6: Vandstande outputtet fra *Stream Flood* ved station 22000068, og de tilsvarende overskridelsesperioder for vandstandene.



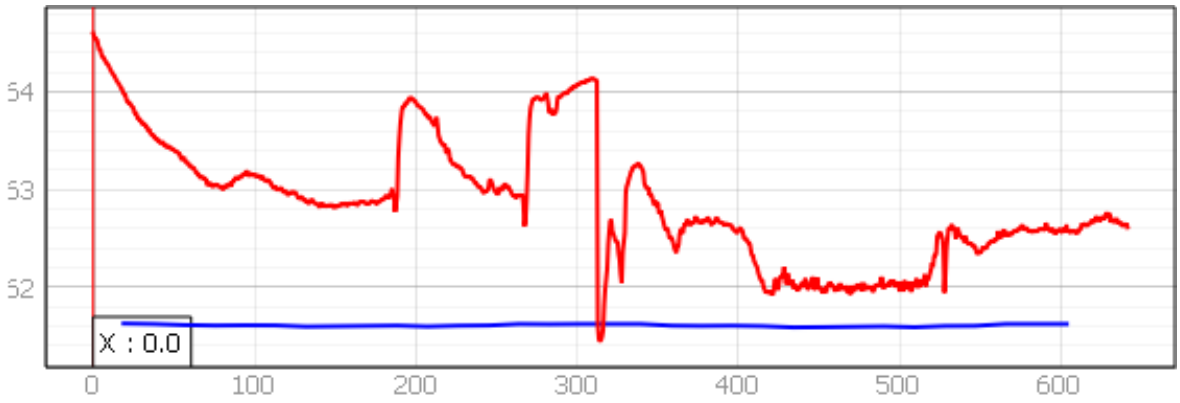
Figur 5.13: Histogram af vandstandene ved station 22000068, samt middelværdien anført med grøn. Vandstanden genereret i *Stream Flood* er for lav, 61,55 m DNN, til at indgå i figuren. Egen figur.



Figur 5.14: Boxplot af vandstandene ved station 22000068, samt vandstanden genereret i *Stream Flood* markeret med orange. Egen figur.

I histogrammet i figur 5.13 ses det at den udregnede vandstand fra *Stream Flood* ikke fremgår, denne gang fordi den er for lav ift. de der fremkommer af datasættet. I dette tilfælde ligner vandstanden hævet med 0,5 m mere den generelle tendens for de vandstande der er forekommet over hele perioden. I boxplottet i figur 5.14 ses samme tendens. Variationen i vandstanden ved stationen over månederne, ligner dem ved de andre stationer, men den genererede vandstand er for lav ift. disse.

Tjekkes den førnævnte kontrolraster for arealet, ses der umiddelbart ikke at være sket nogen fejl i forbindelse med forgreninger af vandløbet. Ud fra tværsnit gennem terrænmodellen og vandspejlsfladen, se figur 5.15, ses der heller ikke nogen fejl i samplinger af terrænkote frem for egentlig vandstandkote. Dette gør det svært at forklare hvorfor vandstanden genereret ved denne station er så lav, da den netop ser ud til at ramme vandstanden i vandløbet i højdemodellen fint, jf. figur 5.15.



Figur 5.15: Snit gennem terrænmodellen og den ekstrapolerede vandstand fra *Stream Flood* ved station 22000068. Snittet er foretaget vinkelret på vandløbslinjen. Egen figur.

5.4 Evaluering af vandstande ved alle stationer

Da en del af ovenstående analyse netop er en ekstremværdianalyse, er det interessant at undersøge hvor ofte den oprindelige samplede vandstand, eller en der ikke er langt fra, forekommer. Derfor er der også foretaget en tælling af antallet af dage hvor vandstanden ligger indenfor et 20 centimeters interval af den samplede vandstand, altså 10 cm lavere eller højere. Resultatet af denne analyse kan ses i tabel 5.7.

Station	**Samplet vandstand**	**Antal dage +/- 10 cm**	**Antal dage i alt**	**Procent af alle dage**
[nr.]	[m DNN]	[antal]	[antal]	[%]
22000043	17,3	1.968	5.241	38
22000048	13,1	0	4.016	0
22000050	5,32	6.647	11.711	57
22000053	45,1	1.493	5.901	25
22000062	0,879	680	5.335	13
22000068	61,6	314	5.335	6

Tabel 5.7: Antal dage hvor vandstandene i datasættene er indenfor +/- 10 cm af dem samplet i *Stream Flood*.

Det ses i denne tabel at den station, hvor vandstandene færrest af dagene falder indenfor 10 cm af den samplede vandstand, er den samme station der i ekstremværdianalysen giver de mest urealistiske estimater. Navnlig station 22000048. Desuden ses det at 22000068 også har en relativ lav del af de historiske vandstande, som falder indenfor den fra *Stream Flood*. Ved denne station er problemet, modsat 22000048, at den genererede vandstand er for lav ift. datasættets.

Der ses en overensstemmelse mellem de stationer hvor *Stream Flood* har ramt tæt på årsmiddelværdien i ovenstående histogrammer, og de hvor flest dage er indenfor 20 cm af den genererede vandstand. Det samme ses for de boxplots hvor det genererede vandspejl placerer sig repræsentativt i forhold til de månedlige variationer i vandstande der forekommer.

5.5 Delkonklusion 2

Underspørgsmål 2 lød:
"Hvordan er vandstandende genereret af Stream Flood repræsentative for målte vandstande i Storåen?"

Hertil kan der svares i to dele, en del relateret til den oprindelige genererede vandstand, og en relateret til de vandstande der er hævet 0,5 og 1 m fra den oprindelige vandstand.

Den oprindelige genererede vandstand ses generelt, ved de undersøgte stationer, at repræsentere en værdi der ligger højere end årsmiddelværdien for vandstanden ved samme station. Dette bekræftes af histogrammer for vandstandene ved stationerne. De genererede vandstande ses dog at ligge indenfor den normale årlige variation af vandstanden, når boxplots for de månedlige målte vandstande optegnes for stationerne.

Tendensen til at den genererede vandstand ligger højt i forhold til årsmiddelvandstanden, kan forklares ved, at overflyvningerne til at generere højdemodellen bliver foretaget i vinteren. Der ses to stationer hvor den genererede vandstand fra *Stream Flood* ikke er repræsentativ for de vandstande der historisk har været. Ved den ene station, 22000048, er vandstanden i stor grad for høj, hvilket forklares ved et sidetilløb der forstyrrer billedet af vandspejlet nedenfor pga. måden *Stream Flood* virker. Den anden station hvor den oprindelige genererede vandstand ikke er repræsentativ, er station 22000068, hvor vandstanden er for lav. Der fandtes ikke nogen forklaring på, hvorfor dette var tilfældet.

Igennem ekstremværdianalysen fandtes der ikke noget endeligt svar på hvordan vandstanden hævet med 0,5 og 1 m er repræsentativ for de vandstande der forekommer ved de enkelte stationer. Det svinger meget hvad gentagelsesperioden bliver ved de forskellige stationer når vandstanden hæves, og derfor kan det altså ikke siges at dette er repræsentativt for nogen specifik hændelse. Desuden kan det nævnes at stigningerne er meget usandsynlige ved nogen stationer, f.eks. en 388-års vinterhændelse ved station 22000050, hvor den ved andre er rimeligt sandsynlige og ligger indenfor en 3-års vinterhændelse, som ved station 22000062.

6 | Sammenligning med vandstandsanalyser fra SCALGO

I dette kapitel vil resultater fra *Stream Flood*, af samme type som dem foretaget i kapitel 4 og 5, valideres imod analyser udført i SCALGO Live. Først vil der gives en beskrivelse af analysen der er udført i SCALGO Live. Valideringen vil foretages gennem beregninger af RMSE (root mean square error) og MAE (mean absolute error), samt gennem plots af residualer og sammenligninger af størrelserne af oversvømmelsesudbredelserne.

6.1 Oversvømmelsesanalyse baseret på vandstandsstigning

Det er allerede konkluderet i delkonklusion 2, at der ikke kan knyttes nogen konkret gentagelsesperiode til de vandstandsstigninger *Stream Flood* genererer. En lignende konklusion er givet af SCALGO / COWI [2017], hvor der undersøges metoder til brug for screeninger af vandløbsoversvømmelser. Her beskrives det, at det er vanskeligt at bestemme én vandstandsstigning, der i deres undersøgelse repræsenterer en 100-års hændelse for afstrømningen. Undersøgelsen er foretaget for Kystdirektoratet.

Der er dog, på trods af denne konklusion, implementeret en funktion i SCALGO, hvor en slider, se figur 6.1, kan vise brugeren oversvømmede arealer og oversvømmelsesdybder, når vandspejlet stiger et givent antal centimeter relativt til højdemodellen. Dette er altså en metodik der burde resultere i oversvømmelsesudbredelser og dybder lignende dem genereret i *Stream Flood*. Derfor vil disse bruges til sammenligning, selvom det er tvivlsomt hvad en given stigning i vandspejlet statistisk set er sigende for, i forhold til afstrømningen.

Figur 6.1: Slider i SCALGOs interface, der lader brugeren hæve vandstanden i vandløbene relativt til højdemodellen [SCALGO ApS u.d.(a)].

6.2 Input i SCALGO og Stream Flood

Fordi opløsningen fra SCALGO er meget finere, 0,4 x 0,4 m, end den valgt tidligere i *Stream Flood*, og fordi DHM i oplandet er blevet opdateret siden input-dataen blev hentet ned til analyserne i kapitel 4 og 5, er der lavet en ny kørsel af pluginet for at generere de outputs der sammenlignes med SCALGO i dette samt næste kapitel. De inputs der er brugt kan ses i tabel 6.1. Desuden er udtrækket af oversvømmelsesdybder fra SCALGO skaleret til at stemme overens med opløsning og udstrækning af de outputs der er genereret i *Stream Flood*.

Fra SCALGO er der udtrukket oversvømmelseskort hvor slideren vist i figur 6.1 er sat til 0,5 og 1 meter, hvilket altså er samme vandstandsstigninger *Stream Flood* genererer oversvømmelseskort ud fra. Desuden er slideren for vanddybde i udtrækkene sat til 0, for at få samtlige oversvømmede arealer med, da alle disse også medtages i *Stream Flood*. Dette er altså ikke nødvendigvis et udtryk for at små oversvømmelsesdybder normalt ville medtages i en oversvømmelseskortlægning, men for at gøre resultaterne så sammenlignelige som muligt.

For begge kortlægninger i de kommende analyser, undersøges hele Storåens opland på én gang, da vandstandsstigningen i outputtene fra SCALGO Live og *Stream Flood* er den samme over hele oplandet, hhv. 0,5 og 1 m.

Parameter	Input	Enhed
Stream line file	Vandløbslinje fra vandområdeplaner. [Miljøministeriet / Miljøstyrelsen 2022b]	-
Terrain model	DHM inkl. bygninger	-
Buffer size	500	m
Distance between points	50	m
Gradient of watertable	0	‰
Grid size rasters	5	m
Radius filter	90	pixels
Grid size water volume	100	m
Buffer size with stats	50	m
Buffer size without stats	2,5	m
Length for gradient calc.	50	m

Tabel 6.1: Input brugt i *Stream Flood* til at generere outputs til analyserne i dette kapitel.

6.3 Sammenligning af oversvømmelsesdybder

Det fremgår ikke af oversvømmelsesfigurerne fra kapitel 4, men bag alle de markerede blå arealer, ligger der pixels, der hver indeholder en oversvømmelsesdybde. Dette giver mulighed for at sammenligne med de oversvømmelsesdybder der er genereret i *Stream Flood* og SCALGO.

Oversvømmelsesdybderne outputtet af de to forskellige analyser undersøges som nævnt ved hjælp af RMSE samt MAE. Disse tal er mål for hvor stor forskel der er på resultaterne fra begge analyser (i RMSE, kvadreret), midlet over antallet af pixels. Derfor kan de indikere, hvor ens kortlægningerne er. For at få større indsigt i forskellene, er kortlægningerne som nævnt også undersøgt ved at plotte histogrammer over residualerne, samt ved at udarbejde hexagonal binning-plots.

6.3.1 RMSE og MAE for 0,5 m hævet vandspejl

Nedenfor, i tabel 6.2, kan der ses tre beregnede RMSE for sammenligningen mellem SCALGO outputtet hvor vandspejlet er hævet 0,5 m relativt til højdemodellen, og *Stream Flood*-outputtet, hvor vandspejlet er hævet 0,5 m relativt til det originalt ekstrapolerede vandspejl. I bilag AF findes et kort over hele oplandets kvadrerede fejl, hvor de arealer hvor der er størst forskel på værdierne i de to kortlægninger kan genkendes.

Årsagen til der findes tre værdier for RMSE for disse kort, er at der i den originale beregning blev fundet et enkelt sted i kortet med en meget stor fejl. Fejlen bestod af 6 af de i alt ca. 78,5 millioner pixels, hvor den kvadrerede differens var større end 1 million. De andre kvadrerede fejl varierer imellem 0-18 for disse kortlægninger generelt. Fejlen fremkom fordi der i den inputtede højdemodel var et område på, som nævnt, 6 pixels, med værdien -999 m DVR90. Derfor blev outputtet fra *Stream Flood* i omegnen af en faktor 1000 forkert, og den kvadrerede fejl blev derfor 1000^2 i hver af disse pixels. Fjernes disse 6 pixels fra beregningen, fås værdien $RMSE_{revurderet}$ vist i tabel 6.2. Denne værdi vurderes at være mere retsvisende for den egentlige overensstemmelse mellem de to oversvømmelseskortlægninger.

$RMSE_{original}$	$RMSE_{revurderet}$	$RMSE_{allepixels}$
2,76 m	1,65 m	0,36 m

Tabel 6.2: RMSE beregnet for SCALGOS oversvømmelseskort ved 0,5 m relativ stigning af vandstanden i vandløbene i Storåens opland, og oversvømmelseskort med 0,5 m stigning i forhold til originalt ekstrapoleret vandspejl i *Stream Flood*.

Såfremt værdierne fra *Stream Flood* er normalfordelte omkring værdierne fra SCALGO, vil RMSE repræsentere en spredning. I det tilfælde vil det sige at der kan forventes at ca. 68% af fejlene ligger indenfor 1,65 m, i den korrigerede kortlægning. Selvom det er bedre end de originale 2,76 meter før korrektionen, må det konkluderes at være høje værdier i sammenhæng med oversvømmelsesdybder og vand på terræn. Det vil altså sige der ikke er god sammenhæng mellem de oversvømmelsesdybder der outputtes af de to programmer, ifølge RMSE.

I beregningen af $RMSE_{allepixels}$ er alle pixels fra de sammenlignede kortlægninger medtaget. Det vil sige 0-residualerne også er med, hvilket de ikke er i de to andre beregninger af RMSE. Denne betragtning giver et væsentligt pænere resultat, fordi det afspejler at der er mange tørre pixels i oplandet, hvor der er overensstemmelse mellem resultaterne i SCALGO og *Stream Flood*. Det problematiske ved dette mål er, at udstrækningen af det undersøgte område i princippet kan udvides, hvor RMSE ville blive mindre, selvom det ikke giver et mere sigende resultat, fordi arealer langt væk fra vandløbets opland, naturligvis ikke vil oversvømmes, hvilket begge oversvømmelseskortlægninger afspejler.

$MAE_{original}$	$MAE_{revurderet}$	$MAE_{allepixels}$
0,41 m	0,41 m	0,01 m

Tabel 6.3: MAE beregnet for SCALGOS oversvømmelseskort ved 0,5 m relativ stigning af vandstanden i vandløbene i Storåens opland, og oversvømmelseskort med 0,5 m stigning i forhold til originalt ekstrapoleret vandspejl i *Stream Flood*.

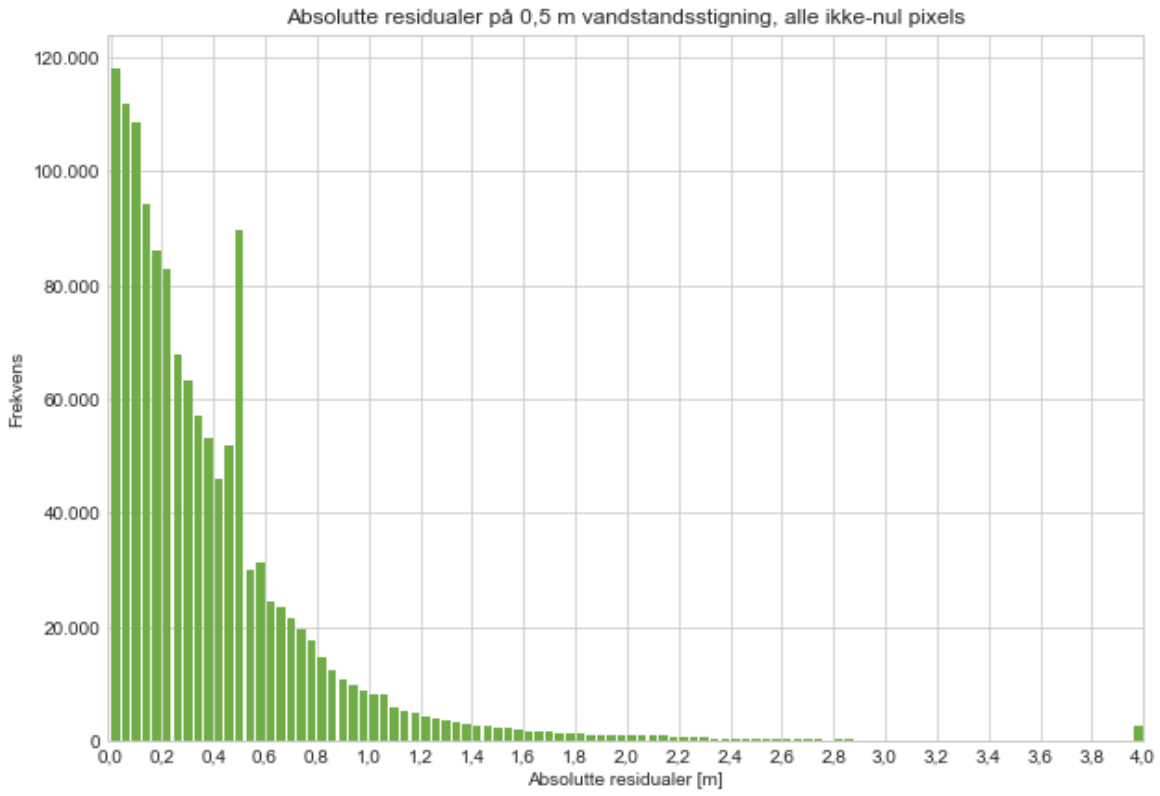
Forskellen i beregningerne af de tre forskelige MAE, er de samme som i beregningerne af RMSE. Den originale indeholder alle pixels der ikke er nul. Den revurderede indeholder alle pixels der ikke er nul, men ikke de 6 pixels med den meget store fejl. $MAE_{allepixels}$ indeholder residualer på 0. Det ses at MAE i alle beregninger er lavere end RMSE. Dette er et udtryk for, at der i beregningen af RMSE, er nogle store residualer der bliver endnu større af at blive kvadreret. Desuden ses det også, at de 6 pixels med store fejl, ikke får samme grad af magt i denne beregning, som i den af RMSE.

Det ses i tabel 6.3, at den gennemsnitlige fejl over alle celler hvor der er en fejl, er 41 cm. Hvis samtlige celler medtages, bliver fejlen endnu mindre, på 1 cm. Beregningen af MAE tyder altså på. at der er en god overensstemmelse mellem de to kortlægninger, hvor vandstanden er hævet 0,5 m.

6.3.2 Plots for 0,5 m vandstandsstigning

For at undersøge sammenhængen mellem kortlægningerne nærmere er der plottet histogrammer af den absolutte værdi for residualerne for SCALGO og *Stream Flood* kortlægningerne. Histogrammet for alle residualer der ikke er nul, kan ses i figur 6.2. Histogrammet hvor alle pixels er medtaget, det vil sige nul-residualer også er med, kan ses i bilag C. Histogrammet i bilag C er ikke så interessant, da den meget store mængde 0-residualer gør det nær umuligt at se andre søjler, end den første.

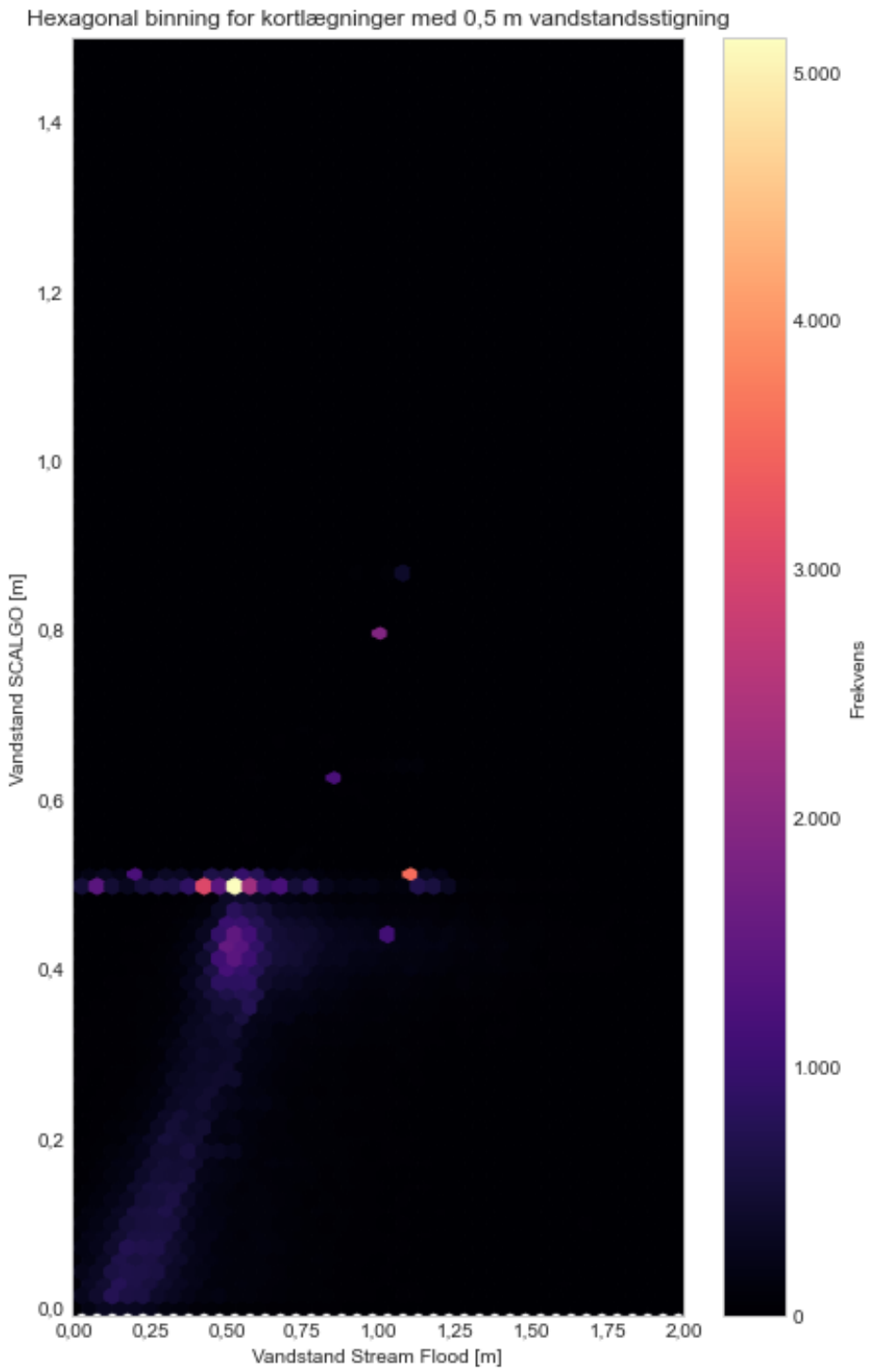
I histogrammet i figur 6.2 kan det ses at fejlen oftest er under de førnævnte 2,76 m og 1,65 m fra RMSE-begningen. Det ses dog også at der er en del pixels, hvor fejlen er større end de 41 cm beregnet i MAE. Det er i øvrigt interessant, hvordan det kan ses i figur 6.2, at der er et spring af mængden af risidualer omkring 50 cm. Ved nærmere undersøgelse af residual-kortet, tyder det på at årsagen hertil er, at residualen ved diverse søer, som SCALGO tager med, men *Stream Flood* ikke gør, ofte bliver givet en værdi på 50 cm.



Figur 6.2: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 0,5 i SCALGO og *Stream Flood*. Intervalbredde = 4 cm. Alle værdier over 4 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.

Ud over histogrammet over residualerne mellem kortene, er der udarbejdet hexoganal binning-plots for de to kortlægninger. Dette kan ses i figur 6.3. Diagrammet tilsvarer et scatterplot, men hvor alle værdier indenfor hvert hexagon er talt, og frekvensen vises ved farvegradueringen. Det vil sige der er mulighed for at visualisere sammenhængen mellem mange datapunkter uden plottet ville blive ulæseligt, hvilket er tilfældet for et scatterplot i denne sammenhæng.

Det ses i plottet i figur 6.3 at oversvømmelsesdybderne i nogen grad samles omkring vinkelhalveringslinjen. Det ses dog også at en række vandstande der i SCALGO outputtes som 0,5 m, outputtes som mange forskellige værdier i *Stream Flood*. Her vurderes der igen at være tale om søerne, hvor disse i SCALGO fyldes op til den værdi der via slideren er inputtet. Det ses også ved det ene højeste punkt i figur 6.3 at der i store dele i kortlægningerne er enighed om en oversvømmelsesdybde på 0,5 m. Der ses dog også en enkelt stor samling af pixels, hvor SCALGO viser en oversvømmelse der er lidt større end 0,5 m, og *Stream Flood* viser ca. 1,1 m.



Figur 6.3: Hexagonal binning af oversvømmelsesdybder når vandstanden er hævet 0,5 i SCALGO og *Stream Flood*. Egen figur.

6.3.3 RMSE og MAE for 1 m hævet vandspejl

RMSE beregnet for oversvømmelseskortet der er genereret ved at hæve vandstanden 1 m relativt til højdemodellen kan ses i nedenstående tabel. Igen er der også anført en korrigeret værdi, af samme årsag og samme fejl som beskrevet ovenfor. Igen kan der findes et kort over den kvadrerede fejl i hele oplandet. Dette findes i bilag AG.

Det ses i tabel 6.4 at RMSE er lavere for denne kortlægning end for den ovenstående kortlægning. Årsagen til dette er, at summen af kvadrerede fejl i denne kortlægning er ca. 1 million højere end i den ovenstående, gående fra ca. 10 millioner til 11 millioner. Summen af antal beregningsceller er dog i denne kortlægning ca. 1,6 millioner højere, gående fra ca. 1,3 millioner til 2,9. Fordi RMSE regnes ved at tage kvadratroden af summen af de kvadrerede fejl delt med antallet beregningsceller, og antallet af pixels med fejl er højere i denne kortlægning, er RMSE altså tilsvarende lavere, fordi der er flere celler at fordele fejlene over, selvom der ikke bliver mange flere fejl, relativt til den ovennævnte kortlægning. $RMSE_{allepixels}$ er i stor grad i samme størrelsesorden, som ved kortlægningerne af 0,5 m stigning.

$RMSE_{original}$	$RMSE_{revurderet}$	$RMSE_{allepixels}$
1,95 m	1,24 m	0,37 m

Tabel 6.4: RMSE beregnet for SCALGOS oversvømmelseskort ved 1 m relativ stigning af vandstanden i vandløbene i Storåens opland, og oversvømmelseskort med 1 m stigning i forhold til originalt ekstrapoleret vandspejl i *Stream Flood*.

$MAE_{original}$	$MAE_{revurderet}$	$MAE_{allepixels}$
0,48 m	0,47 m	0,02 m

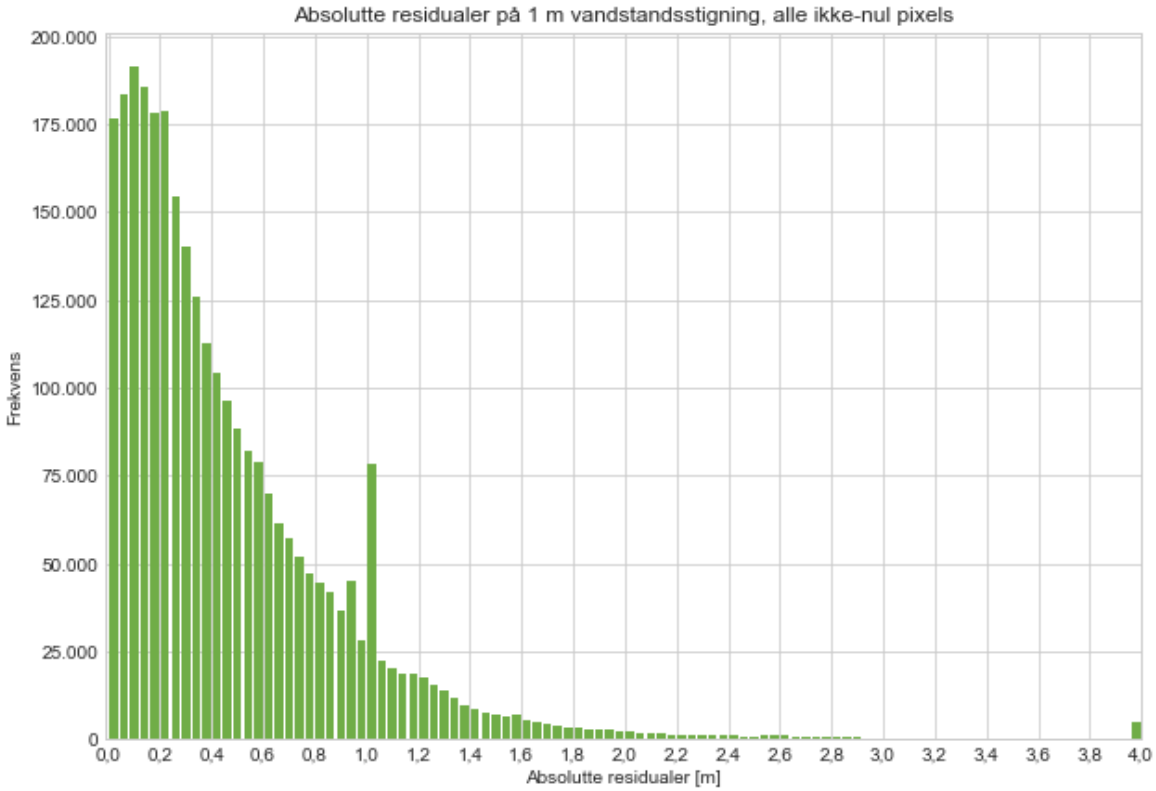
Tabel 6.5: MAE beregnet for SCALGOS oversvømmelseskort ved 0,5 m relativ stigning af vandstanden i vandløbene i Storåens opland, og oversvømmelseskort med 0,5 m stigning i forhold til originalt ekstrapoleret vandspejl i *Stream Flood*.

Igen må det konkluderes at der i de to første beregninger af RMSE ikke findes en særlig stor sammenhæng mellem de oversvømmelsesdybder der outputtes af de to programmer, da RMSE er så relativt høj. Medtages alle pixels ser det dog igen ud til at stemme bedre overens.

MAE, vist i tabel 6.5, ligger ved denne kortlægning også rimeligt lavt, hvilket igen tyder på en god overensstemmelse mellem kortlægningerne.

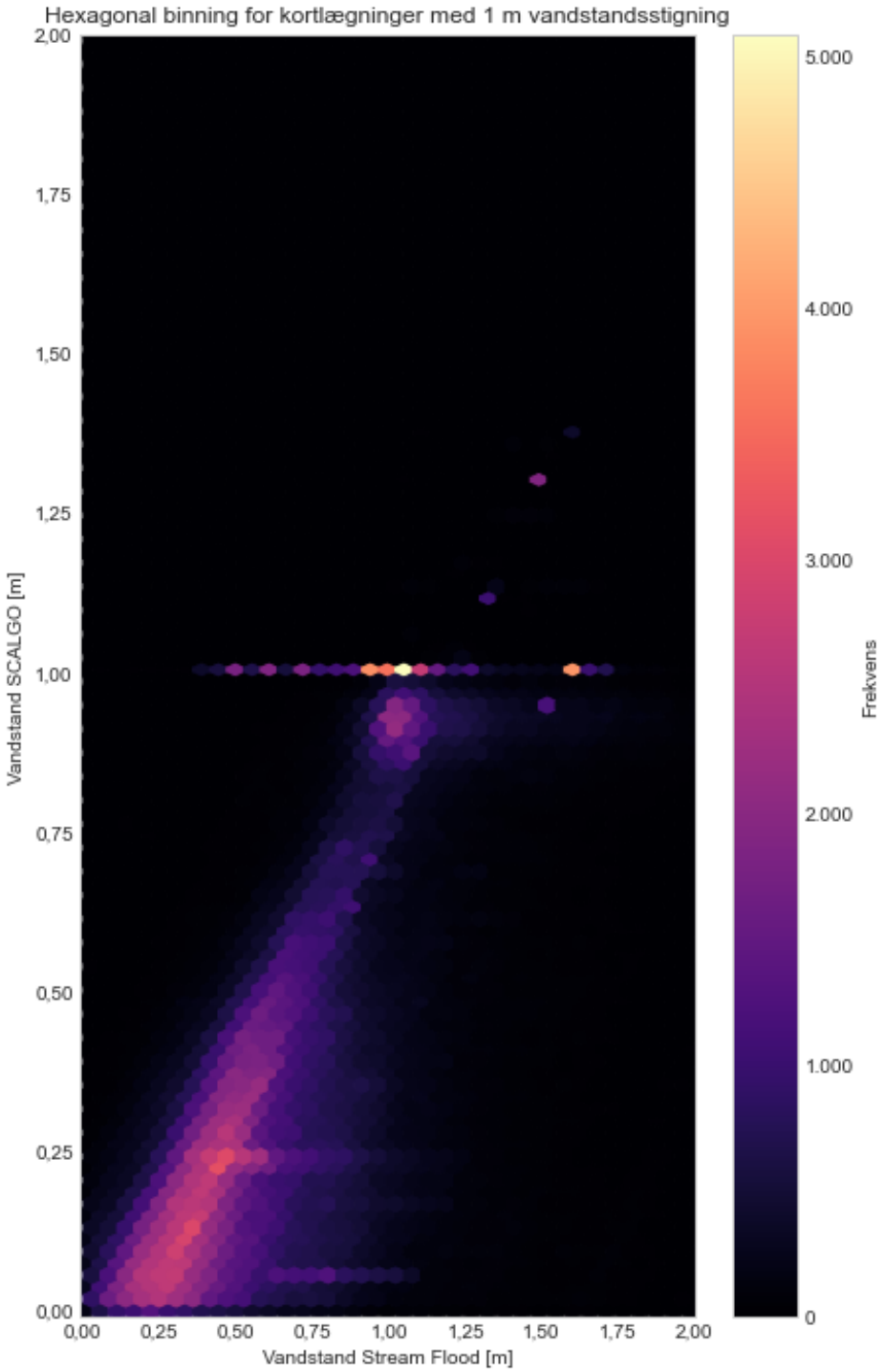
6.3.4 Plots for 1 m vandstandsstigning

I histogrammet i figur 6.4 kan det ses at fordelingen af residualerne i høj grad ligner det for den anden kortlægning. Derfor er konklusionerne i stor grad de samme. Det ses dog at der er flere værdier, altså frekvenserne er højere i figur 6.4 end i 6.2. Dette er et resultat af, at der er flere oversvømmede pixels i disse kortlægninger med 1 m vandstandsstigning, som residualerne beregnes for.



Figur 6.4: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 1 m i SCALGO og *Stream Flood*. Intervalbredde = 4 cm. Alle værdier over 4 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.

Plottet i figur 6.5, ligner også i stor grad det tilsvarende plot i figur 6.3. Igen er en stor del af værdierne samlet omkring vinkelhalveringslinjen, dog med en forskydning imod højere værdier i *Stream Flood*. En stor del af værdierne ses også at ligge på en vandret linje hvor SCALGO i dette tilfælde outputter 1 m oversvømmelsesdybde, og *Stream Flood* outputter en række forskellige dybder. Det tyder altså på at forskellen mellem output fra SCALGO og *Stream Flood* ikke ændrer sig væsentligt, når den inputtede vandstand ændres fra 0,5 til 1 m.



Figur 6.5: Hexagonal binning af oversvømmelsesdybder når vandstanden er hævet 1 m i SCALGO og *Stream Flood*. Egen figur.

6.4 Sammenligning af oversvømmelsesudbredelser

Selve udbredelsen af oversvømmelserne er også undersøgt. Dette er gjort ved at negligere de enkelte dybder af hver pixel, som er undersøgt i ovenstående afsnit, og udelukkende se på de oversvømmede arealer i de to forskellige måder at kortlægge på.

6.4.1 Arealsammenligning for 0,5 m hævet vandspejl

Oversvømmelsesudbredelserne, både fra SCALGO og *Stream Flood* kan ses i bilag AH for hele oplandet. I tabel 6.6 kan der ses en opgørelse over det samlede oversvømmede areal, fra begge kortlægninger. Det fremgår af tabellen, at *Stream Flood* overestimerer det oversvømmede areal med 38% i forhold til SCALGO. Denne tendens kan genkendes i bilag AH. Det ses at udstrækningen af outputtet fra *Stream Flood* generelt når længere ud i terræn end de fra SCALGO. Dette er på trods af, at der i summen af oversvømmet areal fra SCALGO er medtaget søer, hvilket ikke er medtaget i *Stream Flood*.

$Areal_{SCALGO}$	$Areal_{StreamFlood}$	**Procentvis afvigelse**
7.418.015 m^2	10.218.530 m^2	38%

Tabel 6.6: Opgørelse af oversvømmet areal i SCALGOS oversvømmelseskort ved 0,5 m relativ stigning af vandstanden i vandløbene i Storåens opland, og oversvømmelseskort med 0,5 m stigning i forhold til originalt ekstrapoleret vandspejl i *Stream Flood*.

En del af de oversvømmede arealer i *Stream Flood*, der ikke er oversvømmede i SCALGO, må forventes at være markerede som oversvømmede pga. den type fejl nævnt tidligere. Altså steder hvor vandløbslinjen ikke ligger i reelle vandløb, men over ledningsføringer, eller et sted oppe på brinken af vandløbet. Disse steder vil bidrage til for store oversvømmede arealer. Det kunne tyde på at SCALGO, hvor vandløbene også er definerede ved hjælp af tværsnit, på en smart måde kan finde minimum i snittet, og derved altid have en mere rigtig bund i vandløbet, at arbejde videre med.

En anden forskel i måden programmerne virker på, er at SCALGO til ethvert punkt i vandløbet, kontrollerer for oversvømmede pixels i højdemodellen, indenfor oplandet til punktet i vandløbet. Det vil altså sige at der tages hensyn til forhøjede arealer, som diger, der egentligt ville forhindre en given oversvømmelse i at ske. Det gøres der ikke i *Stream Flood*. Der bredes vandet ud, uden hensynstagen til, om der er et højdepunkt i forløbet der ville standse vandet i at løbe derhen. Dette kan dog tænkes som en forskel i formålet med de to programmer. I analysen i SCALGO tales der udelukkende om oversvømmelser fra stigninger i vandstand i vandløb. I *Stream Flood*, er der tale om en sammenhængende betragtning af vandstanden i vandløbene og den omkringliggende grundvandsstand. Når disse betragtninger medtages, giver det altså mening at der er større oversvømmet areal i outputtet fra *Stream Flood* end SCALGO.

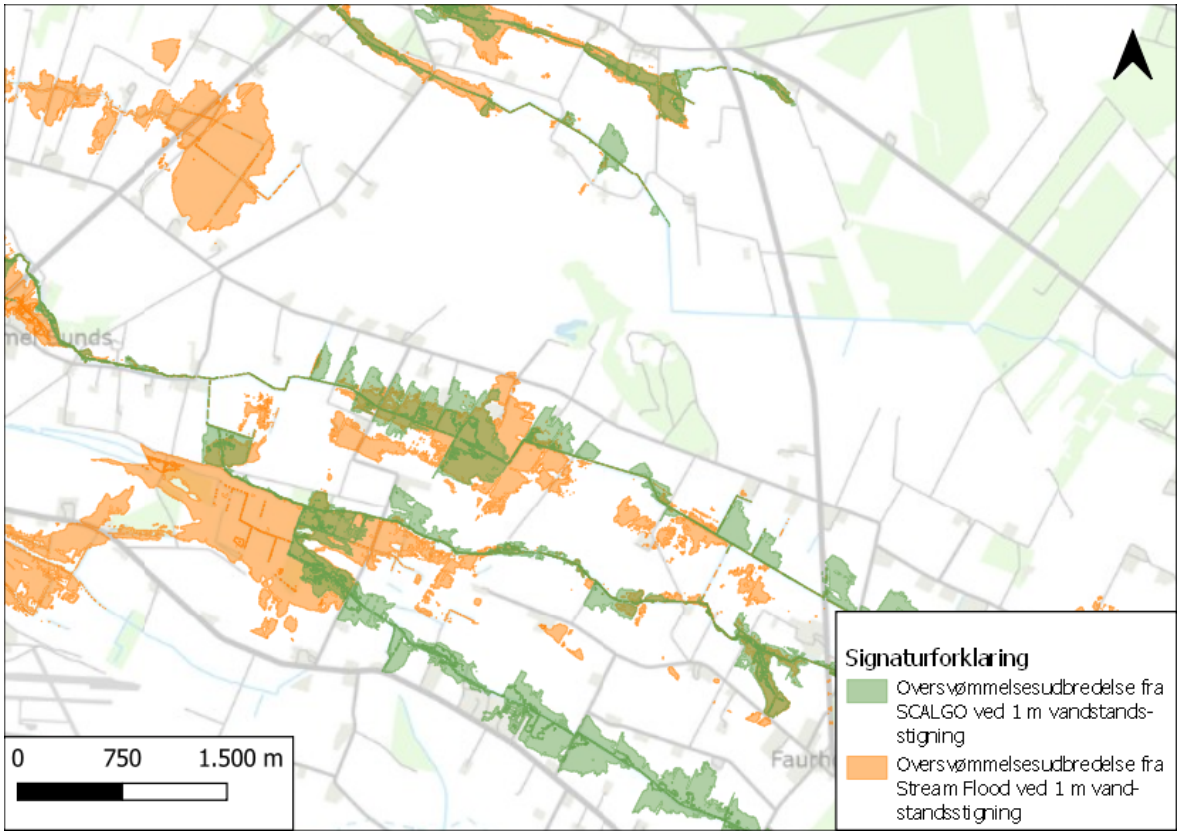
6.4.2 Arealsammenligning for 1 m hævet vandspejl

Det ses i tabel 6.7 at afvigelsen er nær den samme for denne kortlægning, som for den ovenstående. Kortbilag med de oversvømmede arealer kan ses i bilag AI. Undersøges kortbilagene AH og AI nærmere, kan det ses at endnu en årsag til *Stream Flood* outputter et større oversvømmet areal er, at den linje der er brugt i pluginet, dækker en række sidegrene til vandløbet, der ikke er medtaget i SCALGOs analyse.

Det kan dog ses at det ikke alene er dette der er årsagen til forskellen. På strækninger hvor både *Stream Flood* og SCALGO giver outputs, er tendensen at *Stream Flood* viser større udbredelser. Et eksempel på dette kan ses i figur 6.6, der er et udsnit af bilag AI, for arealet, SV for Gammel Sunds, som tidligere er undersøgt i afsnit 4.2.2 på side 18.

$Areal_{SCALGO}$	$Areal_{StreamFlood}$	**Procentvis afvigelse**
23.164.669 m^2	31.457.404 m^2	36%

Tabel 6.7: Opgørelse af oversvømmet areal i SCALGOS oversvømmelseskort ved 1 m relativ stigning af vandstanden i vandløbene i Storåens opland, og oversvømmelseskort med 1 m stigning i forhold til originalt ekstrapoleret vandspejl i *Stream Flood*.



Figur 6.6: Oversvømmelsesudbredelser fra SCALGO og *Stream Flood* SV for Gammel Sunds. Egen figur. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.

6.5 Delkonklusion 3

Underspørgsmål 3 lød:
"I hvor stor grad er der sammenfald mellem oversvømmelseskortlægninger genereret af Stream Flood, og analyser af vandløbet og oplandet udført i SCALGO Live?"

Hertil er det i kapitel 6 fundet, at når funktionen i SCALGO til at hæve vandstanden relativt til højdemodellen bruges, og sammenlignes med outputs fra *Stream Flood* er der rimeligt stort sammenfald mellem oversvømmelsesdybderne. Dette konkluderes da RMSE og MAE er lave, når alle residualer tages i betragtning, og når fejl i højdemodellen ikke tages med i beregningerne.

Oversvømmelsesdybderne ses også i stor grad at stemme overens, når residualer plottes op i histogrammer, og når kortlægninger undersøges ved hjælp af hexagonal-binning plots. I histogrammerne er residualerne i største grad små. Desuden fremgår det tydeligt i histogrammerne, at SCALGO fylder søer op til den valgte vandstand, hvor disse ikke tages med i *Stream Flood*, hvilket resulterer i en enkelt søjle med store residualer i hvert histogram. Denne fejl kan også genkendes i hexagonal-binning plottene, der ellers viser en tendens til at værdierne samles omkring vinkelhalveringslinjen, hvilket vil sige der er rimeligt stor tendens til, at oversvømmelsesdybderne stemmer overens.

Iht. udstrækningen af de oversvømmede arealer, er det fundet, at der generelt er en tendens til at *Stream Flood* markerer større arealer som oversvømmede, end SCALGO gør. Konkret viser kortlægningerne fra *Stream Flood* sig at være 36-38% større. Dette blev begrundet med forskelle i måden de to programmer virker på, hvor SCALGO tager højde for forhøjninger, hvilket *Stream Flood* ikke gør. Desuden begrundes overestimeringen også med de steder hvor *Stream Flood* har en fejl i vandløbslinjen, hvilket vil få pluginet til at overestimere oversvømmede arealer.

Det er også fundet at der ikke er væsentlig forskel i hvor store fejlene er, i kortlægningerne hvor vandstanden er hævet 0,5 og 1 m. Derfor antages det, at denne tendens ville følge enhver vandstandsstigning *Stream Flood* kunne kodes til at generere, som SCALGO også ville kunne analysere.

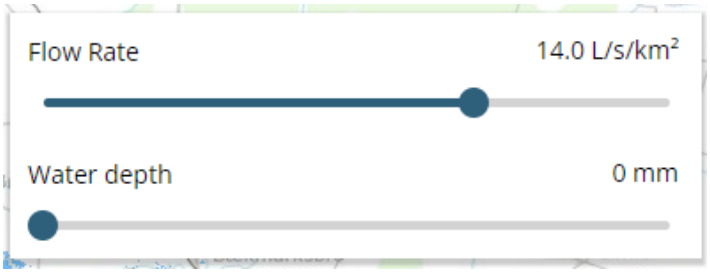
7 | Sammenligning med flow-rate analyser fra SCALGO

I dette kapitel vil resultater fra *Stream Flood* igen valideres imod analyser udført i SCALGO Live, denne gang baseret på flow-rate. Først vil der gives en beskrivelse af analysen der er udført i SCALGO Live. Igen vil resultaterne af analysen i *Stream Flood* valideres, ved hjælp af beregninger af RMSE og MAE, samt gennem plots af residualer og sammenligninger af størrelserne af oversvømmelsesudbredelserne.

7.1 Oversvømmelsesanalyse baseret på flow rate

Der findes en funktion i SCALGO Live, hvor oversvømmelseskort kan genereres ved at vandløbene påføres en arealspecifik afstrømning. Slideren til dette kan ses i figur 7.1. Det ønskes også at sammenligne resultaterne fra *Stream Flood* med disse kortlægninger, for at se om der viser sig en sammenhæng, når det ikke længere er samme metodik der bruges, med at hæve vandstanden, som der blev gjort i kapitel 6

Som nævnt i afsnit 2.3.2 på side 10, bruges der i flow-rate baserede beregninger i SCALGO en endimensionel stationær beregningsmetode, hvor vandstandene derfra bredes ud i terræn. På grund af forskellen i metoderne i SCALGO og *Stream Flood*, er det interessant at undersøge, om resultaterne viser nogen overensstemmelse, eller om forskellen i i kompleksitet giver væsentligt forskellige kortlægninger.



Figur 7.1: Slider i SCALGOs interface, der lader brugeren styre den arealspecifikke afstrømning til vandløbene [SCALGO ApS u.d.(a)].

7.2 Input i SCALGO og Stream Flood

Inputtene i *Stream Flood* er de samme som dem i afsnit 6.2 på side 46. Det vil sige at det er de samme kortlægninger med 0,5 og 1 m vandstandsstigning der bruges i den kommende analyse i dette kapitel. Desuden vil det originale interpolerede vandspejl også benyttes i sammenligningerne.

Beregningerne i *Stream Flood* er ikke flowbaserede. For at bestemme et meningsfyldt flow at inputte i SCALGO, er der ved stationerne analyseret i kapitel 5, opstillet QH-kurver. QH-kurverne er opstillet efter data fra vintermånederne (december-april jf. Larsen [2017]), og med differentiering mellem hvert år, for at få et nærmere indblik i, hvilken værdi for afstrømningen, der er meningsfyldt af vælge. Alle dataanalyser i forbindelse med QH-kurverne kan ses i bilag EF. De opstillede QH-kurver for hver station kan ses i bilag D. Station 22000048 er ikke undersøgt nærmere, da det i foregående kapitel viste sig at resultatet fra *Stream Flood*i alle tilfælde ved denne station var urealistisk.

Ved hjælp af QH-kurverne er der fundet vandføringer der svarer til de i *Stream Flood* genererede vandspejlshøjder. Vandspejlshøjderne er tidligere vist i tabel 5.1, 5.3, 5.4, 5.5 og 5.6. De tilsvarende vandføringer er derefter regnet om til arealspecifikke afstrømninger, baseret på oplandsarealet tilhørende de enkelte stationer. De bestemte vandføringer kan ses i tabel 7.1. De arealspecifikke afstrømninger er derefter inputtet i SCALGO, hvor det tilhørende oversvømmelseskort er udtrukket. Igen er outputtene fra SCALGO skaleret til at have samme opløsning som outputtene fra *Stream Flood*, dvs. 5 x 5 m.

For de høje vandføringer kan slideren i SCALGO ikke ramme de præcise værdier. I disse tilfælde er udtrækket baseret på den nærmeste værdi. Forskellen er ikke større end +/- 1 L/s/km^2, hvilket ikke vurderes væsentligt for resultaterne af analysen. Hvert udtræk er centreret omkring stationen, og har et areal på 100 km^2. Det tilsvarende areal og oversvømmelseskort fra *Stream Flood* er klippet til, så udstrækningerne af kortlægningerne er ens.

Station	**Oplandsareal**	$Q_{original}$	$Q_{0,5mhaevet}$	$Q_{1mhaevet}$
[nr.]	[km^2]	[L/s/km^2]	[L/s/km^2]	[L/s/km^2]
22000043	14,65	14	Ikke repræsenteret	Ikke repræsenteret
22000050	22,92	131	240	Ikke repræsenteret
22000053	48,47	10	Ikke repræsenteret	Ikke repræsenteret
22000062	1067	21	30	41
22000068	66,57	Ikke repræsenteret	14	Ikke repræsenteret

Tabel 7.1: Vandføringer bestemt ved vandstande der bliver genereret i *Stream Flood*, ud fra QH-kurverne der findes i bilag D og bilag AH.

7.3 Sammenligning af oversvømmelsesdybder

Igen vil overensstemmelsen mellem oversvømmelsesdybderne i de 8 tilfælde vist i tabel 7.1, analyseres ved hjælp af RMSE, MAE, histogrammer og hexagonal-binning plots. Kortlægninger af residualerne for samtlige stationer kan findes i bilag AK.

7.3.1 RMSE og MAE for alle flow-rate baserede kortlægninger

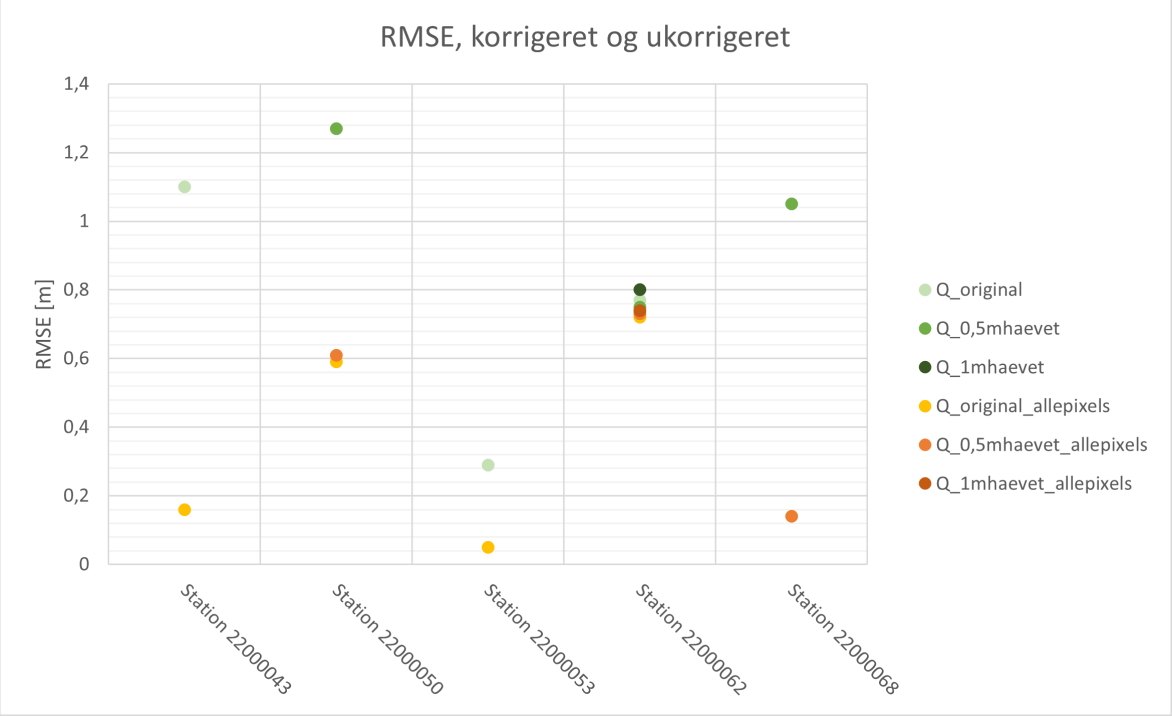
For overblikkets skyld er alle beregnede RMSE for alle 8 kortlægninger baseret på flow-rate samlet i tabel 7.2 og 7.3. Alle de tilsvarende MAE er samlet i tabel 7.4 og 7.5. Igen er der for nogen stationer beregnet korrigerede værdier, hvor der findes enkelte pixels med meget store fejl. De korrigerede værdier er markeret med parenteser, hvor de er beregnet, i de nedenstående tabeller. Da det undersøgte område for alle kortlægninger er lige store, er de beregnede værdier sammenlignelige. Resultaterne er visualiseret i figur 7.2 og 7.3.

Station	$RMSE_{original}$	$RMSE_{0,5mhaevet}$	$RMSE_{1mhaevet}$
[nr.]	[m]	[m]	[m]
22000043	1,10	Ikke repræsenteret	Ikke repræsenteret
22000050	2,32 (1,27)	2,21 (1,27)	Ikke repræsenteret
22000053	0,29	Ikke repræsenteret	Ikke repræsenteret
22000062	3,33 (0,77)	2,83 (0,75)	2,60 (0,80)
22000068	Ikke repræsenteret	1,05	Ikke repræsenteret

Tabel 7.2: Beregnede værdier af RMSE for oversvømmelseskortlægninger, for **alle ikke-nul pixels** fra SCALGO baseret på flow-rate, og *Stream Flood* baseret på de tilsvarende vandstandsstigninger. Værdierne er visualiserede med grønne nuancer i figur 7.2.

Station	$RMSE_{original}$	$RMSE_{0,5mhaevet}$	$RMSE_{1mhaevet}$
[nr.]	[m]	[m]	[m]
22000043	0,16	Ikke repræsenteret	Ikke repræsenteret
22000050	0,59	0,61	Ikke repræsenteret
22000053	0,05	Ikke repræsenteret	Ikke repræsenteret
22000062	0,72	0,73	0,74
22000068	Ikke repræsenteret	0,14	Ikke repræsenteret

Tabel 7.3: Beregnede værdier af RMSE for oversvømmelseskortlægninger, for **alle pixels** fra SCALGO baseret på flow-rate, og *Stream Flood* baseret på de tilsvarende vandstandsstigninger. Værdierne er visualiserede med orange nuancer i figur 7.2.



Figur 7.2: RMSE beregnet i de forskellige scenerier, ved de forskellige stationer. For stationer med korrigerede værdier, er det disse der er brugt. De grønne nuancer repræsenterer resultaterne i tabel 7.2. De orange nuancer repræsenterer resultaterne i tabel 7.3. Egen figur.

Det fremgår af tabel 7.2 og 7.3 at størrelsesorden af RMSE er lignende de tidligere fundne (1,65 m og 1,24 m, revurderet, for alle ikke-nul pixels). Generelt er de en smule lavere, når de er korrigerede, men højere før korrektionen. Dette tyder altså på at vandstandene genereret i *Stream Flood*, stemmer lige godt overens med oversvømmelseskortene genereret gennem flow-rate og vandstandsstigning i SCALGO.

I figur 7.2 kan det ses, at der ikke er en klar tendens til, at én af de tre oversvømmelseskortlægninger fra *Stream Flood*, er bedre sammenlignet med SCALGO, end de andre. Det tyder nærmere på, at der ved en given station enten er en god eller mindre god sammenhæng i kortlægningerne, og at det så er gældene for både 0, 0,5 og 1 m stigning af vandspejlet i *Stream Flood*. RMSE ændrer altså ikke markant størrelse, som følge af, at det er en anden kortlægning der undersøges ved den samme station. Samme tendens genkendes for MAE i tabel 7.4 og 7.5. I figur 7.2 og 7.3 fremgår det også at RMSE og MAE bliver væsentligt mindre, når alle pixels, og dermed alle nulresidualer, medtages.

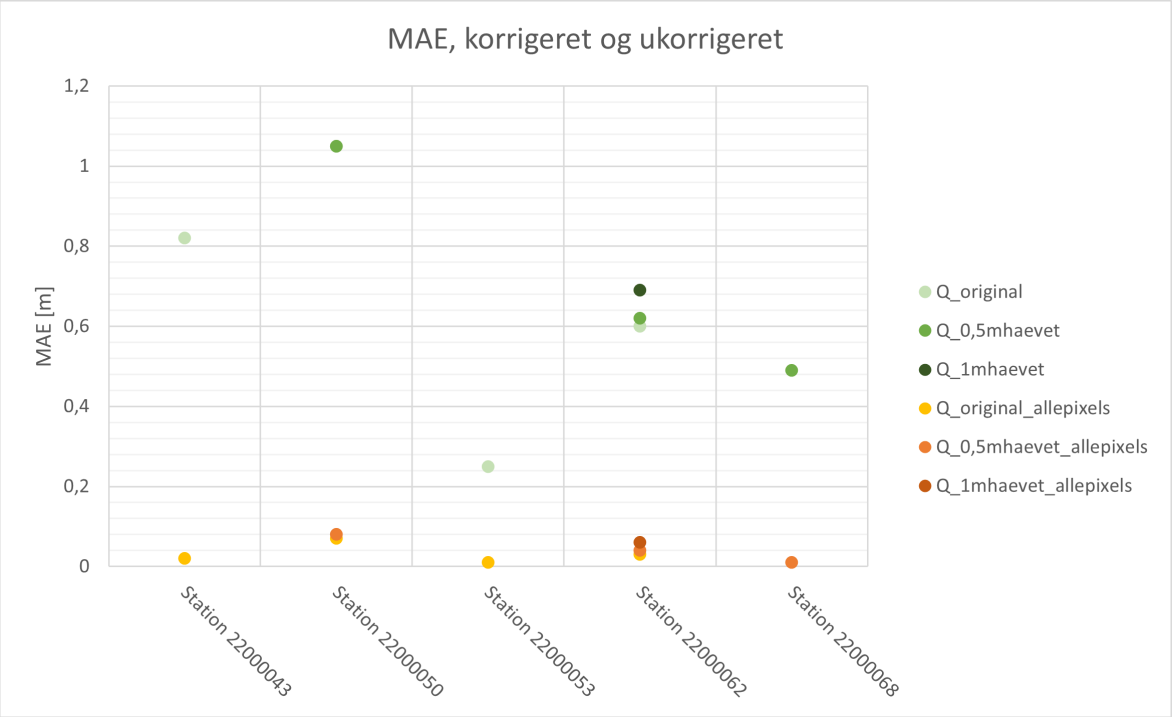
Station	$MAE_{original}$	$MAE_{0,5mhaevet}$	$MAE_{1mhaevet}$
[nr.]	[m]	[m]	[m]
22000043	0,82	Ikke repræsenteret	Ikke repræsenteret
22000050	1,06 (1,05)	1,06 (1,05)	Ikke repræsenteret
22000053	0,25	Ikke repræsenteret	Ikke repræsenteret
22000062	0,61 (0,60)	0,63 (0,62)	0,70 (0,69)
22000068	Ikke repræsenteret	0,49	Ikke repræsenteret

Tabel 7.4: Beregnede værdier af MAE for oversvømmelseskortlægninger, for **alle ikke-nul pixels** fra SCALGO baseret på flow-rate, og *Stream Flood* baseret på de tilsvarende vandstandsstigninger. Værdierne er visualiseret med grønne nuancer i figur 7.3.

Station	$MAE_{original}$	$MAE_{0,5mhaevet}$	$MAE_{1mhaevet}$
[nr.]	[m]	[m]	[m]
22000043	0,02	Ikke repræsenteret	Ikke repræsenteret
22000050	0,07	0,07	Ikke repræsenteret
22000053	0,01	Ikke repræsenteret	Ikke repræsenteret
22000062	0,03	0,04	0,06
22000068	Ikke repræsenteret	0,01	Ikke repræsenteret

Tabel 7.5: Beregnede værdier af MAE for oversvømmelseskortlægninger, for **alle pixels** fra SCALGO baseret på flow-rate, og *Stream Flood* baseret på de tilsvarende vandstandsstigninger. Værdierne er visualiserede med orange nuancer i figur 7.3.

For MAE ses dog en tendens til, at denne er højere for de flowrate baserede beregninger, se tabel 7.4 og 7.5, end den var for dem baseret på vandstandsstigninger. De tidligere værdier blev fundet til at være 0,41 m og 0,47-0,48 m, når nul-residualer ikke blev regnet med. Det er kun ved station 22000053, at MAE er lavere, end ved den tidligere sammenligning. Det vil sige at MAE tyder på, at disse flow-baserede kortlægninger fra SCALGO generelt stemmer mindre overens med outputtet fra *Stream Flood* end de baseret på vandstandsstigning.



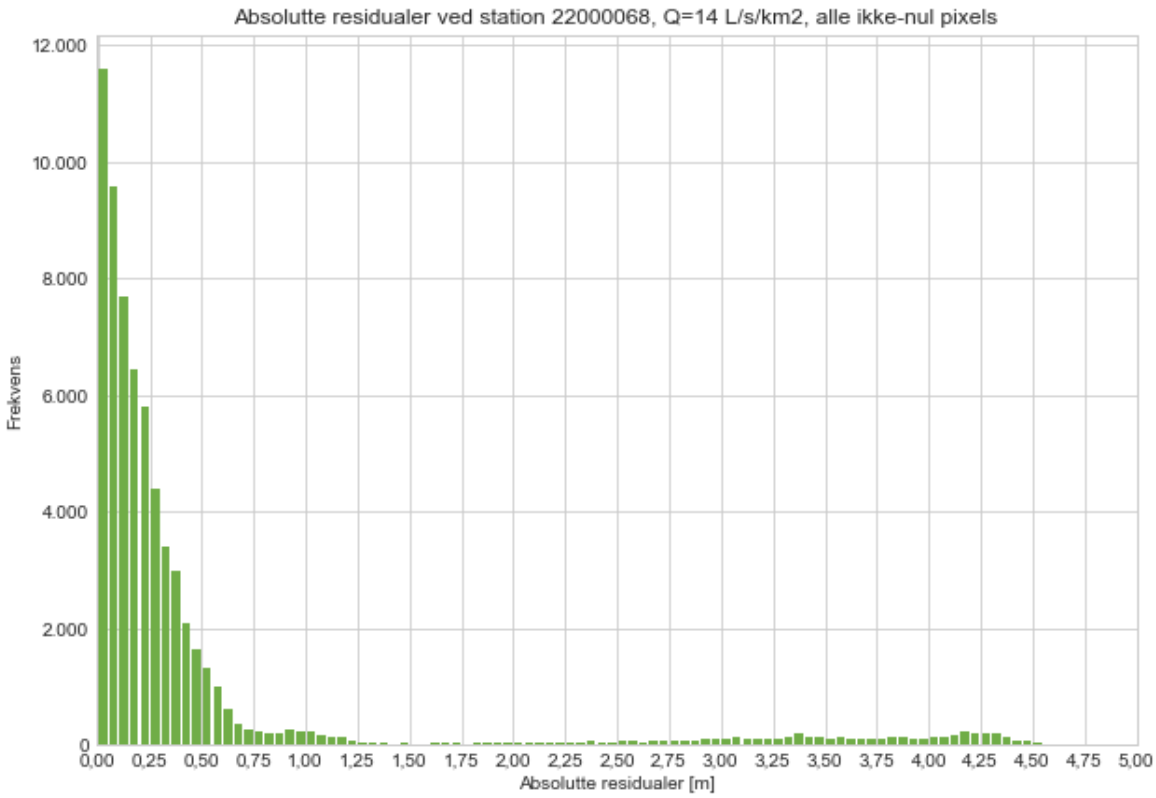
Figur 7.3: MAE beregnet i de forskellige scenarier, ved de forskellige stationer. For stationer med korrigerede værdier, er det disse der er brugt. De grønne nuancer repræsenterer resultaterne i tabel 7.4. De orange nuancer repræsenterer resultaterne i tabel 7.5. Egen figur.

7.3.2 Plots for alle flow-rate baserede kortlægninger

Ligesom for tidligere sammenligninger af oversvømmelseskortlægninger, er der udarbejdet histogrammer for de absolutte residualer for alle kortlægningerne. Alle histogrammerne kan findes i bilag E. I figur 7.4 og 7.5, findes to udvalgte histogrammer, der repræsenterer de to tendenser der forekommer ved stationerne. Ved station 22000068 i figur 7.4 ses samme tendens som ved histogrammerne for residualerne i afsnit 6.3, altså at der er flest residualer nærmest nul, og at frekvensen aftager som størrelsen af residualerne stiger. Dette tyder altså på en god overensstemmelse ved denne station. Dette er tilnærmelsesvist også tilfældet ved station 22000043.

Resten af stationernes histogrammer for residualerne, tager dog i større grad form som det vist i figur 7.5, for station 22000050. Her er der ikke nogen tydelig tendens, og fordelingen af residualerne tyder på, at der ikke er god overensstemmelse mellem kortlægningerne ved disse stationer. Der ses en sammenhæng mellem de stationer hvor histogrammerne i højest grad er fordelt omkring nul, og de stationer der har de laveste værdier beregnet for RMSE og MAE.

Det er altså størstedelen af histogrammerne, der viser tendens til dårlig sammenhæng mellem kortlægningerne.

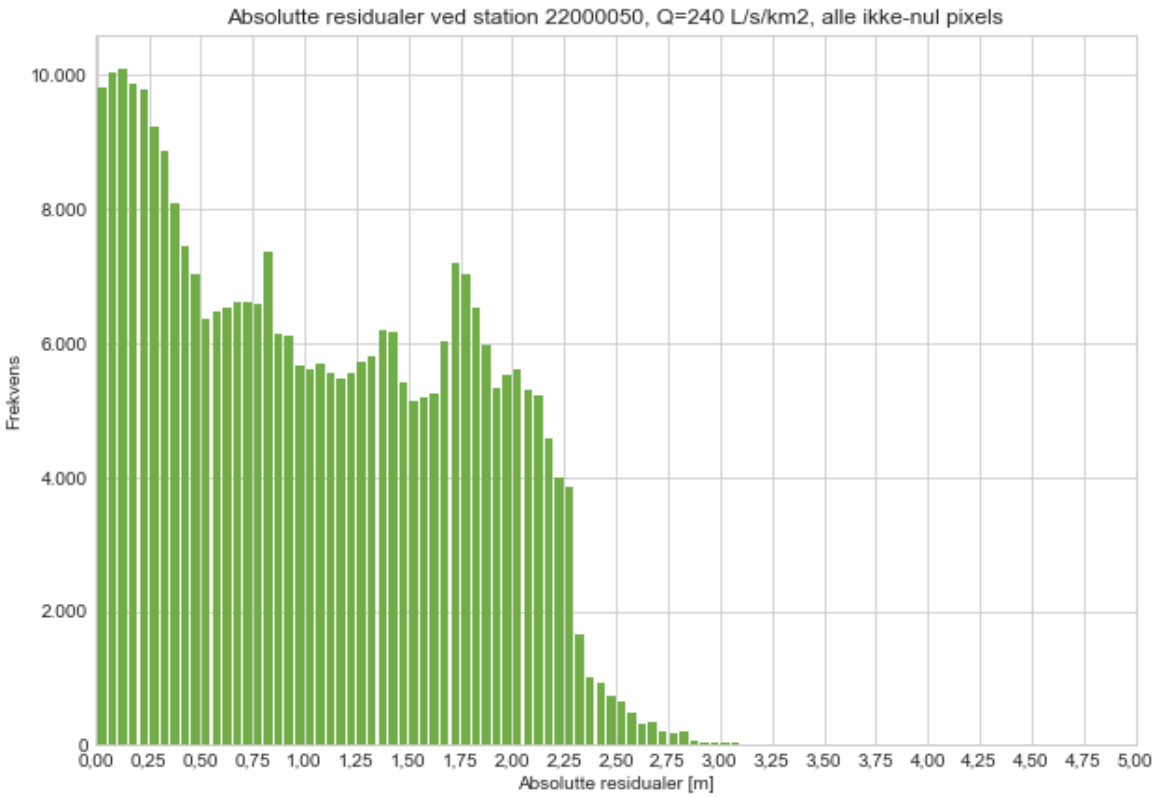


Figur 7.4: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 0,5 m i *Stream Flood*, og oversvømmelseskort for den tilsvarende afstrømning i er udtrukket fra SCALGO. Intervalbredde = 5 cm. Alle værdier over 5 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.

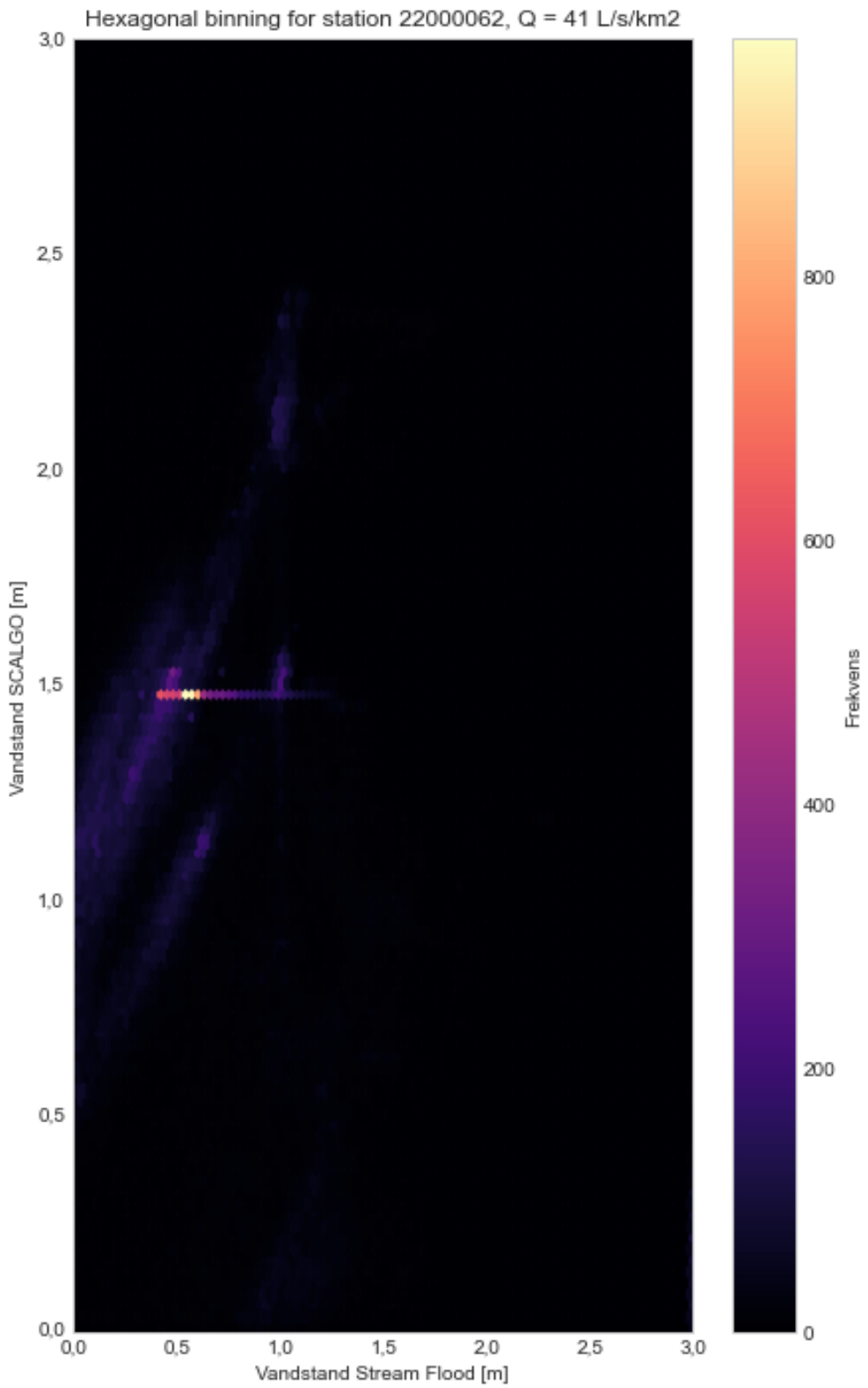
Hexagonal-binning plottene udarbejdet for de 8 kortlægninger kan findes i bilag F. Der er udtaget et enkelt af dem, for station 22000062, der er repræsentativt for alle plottene i denne analyse, bortset fra det ved station 22000068. Dette plot kan ses i figur 7.6. Tendensen er i stor grad den samme, for samtlige hexagonal-binning plots i denne analyse. I figur 7.6 fremgår det tydeligt, at der ikke længere er god sammenhæng mellem kortlægningerne. Der ses ingen gruppering af værdierne omkring vinkelhalveringslinjen. Der ses en tendens til at SCALGO viser høje værdier for vandstanden når *Stream Flood* viser lave værdier. Tendensen til lille sammenhæng mellem kortlægningerne er uafhængig af, om RMSE og MAE ligger højt eller lavt ift. tidligere analyse.

Som nævnt er den eneste station der ikke følger denne tendens, station 22000068, hvor der i plottet i bilag F i figur F.7 vises nogen tendens til, at værdierne samles omkring vinkelhalveringslinjen. Tendensen er dog ikke ligeså udtalt, som i analysen baseret på vandstandsstigninger. Dette stemmer overens med, at det er ved denne station histogrammet for residualerne centrerer sig omkring 0.

Som med histogrammerne må konklusionen omhandlende hexagonal-binning plottene være, at der i størstedelen af tilfældene er dårlig sammenhæng mellem kortlægningerne.



Figur 7.5: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 0,5 m i *Stream Flood*, og oversvømmelseskort for den tilsvarende afstrømning i er udtrukket fra SCALGO. Intervalbredde = 5 cm. Alle værdier over 5 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.



Figur 7.6: Hexagonal binning af oversvømmelsesdybder outputtet af SCALGO og *Stream Flood*. Egen figur.

7.4 Sammenligning af oversvømmelsesudbredelser

Når udstrækningen af de oversvømmede arealer sammenlignes, ses der en tydelig tendens til at SCALGO i denne analyse outputter større oversvømmede arealer end *Stream Flood*, hvilket er modsat tendensen i den forrige analyse af oversvømmelsesudbredelser.

I tabel 7.6 kan de oversvømmede arealer for hver kortlægning ses, og i bilag AK, er de 8 oversvømmelseskort fra den flow-rate baserede analyse samlet. Betragtes de procentvise afvigelser fra tabel 7.6 alene, ses det at størstedelen af kortlægningerne stemmer meget dårligere overens mellem SCALGO og *Stream Flood*, end i analysen baseret på vandstandsstigning. Dette hænger godt sammen med konklusionen om MAE, samt om histogrammerne og hexagonal-binning plottene.

Betragtes kortene i bilag AK, kan en del af forklaringen findes for, hvorfor der er så stor afvigelse. Station 22000050 og 22000062 ligger som tidligere nævnt nær udløbet af Storåen. Station 22000050 er dog beliggende på en sidegren lige før udløbet, og derfor er oplandsarealet ikke så stort. Det vil sige den arealspecifikke afstrømning bliver relativt høj her, og når den så påføres hele udtrækket, hvor udløbet også er med, bliver det en meget stor vandføring, hvilket resulterer i store oversvømmede arealer. Betragtes oversvømmelseskortet for station 22000050 alene, i bilag AK, side 2 og 3 af 8, kan det ses at der er større overensstemmelse mellem de to kortlægninger, på den sidegren stationen ligger på, og at det først er oppe hvor sidegrenen møder Storåen, der er store forskelle.

Der ses generelt en tendens til at de stationer der ligger nær udløbet, 22000050 og 22000062, har meget større oversvømmelsesudbredelser fra SCALGO, når der arbejdes med vandføringen valgt ud fra den originalt ekstrapolerede vandstand, og hvor denne er hævet 0,5 m. Det er svært at sige om vandstanden hævet med 1 m, med sikkerhed er repræsentativ for en tilsvarende kortlægning i SCALGO, fordi der kun fandtes ét tilfælde hvor det var relevant, ud fra QH-kurverne. I dette ene tilfælde, er der dog ikke særlig stor afvigelse, i forhold til de andre kortlægninger.

Det ses også ved stationerne nær udløbet, at der er et par vandløbsstrækninger med i udtrækket, som egentligt ikke indgår i Storåens opland, fordi de har eget udløb til Nissum Fjord. Disse er ikke medtaget i *Stream Flood*, hvor de også kan bidrage til for store arealer fra SCALGO.

Station, scenarie	$Areal_{SCALGO}$	$Areal_{StreamFlood}$	**Procentvis afvigelse**
22000043, 0 m hævet	1.586.065 m^2	469.435 m^2	238%
22000050, 0 m hævet	6.274.510 m^2	181.005 m^2	3366%
22000050, 0,5 m hævet	6.925.193 m^2	1.114.229 m^2	522%
22000053, 0 m hævet	1.714.980 m^2	243.067 m^2	606%
22000062, 0 m hævet	3.837.585 m^2	223.966 m^2	1613%
22000062, 0,5 m hævet	4.387.583 m^2	1.414.731 m^2	210%
22000062, 1 m hævet	4.938.152 m^2	3.621.214 m^2	36%
22000068, 0,5 m hævet	456.707 m^2	299.591 m^2	52%

Tabel 7.6: Opgørelse af oversvømmet areal i SCALGOS oversvømmelseskort ved de i tabel 7.1 angivne afstrømninger, samt for oversvømmelseskort med 0, 0,5 og 1 m stigning i forhold til originalt ekstrapoleret vandspejl i *Stream Flood*.

Ved station 22000053, kan det i bilag AL ligne at søen der ikke er medtaget i *Stream Flood* udgør en stor andel af det samlede oversvømmede areal i den kortlægning, hvorfor arealet ved denne station bliver meget stort i SCALGO i forhold til *Stream Flood*. Kortlægningen tager, hvis søen undtages, form som ved station 22000068, hvor der ellers er rimeligt god overensstemmelse mellem størrelsen af de oversvømmede arealer.

Der findes ikke flere tendenser forbundet med, hvorfor de procentvise afvigelser er så store for så mange af stationerne, ud over at kortlægningerne stemmer dårligt overens med hinanden. Årsagen kan være, at vandføringen valgt for hver delstrækning egentligt ikke er repræsentativ for vandstanden outputtet af *Stream Flood*. Desuden må de valgte vandføringer generelt være for høje. Et bud på en mere retsvisende vandføring, end de valgt i QH-kurverne, kunne muligvis opnås ved at lave tidsserieanalyse på vandføringsdataen, og så vælge de vandføringer der svarer til samme gentagelsesperiode som vandstandene.

Årsagen kan også være at metodikken for de to analyser bare er for forskellige til, at kunne producere oversvømmelseskort der i dybde eller udbredelser er tilsvarende hinanden.

7.5 Delkonklusion 4

Underspørgsmål 3 lød:
"I hvor stor grad er der sammenfald mellem oversvømmelseskortlægninger genereret af Stream Flood, og analyser af vandløbet og oplandet udført i SCALGO Live?"

Hertil kan der, supplerende til delkonklusion 3, svares, at når der i Storåens opland anvendes flow-rates i SCALGO, bestemt ud fra QH-kurver fra hydrometriske stationer i oplandet, ikke er en god overensstemmelse imellem kortlægningerne. Dette er konklusionen for både vandspejlets højde, såvel som oversvømmelsernes udbredelse.

Dette konkluderes på baggrund af beregnede MAE-værdier der er relativt høje for størstedelen af undersøgte kortlægninger. Desuden viser histogrammer med residualer, at residualerne ikke er samlet omkring nul, og ofte virker mere tilfældigt fordelt. Det konkluderes desuden på baggrund af hexagonal-binning plots, hvor der i 7 ud af 8 tilfælde ikke ses nogen samling af værdierne for vandspejlets højde omkring vinkelhalveringlinjen. I plottene ses der dog en tendens til, at SCALGO outputter høje værdier, når *Stream Flood* outputter lave værdier.

I forhold til størrelsen af de oversvømmede arealer konkluderes det, at SCALGO i de flow-rate baserede beregninger outputter større oversvømmede arealer, varierende mellem 36% afvigelse for de mest ens kortlægninger, til 3366% for de mindst ens kortlægninger. Her er der altså heller ikke god overensstemmelse mellem kortlægningerne.

Det dårlige sammenfald mellem kortlægningerne forklares med forskellige i beregningsmetoder, valg af værdier for vandføringen der muligvis ikke er repræsentative for vandstanden, samt med dataudtræk der evt. er for store, ift. hvad analyserne af de enkelte hydrometriske stationer egentligt kan være repræsentative for.

8 | Værdisættelse af arealer til vandtilbageholdelse

I løbet af dette kapitel vil der redegøres for hvordan resultater fra *Stream Flood* kan bruges til at screene for arealer til vandtilbageholdelse, igennem et QGIS-plugin, navnligt *VandparkeringVurderingVærdi (VVV)*. Desuden vil Storåens opland analyseres med pluginet, hvorefter resultaterne derfra vil præsenteres.

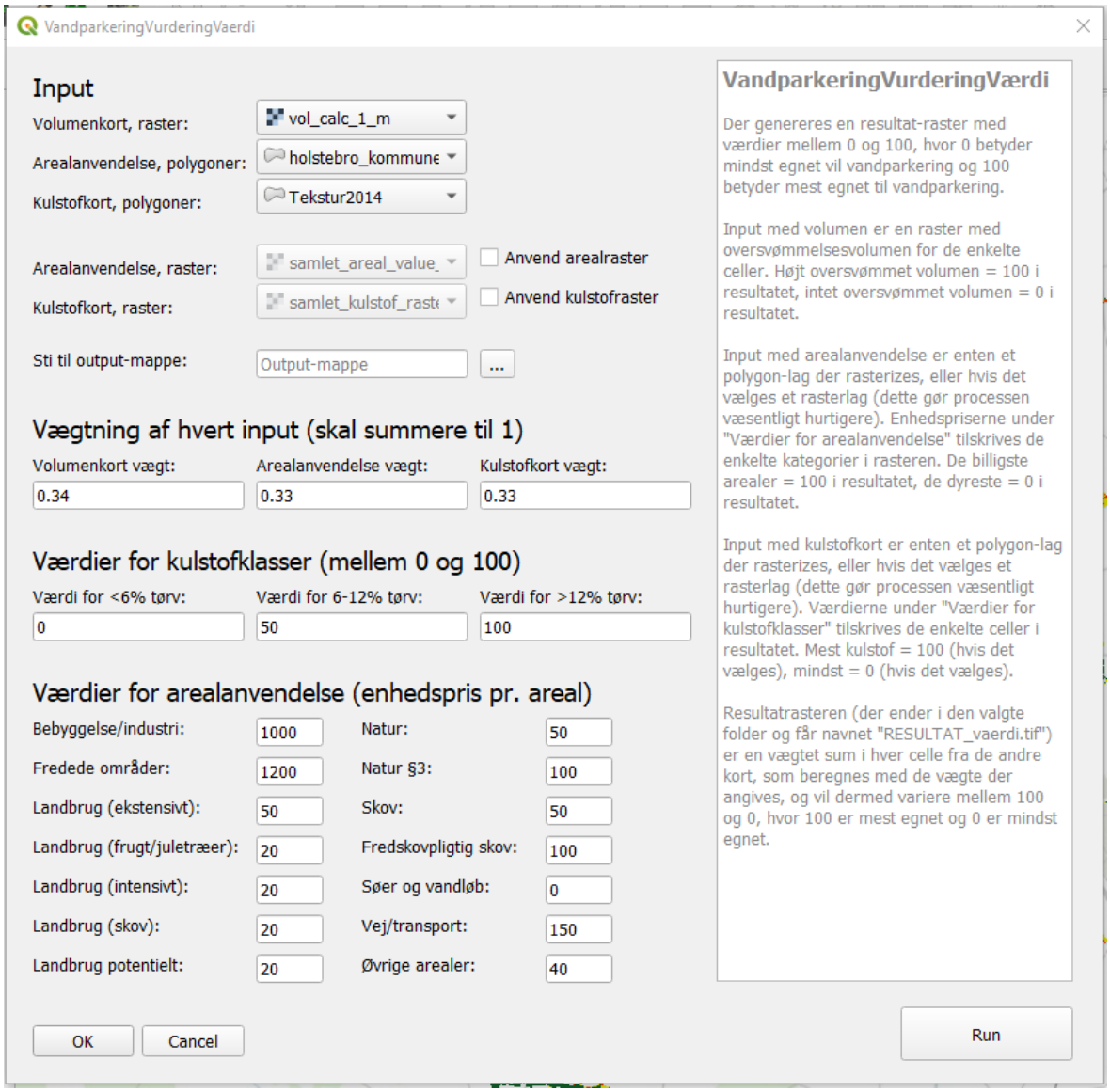
8.1 Bevæggrund for udvikling af VVV

Meningen med at lave endnu et plugin i løbet af praktikforløbet, efter *Stream Flood*, var at udvide analysen af områder der er sårbare overfor oversvømmelse fra vandløb, til systematisk at screene for arealer der kan være gunstige til vandtilbageholdelse. I den kontekst blev der fundet tre input, der var relevante:

1. Oversvømmelseskortlægninger; for hvilke arealer findes størst risiko for at blive oversvømmet?
2. Kulstofkortlægninger; hvor ville der kunne opnåes størst synergieffekt, ved også at tilbageholde CO_2 i kulstofholdige jorde?
3. Arealanvendelseskortlægninger; hvilke arealer vil være billigst i indkøb at inddrage til vandtilbageholdelse?

For hver af disse punkter, er der fundet kortlægninger der er sigende for det enkelte punkt, der kan fungere som input i VVV. Pluginet er skrevet sådan, at de kortlægninger der inputtes, hver omsættes til en skala gående fra 0 til 100. 0 vil sige at der ikke er godt potentiale for vandtilbageholdelse, fordi arealet hverken er oversvømmelses-sårbart, kulstofholdigt, eller af en billig type. 100 vil sige der er stort potentiale for vandtilbageholdelse, fordi arealet er et af de mest oversvømmelses-sårbare, med høj grad af kulstofholdighed og af en billig type. Efter de 3 input er omsat til skalaen fra 0-100, regnes det resulterende screeningskort, hvor hver celle regnes som et vægtet gennemsnit af screeningsværdierne fra de tre kort.

Der laves en række forsimplinger og antagelser for at omsætte kortlægningerne til en endelig og simpel skala. Det er i stor grad op til brugeren, hvordan kortlægningerne skal indgå i resultaterne. Selve brugerfladen kan ses i figur 8.1. Det er blandt andet brugervariabelt, hvilken kortlægning skal vægte mest i det endelige resultat. Det vil også sige, at hvis der er en af kortlægningerne de ikke ønsker at medtage, kan vægten for denne sættes til 0. De enkelte input, og hvordan de behandles beskrives nærmere i afsnit 8.2.



Figur 8.1: Brugerinterface i pluginet *VandparkeringVurderingVærdi (VVV)*. Egen figur.

Det skal dog nævnes at der i forbindelse med klimatilpasning af Holstebro Midtby, tidligere nævnt i afsnit 4.1 på side 15, allerede er lavet screeninger af, hvorvidt de oversvømmende volumener kan holdes tilbage i lavninger i oplandet. Konklusionen af denne analyse er, at der ikke findes vandløbsnære lavninger nok i oplandet til at tilbageholde de dimensionsgivende volumener [COWI A/S 2018, s. 64].

På trods af, at der altså ikke let kan findes tilstrækkelige arealer at oversvømme i Storåens opland, er analysen i VVV gennemført, med formålet at undersøge hvordan pluginet performer, og hvilke resultater det giver for casen, projektet er centreret omkring.

8.2 Input i VVV

Det er altså de tre punkter i ovenstående liste, der er udgangspunkt for de input der bruges i *VVV*. I bilag AM findes en vejledning til pluginet, udarbejdet i praktikforløbet. I bilaget beskrives måden pluginet kan bruges, samt koden bag pluginet mere dybdegående.

8.2.1 Oversvømmelseskortlægninger/Volumenkort

Pluginet blev oprindeligt skrevet sådan at oversvømmelseskortlægningen skulle være outputtet fra *Stream Flood*. Siden er det skrevet om til at kunne bruge en hvilken som helst oversvømmelseskortlægning, så længe den er på raster-format. Fortrinsvist skal rasteren indeholde varierende størrelser af enten oversvømmelses-dybder eller volumener, da skaleringen foretages efter værdierne i pixelsne. Skaleringen er foretaget sådan, at de pixels der har den største værdi, og altså er mest oversvømmede, får en værdi på 100 i den endelige uvægtede kortlægning. De celler der er mindst oversvømmede, får en værdi på 0 i den uvægtede kortlægning. Værdierne derimellem skaleres lineært i forhold til den størst fundne værdi.

Det er som vist i tabel 8.1 valgt at bruge volumenkortet for 1 m vandstandsstigning fra *Stream Flood*, som oversvømmelseskortlægningen. Kortet er fra samme kørsel af *Stream Flood*, som analyserne foretaget i kapitel 6 og 7 er baseret på. Denne er valgt for at få et overblik over hvordan værdierne i screeningen fordeler sig, over størst mulige arealer. Oversvømmelseskortlægningen er den der afgrænser udstrækningen af screeningen, hvilket vil sige tørre celler giver en nul-værdi i screeningskortet. Derfor er det at foretrække, at bruge et oversvømmelseskort med et scenarie der giver relativt store oversvømmelsesudbredelser.

8.2.2 Kulstofkortlægninger

Kulstofkortlægningen pluginet er skrevet til at benytte, er kortlaget der er stillet til rådighed af Miljøstyrelsen [2022b] i forbindelse med udtagning af lavbundsjorde til klima-lavbundsprojekter. Kortlaget opdeler hele landet i tre kategorier, baseret på andelen af tørv i jorden:

1. $<$ 6% tørv
2. 6-12% tørv
3. $>$21% tørv

I pluginet kan brugeren frit vælge, hvor stor værdi hver kategori skal have i de uvægtede kort, som det kan ses af brugerfladen i figur 8.1. Den værdi brugeren vælger, indgår direkte i den endelige uvægtede screening, og skaleres altså ikke på ny, modsat oversvømmelseskortlægningen.

8.2.3 Arealanvendelseskortlægninger

Arealanvendelseskortlægningerne er stillet til rådighed af NIRAS, og deler hele landet op i en række kategorier. De individuelle kategorier fremgår i figur 8.1. Pluginet er skrevet sådan at brugeren kan taste arealspecifikke værdier ind for hver kategori. Som nævnt i figurteksten til figur 8.1 er en række af værdierne baseret på værdier fra risikokortlægning fra NIRAS A/S [2022]. Det er kun en række af input-kategorierne der er repræsenteret i kilden. Desuden er kategorierne mere fin-inddelte i kilden. Her er der brugt den værdi, der antages repræsentativ for flest arealer. Værdien for søer og vandløb er sat til 0 kr/m^2, da disse tåler oversvømmelse.

De arealspecifikke priser omsættes til skaleringen mellem 0 og 100, ved at skalere alle priser lineært i forhold til den største værdi. Det vil reelt sige, at hvis ingen af værdierne inputtet i pluginet er 0, vil der heller ingen celler blive med 0. Det kunne være fordelagtig at få en skalering mellem største og mindste værdi implementeret i en senere version af pluginet, så forskellene i værdier angivet, fremkommer let i kortlægningen, selvom de mindste værdier er sat højt. Det samme kunne være fordelagtigt at implementere i skaleringen af oversvømmelseskortlægningen. Der er det dog generelt fundet, at effekten ikke er så udtalt i den del af kortlægningen, fordi cellerne med de laveste værdier, har meget små værdier.

8.2.4 Anvendte input

De inputs der er brugt i kørslen af pluginet, kan ses i tabel 8.1. Der har også været tale om at udvide pluginet så screeningen inkluderer dræningskortlægninger. Disse kunne indgå sådan at arealer der med stor sandsynlighed er drænede, scorer højt i screeningen. Sådan kan der opnås endnu større indsigt i det område der ønskes undersøgt, samt større synergieffekt for et vandtilbageholdelsesprojekt.

Parameter	**Input**	**Enhed**
Volumenkort	Outputtet volumenkort ved 1 m relativ vandstandsstigning fra *Stream Flood*	-
Arealanvendelseskort	Arealanvendelseskort fra NIRAS	-
Kulstofkort	Kulstofkortlægning fra Miljøstyrelsen [2022b]	-
Volumenkort vægt	0,34	-
Arealanveldelseskort vægt	0,33	-
Kulstofkort vægt	0,33	-
Værdi for <6% tørv	10	-
Værdi for 6-12% tørv	50	-
Værdi for >12% tørv	100	-
Bebyggelse/industri	1000	kr/m^2
Fredede områder	1200	kr/m^2
Landbrug (ekstensivt)	50	kr/m^2
Landbrug (frugt/juletræer)	20	kr/m^2
Landbrug (intensivt)	20	kr/m^2
Landbrug (skov)	20	kr/m^2
Landbrug potentielt	20	kr/m^2
Natur	50	kr/m^2
Natur §3 områder	100	kr/m^2
Skov	50	kr/m^2
Fredskovspligtig skov	100	kr/m^2
Søer og vandløb	0	kr/m^2
Vej/transport	150	kr/m^2
Øvrige arealer	40	kr/m^2

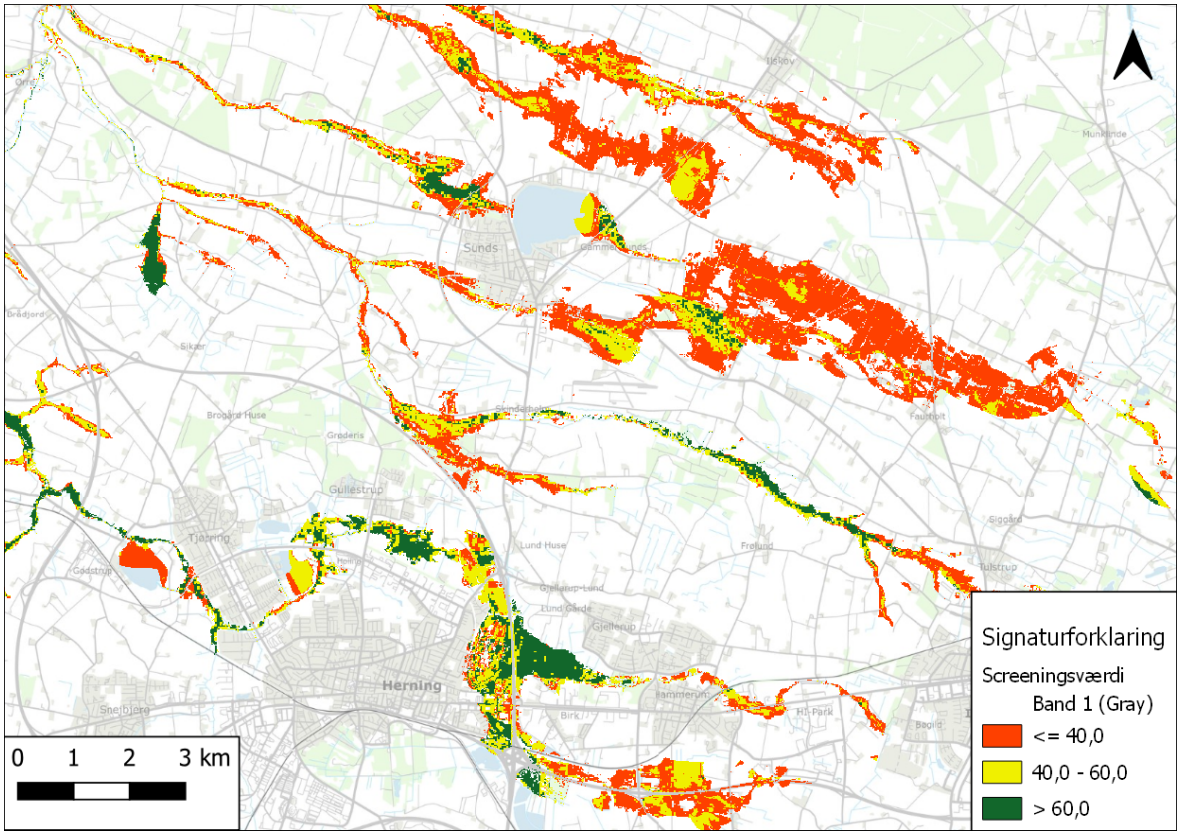
Tabel 8.1: Input brugt i *VandparkeringVurderingVærdi* til at generere outputtet i bilag AN, samt nedenstående figurere. Værdierne for arealanvendelserne er delvist baseret på risikokortlægningen fra NIRAS A/S [2022, s. 5-6]

8.3 Output fra VVV

Det samlede screeningskort for Storåens opland kan ses i bilag AN. Igen er det valgt at generere og præsentere flere kortudsnit, for at vise de tendenser screeningen viser i oplandet.

8.3.1 Tendenser ved udspringene

I screeningen udpeges relativt store arealer øst og nord for Herning. Disse kan ses i figur 8.2. Disse arealer ligger ved udspringene af de vandløb der løber til Storåen, samt Storåens eget udspring. Årsagen til at arealerne her er størst er, at det er disse der er størst i oversvømmelseskortlægningerne fra *Stream Flood*. Det er tidligere beskrevet at oversvømmelsen her vil være størst ved 1 m relativ vandstandsstigning, fordi vandløbene ved udspringene endnu er små. Enkelte steder er oversvømmelsesudstrækningerne ved udspringende, som nævnt, store pga. fejl i samplingen af vandstanden.



Figur 8.2: Screeningsresultater nord og øst for Herning fra *Vandparkering Vurdering Værdi (VVV)*. Egen figur. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.

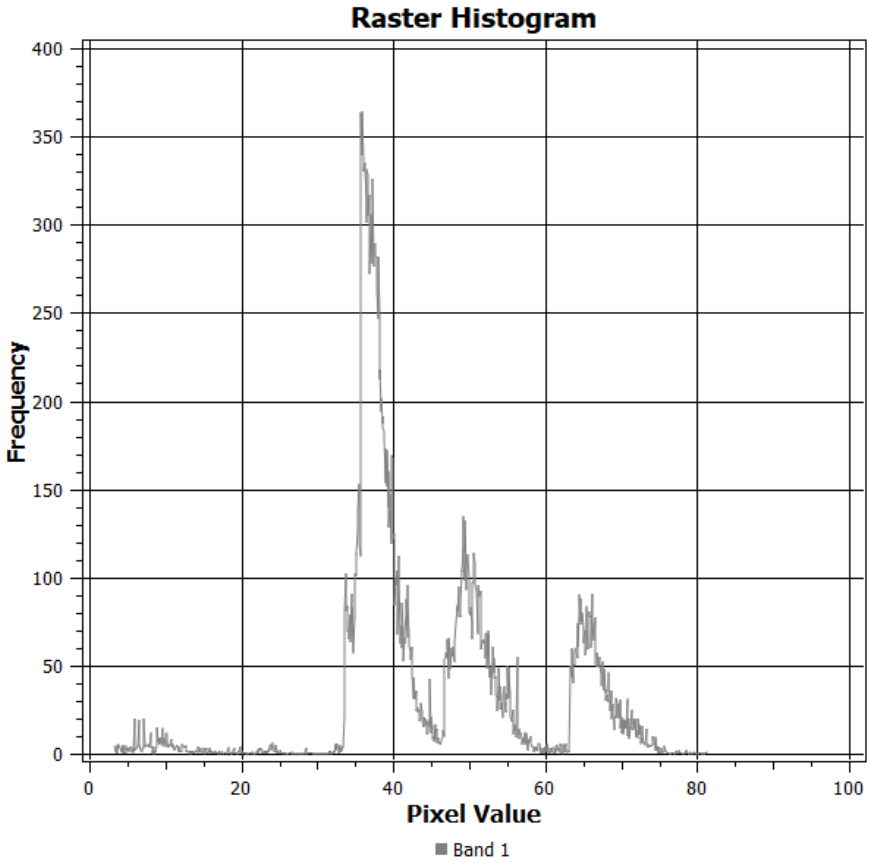
Det ses også at størstedelen af arealerne er markeret med gul eller rød, nord og øst for Herning, hvilket vil sige de scorer i den lave ende af skalaen i screeningen. Der er dog nogle grupperinger af arealer der er markeret med grøn, hvor der er bedst potentiale for vandtilbageholdelse ifølge screeningen. Undersøges inputtene nærmere, kan det ses at de røde arealer ofte har en arealanvendelse med høj screeningsværdi i form af landbrug, men fordi arealerne ikke er kulstofholdige og ikke er meget oversvømmede ift. de mest oversvømmede steder, bliver screeningsværdien generelt lavere. Derfor falder store områder i den røde kategori i figur 8.2.

Det er både en fordel og en ulempe hvis disse arealer skulle anvendes til vandtilbageholdelse. Fordelen er at arealerne er store og generelt beliggende på landet. Problematikken er, at arealerne ligger så langt oppe i oplandet. Det vil sige der ikke er mulighed for at tilbageholde vand fra hændelser længere nede i oplandet

8.3.2 Tendenser i forbindelse med kulstofkortlægningen

Grupperingerne af gule og grønne områder i i screeningen i bilag N, samt i figur 8.2 og 8.4, findes ofte af være betingede af kulstofkortlægningen. Denne tendens fremkommer af, at kulstofkortlægningen er sat til at vægte 1/3 af resultatet, samtidigt med at datasættet er diskret. Tendensen kan grafisk vises i et histogram over fordelingen af screeningsværdierne. I histogrammet i figur 8.3 fremgår det tydeligt at der er tre toppe, som fremkommer pga. kulstofkortlægningen. Alternativt kunne denne sættes til at vægte mindre i en anden undersøgelse, for at få en bedre indsigt i hvordan de to andre kortlægninger påvirker resultatet.

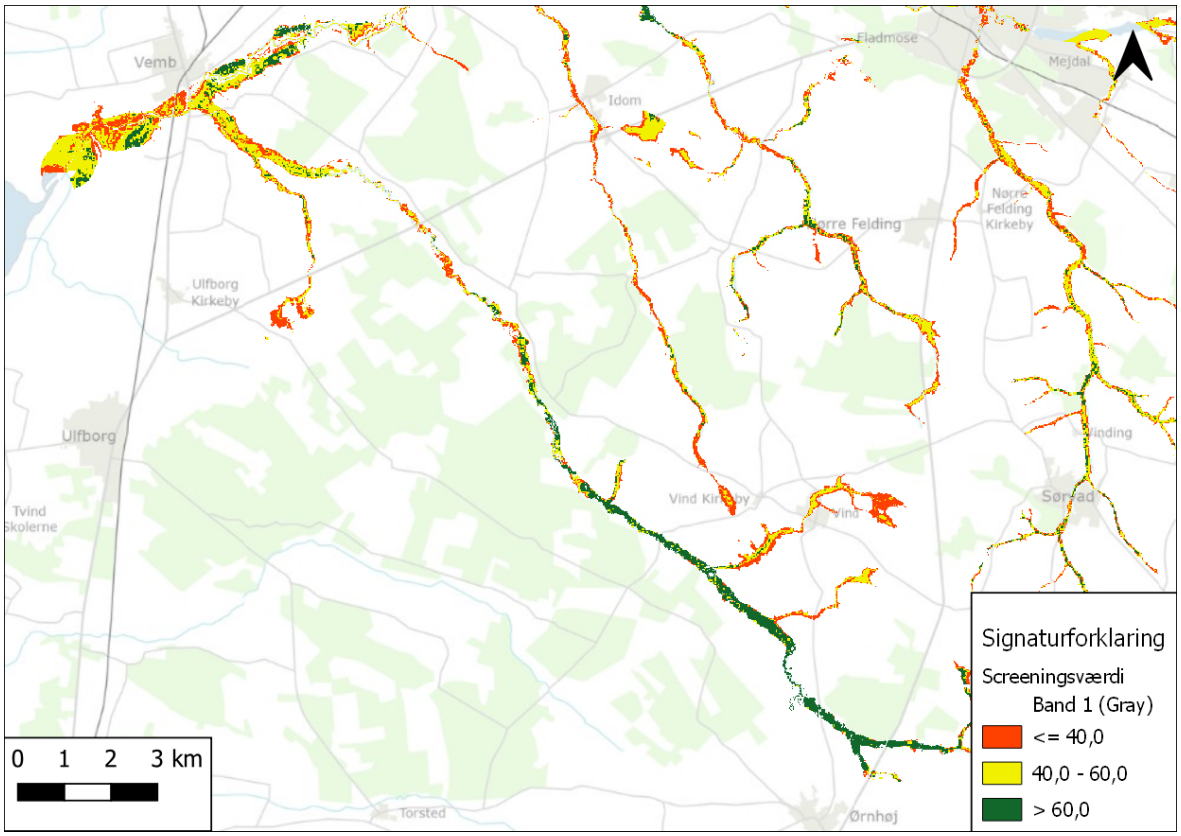
Selvom de to andre datasæt, arealanvendelseskortlægningen og oversvømmelseskortlægningen reelt også er diskrete, fremgår diskretiseringen fra disse ikke tydeligt i figur 8.3, formodentligt fordi de er fordelt over flere værdier end kulstofkortlægningen.



Figur 8.3: Histogram for rasteren med screeningsresultater fra *VandparkeringVurderingVærdi (VVV)*. Egen figur.

Desuden er det fundet at screeningsværdierne for oversvømmelseskortet generelt indeholder flest lave værdier. Dette formodes at være fremkommet, pga. en fejl i kortlægningen fra *Stream Flood*, hvor enkelte celler har en meget høj værdi ift. den generelle tendens. Når alle værdier så skaleres ift. denne kunstigt høje maks-værdi, vil denne kortlægning aldrig give noget reelt udslag i screeningen. Alternativt kunne beregningsmetodikken i pluginet for oversvømmelseskortet ændres til at bruge en hvis percentil værdi, eks. den 90. percentil, som maks, og så sætte alle værdier højere end denne til 100, og skalere alle lavere værdier ift. den. På den måde kunne det undgås at enkelte, meget høje værdier kommer til at give en skæv fordeling for hele datasættet.

Det er interessant hvordan der syd-vest for Holstebro er et stort sammenhængende område der scorer højt i screeningen, som det kan ses i figur 8.4. Igen er årsagen at der i stor grad er tale om landbrugsjord, som også er kulstofholdigt. Problematikken ved denne strækning ift. vandtilbageholdelse er, at vandløbet først løber til Storåen lige ved udløbet. Det vil sige det ikke vil afhjælpe oversvømmelsesproblematikker i Holstebro at tilbageholde vand der. Det vil kun være ved udløbet der vil ske en forskel. Ved udløbet må det dog tænkes at vandstanden i Nissum Fjord i stor grad styrer oversvømmelser fra Storåen, hvorfor det igen ikke er at areal der egentligt giver værdi i form af vandtilbageholdelse.



Figur 8.4: Screeningsresultater syd-vest for Holstebro fra *Vandparkering Vurdering Værdi (VVV)*. Egen figur. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.

8.4 Delkonklusion 5

Underspørgsmål 4 lød:
"Hvordan kan outputs fra Stream Flood bruges til at screene for arealer der kan være fordelagtige til vandtilbageholdelse?"

Hertil kan der svares at sådanne arealer kan findes ved at sammenholde oversvømmelseskort, kulstofkort og arealanvendelseskort. Det kan diskuteres hvorvidt der er andre, bedre og mere relevante input, og om de allerede eksisterende input bør databehandles på en anden måde, end de gør i det præsenterede plugin.

Når Storåens opland analyseres igennem pluginet, med de viste input, er det fundet at oversvømmelseskortet bliver meget styrende for udbredelsen af screeningen, netop fordi udbredelsen er betinget af denne. Oversvømmelseskortlægningen er dog meget lidt styrende for værdierne i kortlægningen, fordi værdierne i oversvømmelseskortet bliver lave på grund af en høj maks værdi. I stedet bliver kulstofkortlægning styrende for værdierne, pga. dataens diskrete natur.

Det er foreslået at ændre beregningsmetodikken i pluginet, så det reelt skalerer værdier for oversvømmelseskortlægninger og arealanvendelser mellem største og mindste værdi, og ikke bare i forhold til den største, for at få mest mulig nuancering fra hver kortlægning i screeningen. Det er også foreslået af benytte en hvis percentil værdi der skal give 100 for oversvømmelseskortlægningen, i stedet for maks, for igen at få større nuancering i kortlægningen.

Det største sammenhængende bedst egnede område til vandtilbageholdelse findes ifølge screeningen syd-vest for Holstebro. Dette område er dog ikke meningsfyldt af bruge til vandtilbageholdelse, fordi det først løber til Storåen lige nær udløbet. Ellers findes der størst arealer ved udspringene. Problematikken ved disse er, at de ikke scorer højt fordi de ikke er kulstofholdige, og at det er tvivlsomt hvor store dele af dem reelt er oversvømmelsestruede, pga. eventuelle fejl fra *Stream Flood*. Desuden er det også problematisk at de ligger langt oppe i oplandet, hvorfor der ikke vil holdes vand tilbage fra regnhændelser længere nede i vandløbets opland.

Ellers findes der pletvist områder fordelt i hele oplandet der scorer højt i screeningen. Det store problem er dog, at de volumener der skal tilbageholdes er meget store, hvorfor det ikke nødvendigvis er meningsfyldt at lede efter flere mindre arealer til vandtilbageholdelse i netop Storåens opland.

9 | Diskussion

Igennem rapporten er der løbende kommenteret på problematikker ved de udviklede plugins. I dette kapitel vil disse suppleres med en diskussion af yderligere undersøgelser og forbedringer der kan laves i de to plugins.

9.1 Fejl i sampling

En af de meget gennemgående pointer i forbindelse med *Stream Flood*, er de fejl der kan forekomme i samplingen af vandstanden, hvis den samples på brinken eller terræn. Selvom det er forsøgt systematisk at pege disse fejl ud i kontrolrasteren der er nævnt tidligere, er det ikke altid let at gennemskue hvor fejlen sker alligevel. Hvis der samples mange punkter forkerte steder, sker der ikke noget stort udslag i kontrolrasteren. Generelt kunne det være spændende at undersøge i større detalje, hvilket tilgængeligt lag med vandløbslinjer, der er det bedste og mest repræsentative at bruge i pluginet.

Det ville være en fordel hvis der kunne trækkes data for vandløbslinjer og vandstande ved hydrometriske stationer fra eksisterende databaser, eksempelvis vandportalen.dk af WSP [2022], til at krydsreferere og kontrollere outputtene automatisk.

Der vil dog ud over implementering af en sådan kontrol være en del arbejde i at få undersøgt hvilke grænseværdier der skal vælges for afvigelserne. Det kunne give et billede på punktniveau af, om værdierne er meget afvigende, hvilket var tilfældet ved nogle af de undersøgte stationer. Her ville det også være fordelagtigt at få inkluderet så mange stationer som muligt. Kravet for længden af tidsserierne kunne eventuelt sættes ved et års målinger, og sammenligningen kunne laves med en årsmiddelvandstand.

9.2 Hævelse af vandspejl

Det er i rapporten fundet at der ikke er statistisk mening i at hæve vandspejlet en given højde. Derfor kunne det være interessant i stedet at gøre denne funktion brugervariabel. Dermed ville den enkelte bruger, med kendskab til de vandløbsstrækninger de ønsker at undersøge, kunne vælge hvor højt vandspejlet skal hæves i deres undersøgelse. Dette ville være en relativt let funktion at implementere i *Stream Flood*.

Det er fundet at der i Storåens opland er dårlig sammenhæng med *Stream Flood*s resultater (baseret på at vandspejlet hæves) og SCALGOs flow-rate baserede beregninger. Spørgsmålet er hvorvidt problemet ligger i de forskellige beregningsmetoder eller i dårlige valg af arealspecifikke afstrømninger. Det kunne være interessant at gentage analysen hvor der også laves tilsvarende tidsserieanalyser på vandføringerne, og de så vælges ud fra gentagelsesperioden. Desuden kunne udsnittene der undersøges med fordel udvælges mere selektivt, så det sikres at det kun er den relevante strækning, inklusive målestation, der medtages.

Hvis undersøgelserne af overensstemmelserne mellem kortlægningerne skulle gentages, kunne det være interessant at sørge for at de linjer der inputtes i *Stream Flood* konsekvent følger de vandløb der medtages i SCALGO Live, hvilket ikke er tilfældet for alle strækninger i de undersøgelser der er foretaget.

Funktionen med at hæve vandspejlet, om det så er brugerdefineret eller forudbestemt til 0,5 og 1 meter, må altså understreges at være en del af det der gør pluginet til et screeningsværktøj, og ikke et værktøj der kan bruges til detaljerede og komplekse analyser.

En anden funktion der i denne forbindelse kunne være interessant at indføre når vandspejlet hæves, ville være en form for differentiering mellem store og mindre vandløb. Problematikken opstår dog igen, når der skal fastsættes hvor stor forskel der skal være på hvor meget vandspejlene hæves, i de givne større og mindre vandløb. En eventuel inddeling af størrelser kunne foregå efter størrelsestypologierne jf. karakteriseringen i basisanalysen for vandområdeplanerne i forbindelse med vandrammedirektivet.

9.3 Hydraulisk kontakt

En stor præmisse for at analyserne foretaget med *Stream Flood* giver mening, er at antagelsen om hydraulisk kontakt mellem vandløb og vandløbsnært overfladenært grundvandsspejl. Dette er en meget stor forsimpling af virkeligheden, hvor den komplekse geologi og vandløbskarakteristik vil betyde at forsimplingen nogle steder er meget mere meningsgivende end andre.

Lokationer hvor der geologisk set oftest er tale om meget lerede jorde, vil antagelsen give mindre mening. Det samme er tilfældet for vinterafstrømninger hvor jorden er frossen og nedbør derfor vil strømme af på overfladen. Der giver en modelleringsmetodik som SCALGO mere mening, hvor infiltration eller mangel på samme kan medtages, og hvor vandet i beregningerne faktisk strømmer på tværsnit i overflademodellen.

Om ikke andet giver betragtningen i *Stream Flood*, med det ekstrapolerede vandsspejl, et overblik over de lavtliggende områder nær vandløb, relativt til vandløbet, såfremt at vandspejlet samples korrekt. Dette findes der også andre gode intuitive værktøjer til, som SCALGO, hvor lavninger i terræn nemt kan findes via slidere.

9.4 Dynamiske kontra stationære betragtninger

En anden tilføjelse i *Stream Flood* der kunne være interessant, var hvis der ved hjælp af data fra vandløbene med vandstande kunne udvikles en metodik til at give en form for dynamisk betragtning, frem for den meget stationære betragning, metodikken indebærer på nuværende tidspunkt. Hvis de vandstande der samples og genereres i *Stream Flood* kunne relateres til de vandstande der forekommer, og derefter skridtvist hæves og sænkes relativt til en årsvaration, kunne det give interessante indblik i hvilke områder er mere udsatte.

Denne metodik må dog tænkes at blive meget beregningstung i forhold til den nuværende. Foruden adgang til databaser og analyse af vandstandsdata, vil det også indebære mange omgange af interpolationer, hvilket effektivt ville svare til at den nuværende version af pluginet skulle køres mange gange. Selvom pluginet på nuværende tidspunkt virker relativt hurtigt, såfremt opløsningen ikke er meget fin, ville det få betydelige konsekvenser for beregningstiden.

Desuden ville implementering af dette også kræve en del tid alene til at udvikle metoden, da der undervejs ville skulle tages mange valg omkring, hvordan de historiske data kunne komme til udtryk i beregningerne i pluginet.

9.5 Screening for arealer til vandtilbageholdelse

I forbindelse med undersøgelsen af *VandparkeringVurderingVærdi* er der allerede givet et par eksempler på beregningsmetodikker der med fordel kan opdateres, og at der med fordel også kan inddrages dræningskort i screeningen. Yderligere forbedring kunne være hvis pluginet automatisk kunne gruppere arealer, samt beregne nævnte størrelser af de givne arealer og volumenerne, baseret på oversvømmelseskortlægningen. At opdatere beregningmetodikker, samt at tilføje et input mere, er ændringer der er realistiske at kunne indføre i pluginet. Det vil være tidskrævende fordi der er tale om mange mindre ændringer, men det er ikke urealistisk, da ændringerne ikke er komplicerede.

Et andet input der kunne medtages er en form for naturkarakterisering der er mere dybdegående end de i det inputtede arealanvendelseslag. Blandt andet kunne de §3-beskyttede naturtyper anvendes, hvor der kunne differentieres mellem hvilke typer der er mere eller mindre sårbare overfor oversvømmelser. Generelt kunne det være interessant med mere differentiering i forhold til arealanvendelse der ikke er natur. Her ville der også kunne inkluderes kortlag som f.eks. fredninger, så disse kunne trække ned i screeningsværdien. En anden interessant betragtning kunne være afstand til udløb og lokationer med kendte kapacitetsproblemer. På den måde kunne det måske undgås at lokationer som de grønne udpeget i figur 8.4 på side 76, egentligt blev udtaget som fordelagtige arealer til vandtilbageholdelse.

En sidste ændring der kunne være relevant er en anden måde at afgrænse hvilke arealer der medtages i resultaterne af screeningen. Som nævnt er det oversvømmelseskortlægningen der nu afgrænser resultaterne. Muligvis kunne det være mere interessant hvis det på mere simpel vis bare var en buffer der afgrænsede resultaterne i en given afstand. Dette blev der forsøgt med under udviklingen af pluginet, men dengang blev der vurderet at resultaterne fra *Stream Flood* blev for diffuse i resultatet, og derfor blev disse afgrænsende.

10 | Konklusion

Problemstillingen opstillet i kapitel 3, der ønskes besvaret lød:
"Hvordan er beregningsresultaterne fra QGIS-pluginet Stream Flood, herunder interpolerede vandstande og oversvømmelsesudbredelser, repræsentative for Storåen og Storåens opland, og hvordan kan de bruges til at screene for arealer til vandtilbageholdelse?"

Gennem rapporten er problemstillingen belyst igennem delspørgsmål og delkonklusioner i de enkelte kapitler. Opsummerende kan følgende konkluderes. I kapitel 4 blev det fundet at resultaterne fra *Stream Flood* i stor grad er afhængige af de input der gives. Hvis vandløbslinjen der inputtes ligger hvor vandløbene er rørlagt, eller på brinkerne af vandløb, vil sårbare arealer overestimeres. Det blev desuden fundet, at arealerne underestimeres i Holstebro hvor der historisk set har været kapacitetsproblemer.

I kapitel 5 blev det fundet at de vandstande der genereres af *Stream Flood* i de fleste tilfælde rammer indenfor de vandstande der årligt forekommer ved de undersøgte hydrometriske stationer i Storåen og dens tilløb. Det blev også fundet at når vandstanden hæves med 0,5 og 1 m, hvilket også er resultater der outputtes af *Stream Flood*, er der ikke længere tale om en vandstand der statistisk har samme gentagelsesperiode. Derfor må den del af resultaterne konkluderes at være behæftede med større usikkerhedder, end den originale outputtede vandstand.

I kapitel 6 blev det fundet at resultaterne fra *Stream Flood* stemmer rimeligt godt overens med resultater fra SCALGO Live i Storåens opland, når disse er baseret på en vandstandsstigning relativt til højdemodellen. I kapitel 7 blev det fundet, at resultaterne fra *Stream Flood* ikke stemmer godt overens med resultater fra SCALGO Live, når disse baseres på afstrømning. Dette er både gældende i forhold til udbredelserne af oversvømmelseskortlægningerne og dybden af vandsøjlen i hver oversvømmet beregningscelle.

I kapitel 8 blev det fundet at resultaterne fra *Stream Flood* kan bruges som et af flere input i det andet udviklede plugin, *VandparkeringVurderingVærdi (VVV)*, til at screene for arealer til vandtilbageholdelse. Desuden bruges kulstofkortlægning og arealanvendelseskortlægning i screeningen. Det blev fundet at oversvømmelseskortlægningen der bruges fra *Stream Flood*, fortrinsvist kan bruge en ny beregningsmetode i screeningen, så fordelingen af disse repræsenteres mere i den endelige screening.

I kapitel 9 blev en række forbedringer og overvejelser diskuteret i forbindelse med de to plugins. Det blev fundet at der flere steder er potentiale for forbedringer og større indsigt. En vigtigt afsluttende pointe i det samlede projekt er, at begge plugins skal bruges og opfattes som simple screeningsværktøjer, hvor der er behov for, at brugeren forholder sig kritisk til resultaterne. Resultaterne kan bruges som fingerpeg imod områder, der er interessante at bruge midler og tid på at undersøge nærmere, men ikke som nogen fuldstændig og færdig facitliste med problemudpegninger og problemløsninger.

Bibliografi

COWI A/S (2018). *Klimatilpasning af Holstebro Midtby - VVM redegørelse*. PDF 3. COWI A/S.

Danmarks Miljøportal (2022). *Danmarks Arealinformation*. Sidst besøgt: 09-11-2022. https://arealinformation.miljoeportal.dk/html5/index.html?viewer=distribution.

Dataforsyningen (u.d.). *Danmarks Højdemodel - Oprindelse*. Sidst besøgt: 30-11-2022. https://dataforsyningen.dk/data/3571.

Davidsen, Sidsel Maimann (2019). *Vandløbsmodellering*. PDF. Orbicon.

DHI A/S (2022). *MIKE 1D - DHI Simulation Engine for 1D river and urban modelling - Reference Manual*. PDF. DHI A/S.

— (2021). *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM - Hydrodynamic Module - Short Description*. PDF. DHI A/S.

Henriksen, Hans Jørgen, Martin Olsen og Lars Troldborg (2013). *Klimaeffekter på hydrologi og grundvand (Klimaekstremvandføring)*. PDF. Naturstyrelsen.

Henriksen, Lisbeth Dalsgaard m.fl. (2019). *Hydromorfologiske kvalitetselementer og understøttelse af god økologisk tilstand i vandløb*. PDF. Aarhus Universitet - DCE Nationalt Center for Miljø og Energi.

Indenrigs- og Boligministeriet (2020). *Bekendtgørelse af lov om planlægning*. Sidst besøgt: 09-11-2022. https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2020/1157.

Kommunernes Landsforening (2022). *Oversigt over kommunernes klimaindsatser*. Sidst besøgt: 04-11-2022. https://www.kl.dk/kommunale-opgaver/klima/dk2020/oversigt-over-kommunernes-klimaindsatser/.

Kystdirektoratet (2018). *Metode til national risikovurdering af oversvømmelse fra hav og vandløb samt ajourføring af risikoområder. Oversvømmelsesdirektivet. Anden planperiode*. PDF ISBN: 978-87-93593-84-8. Kystdirektoratet.

Larsen, Torben (2017). *Kompendium i Vandløbshydraulik*. PDF. Aalborg Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg.

Miljøministeriet (2017a). *Bekendtgørelse af lov om vandplanlægning*. Sidst besøgt: 09-11-2022. https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2017/126.

— (2017b). *Bekendtgørelse af lov om vurdering og styring af oversvømmelsesrisikoen fra vandløb og søer*. Sidst besøgt: 09-11-2022. https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2017/1085.

— (2016). *Bekendtgørelse om fastsættelse af miljømål for vandløb, søer, kystvande, overgangsvande og grundvand*. Sidst besøgt: 09-11-2022. https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2016/833.

Miljøministeriet (2022). *EU's vandrammedirektiv*. Sidst besøgt: 09-11-2022. https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2022/1392.

Miljøministeriet / Miljøstyrelsen (2022a). *DK2020*. Sidst besøgt: 04-11-2022. https://www.klimatilpasning.dk/inspiration/partnerskaber-og-netvaerk/dk2020/.

— (2022b). *MiljøGIS - data om natur og miljø på webkort*. Sidst besøgt: 09-11-2022. https://mst.dk/service/miljoegis/.

Miljøstyrelsen (2022a). *EU's vandrammedirektiv*. Sidst besøgt: 04-11-2022. https://mst.dk/natur-vand/natur/international-naturbeskyttelse/eu-direktiver/eus-vandrammedirektiv/.

— (2022b). *Udtagning af lavbundsjorde*. Sidst besøgt: 30-12-2022. https://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/tilskud-til-vand-og-klimaprojekter/udtagning-af-lavbundsjorder/.

Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (2020). *Bekendtgørelse om jordbundstypeklassifikation*. Sidst besøgt: 16-11-2022. https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2020/1165.

NIRAS A/S (2022). *Risikokortlægning for Herning Kommune - Dokumentation for udarbejdelse af risikokort*. PDF 1. NIRAS A/S.

SCALGO / COWI (2017). *Evaluering af Metoder til Screening af Vandløbsoversvømmelser*. PDF 1.1. SCALGO / COWI.

SCALGO ApS (u.d.[a]). *SCALGO Live*. Sidst besøgt: 16-11-2022. https://scalgo.com/live/.

— (u.d.[b]). *SCALGO Live Documentation*. Sidst besøgt: 14-11-2022. https://scalgo.com/en-US/scalgo-live-documentation/.

Sonnenborg, Torben O., Britt S. B. Christensen og Lieke van Roosmalen (okt. 2007). „Klimaændringer - påvirkning af grundvand og vandløb". I: *Geologisk Nyt* 17.5, s. 4–7.

Studienævn for Byggeri, By og Miljø (2021). *Bachelorprojekt - 2022/2023*. Sidst besøgt: 02-11-2022. https://moduler.aau.dk/course/2022-2023/B-VM-D7-10?lang=en-GB.

WSP (2022). *Vandportalen - Interaktive kort*. Sidst besøgt: 24-11-2022. https://vandportalen.dk/plotsmaps?days=30.

Bilag A | Liste over elektroniske bilag

Der er ved aflevering af rapporten vedhæftet en zip-fil med elektroniske bilag. Nedenfor er en oversigt over de bilag der indgår i zip-filen *elektroniskebilag_ afgangsprojekt_ IKV.zip*, samt en beskrivelse af hvad de indeholder:

- Bilag AA - *BilagAA_ Streamflood.zip.*
  Zip-fil indeholdende pluginet der skal bruges til installation.
- Bilag AB - *BilagAB_ SF_ Brugervejledning.pdf.*
  PDF indeholdende brugerguide til pluginet Stream Flood, samt beskrivelse af installation og beregningsmetode.
- Bilag AC - *BilagAC_ Saarbarhed.pdf.*
  Kortbilag med afstanden mellem terræn og grundvandsspejl for Storåen produceret gennem pluginet. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.
- Bilag AD - *BilagAD_ Oversvoemmelse.pdf.*
  Kortbilag med oversvømmelsesudbredelse produceret gennem pluginet. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.
- Bilag AE - *BilagAE_ Ekstremværdianalyse.xlsx.*
  Excelfil med vandstandsdata og ekstremværdianalyse på dataen fra de 6 udvalgte hydrometriske stationer.
- Bilag AF - *BilagAF_ SE_ 05m_ vandstandsstigning.pdf.*
  Kortbilag med den kvadrerede fejl mellem SCALGOs og Stream Floods oversvømmelseskortlægning når vandstanden hæves 0,5 m relativt til den hentet fra højdemodellen. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.
- Bilag AG - *BilagAG_ SE_ 1m_ vandstandsstigning.pdf.*
  Kortbilag med den kvadrerede fejl mellem SCALGOs og Stream Floods oversvømmelseskortlægning når vandstanden hæves 0,5 m relativt til den hentet fra højdemodellen. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.
- Bilag AH - *BilagAH_ Areal_ 05m_ vandstandsstigning.pdf.*
  Kortbilag med de oversvømmede arealer genereret af SCALGO og Stream Flood, når vandstanden er hævet 0,5 m relativt til den hentet fra højdemodellen. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.
- Bilag AI - *BilagAI_ Areal_ 1m_ vandstandsstigning.pdf.*
  Kortbilag med de oversvømmede arealer genereret af SCALGO og Stream Flood, når vandstanden er hævet 1 m relativt til den hentet fra højdemodellen. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.
- Bilag AJ - *BilagAH_ QH-analyse.xlxs.*
  Excelfil med QH-data og kurver opstillet for 5 af de 6 udvalgte hydrometriske stationer.

- Bilag AK - *BilagAK_ Residualer_ flow-rate.pdf.*
  Kortbilag for alle residualkortlægninger fra *Stream Flood* og SCALGO, baseret på flow-rate. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.
- Bilag AL - *BilagAL_ Arealsammenligninger_ flow-rate.pdf.*
  Kortbilag for alle oversvømmelseskortlægninger fra *Stream Flood* og SCALGO, baseret på flow-rate. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.
- Bilag AM - *BilagAM_ VVV_ brugervejledning_ V1.pdf*
  PDF indeholdende brugerguide samt beskrivelse og beregningsmetode for pluginet VandeparkeringVurderingVærdi.
- Bilag AN - *BilagAN_ Storaa_ VVV_ kortlaegning.pdf*
  Kortbilag for screening af områder til vandparkering i oplandet til Storåen. Indeholder data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur, skærmkortet, WMS-tjeneste.

Bilag B | Oversigt over H-stationer

Nedenfor ses en oversigt over alle tilgængelige stationer med vandstandsdata fra odaforalle.dk. Det vises også hvilke er valgt til at være med i tidsserieanalyserne, og hvilke der er valgt fra, samt årsag.

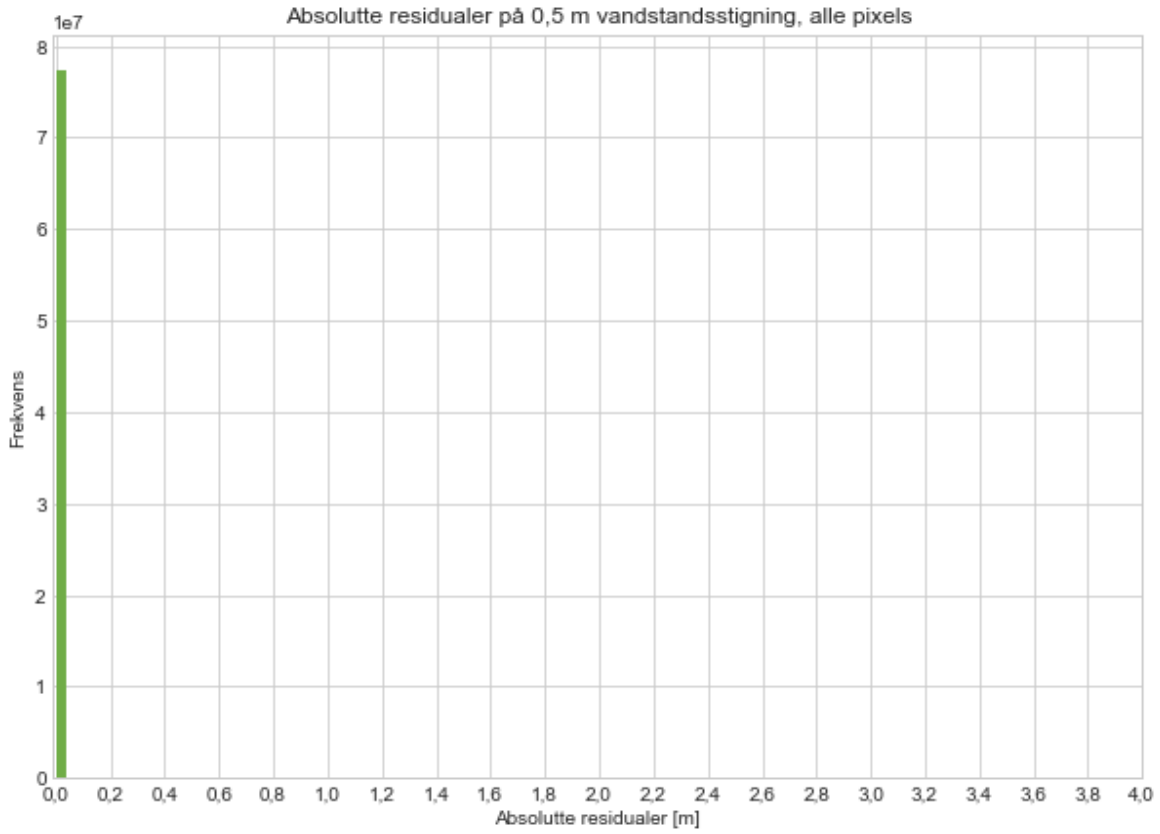
Station	Medtaget?	Årsag
[nr.]	[ja/nej]	[-]
22000042	nej	Under 5 år
22000043	ja	Medtaget
22000046	nej	Under 5 år
22000047	nej	Usammenhængende data
22000048	ja	Medtaget
22000050	ja	Medtaget
22000053	ja	Medtaget
22000054	nej	Under 5 år
22000057	nej	Under 5 år
22000058	nej	Under 5 år
22000059	nej	Stort spring i datasættet
22000062	ja	Medtaget
22000068	ja	Medtaget
22000158	nej	Under 5 år
22000194	nej	Under 5 år
22000225	nej	Under 5 år
22000234	nej	Usammenhængende data
22000247	nej	Under 5 år
22000249	nej	Under 5 år
22000336	nej	Under 5 år
22000419	nej	Under 5 år
22000508	nej	Under 5 år
22000640	nej	Udenfor oplandet
22001540	nej	Under 5 år
22001541	nej	Under 5 år
22001542	nej	Under 5 år

Tabel B.1: Oversigt over H-stationer i Storåens opland, og hvilke der er udvalgt til tidsserieanalysen.

Bilag C | Histogrammer til afsnit 6.1

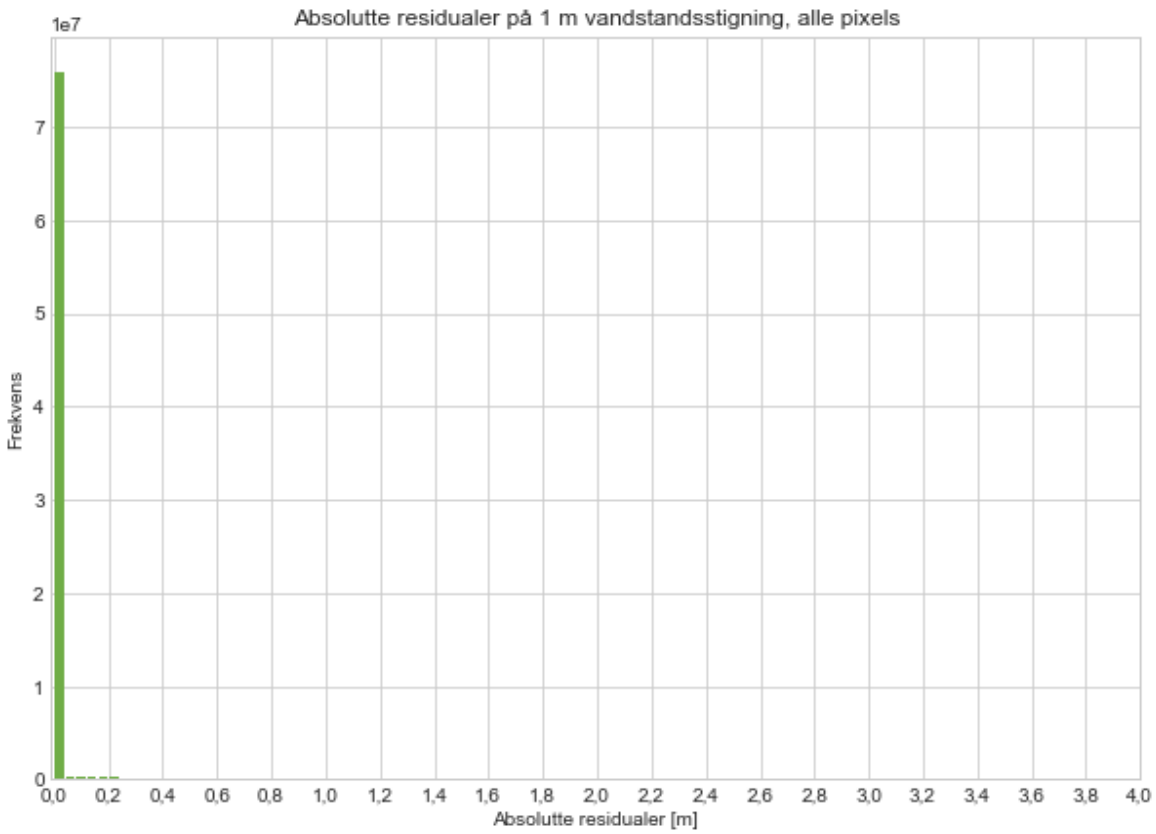
Nedenfor ses de histogrammer der nævnes, men ikke er medtaget i afsnit 6.1.

C.1 0,5 m vandstandsstigning



Figur C.1: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 0,5 m i SCALGO og *Stream Flood*. Intervalbredde = 4 cm. Alle værdier over 4 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.

C.2 1 m vandstandsstigning

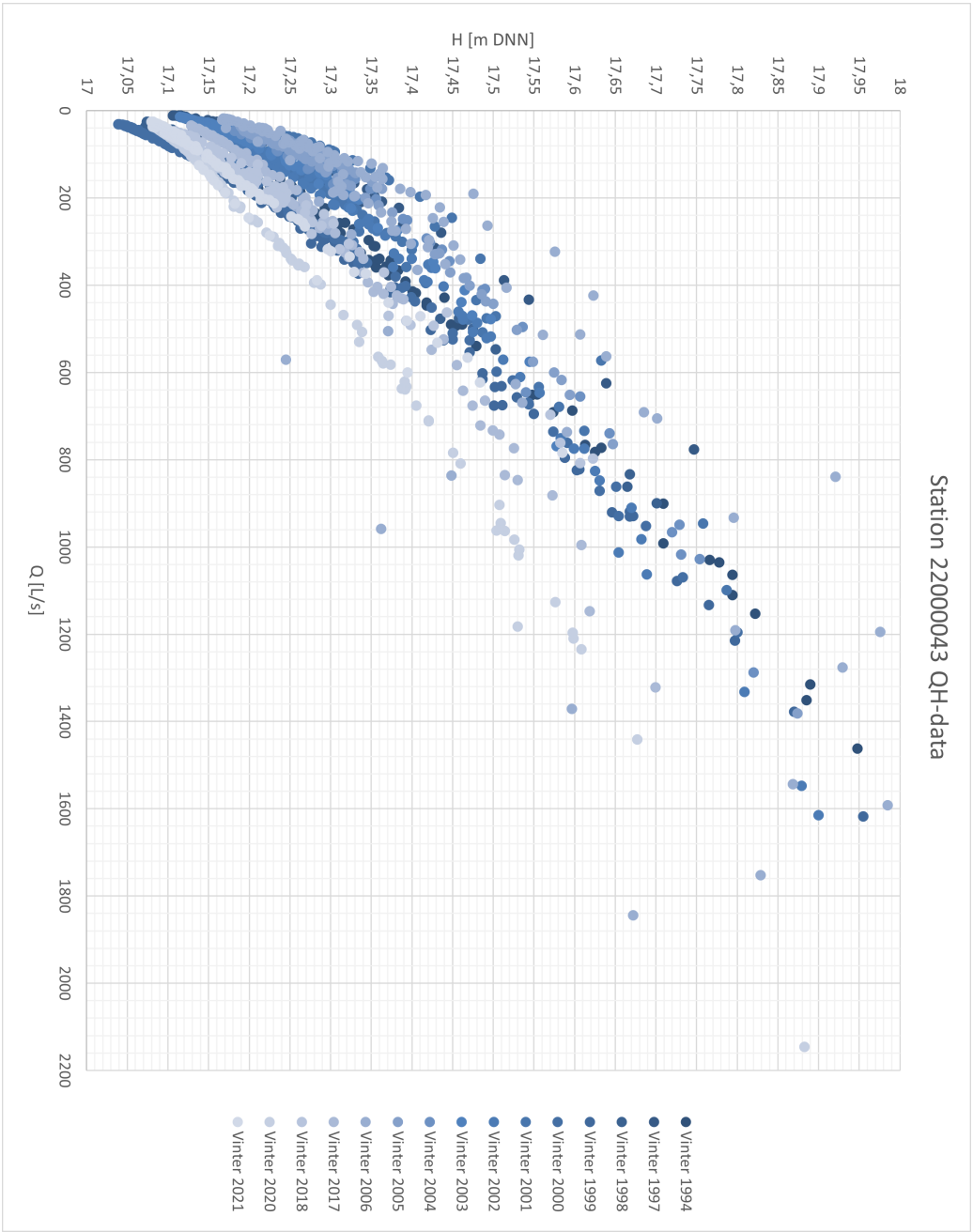


Figur C.2: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 1 m i SCALGO og *Stream Flood*. Intervalbredde = 4 cm. Alle værdier over 4 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.

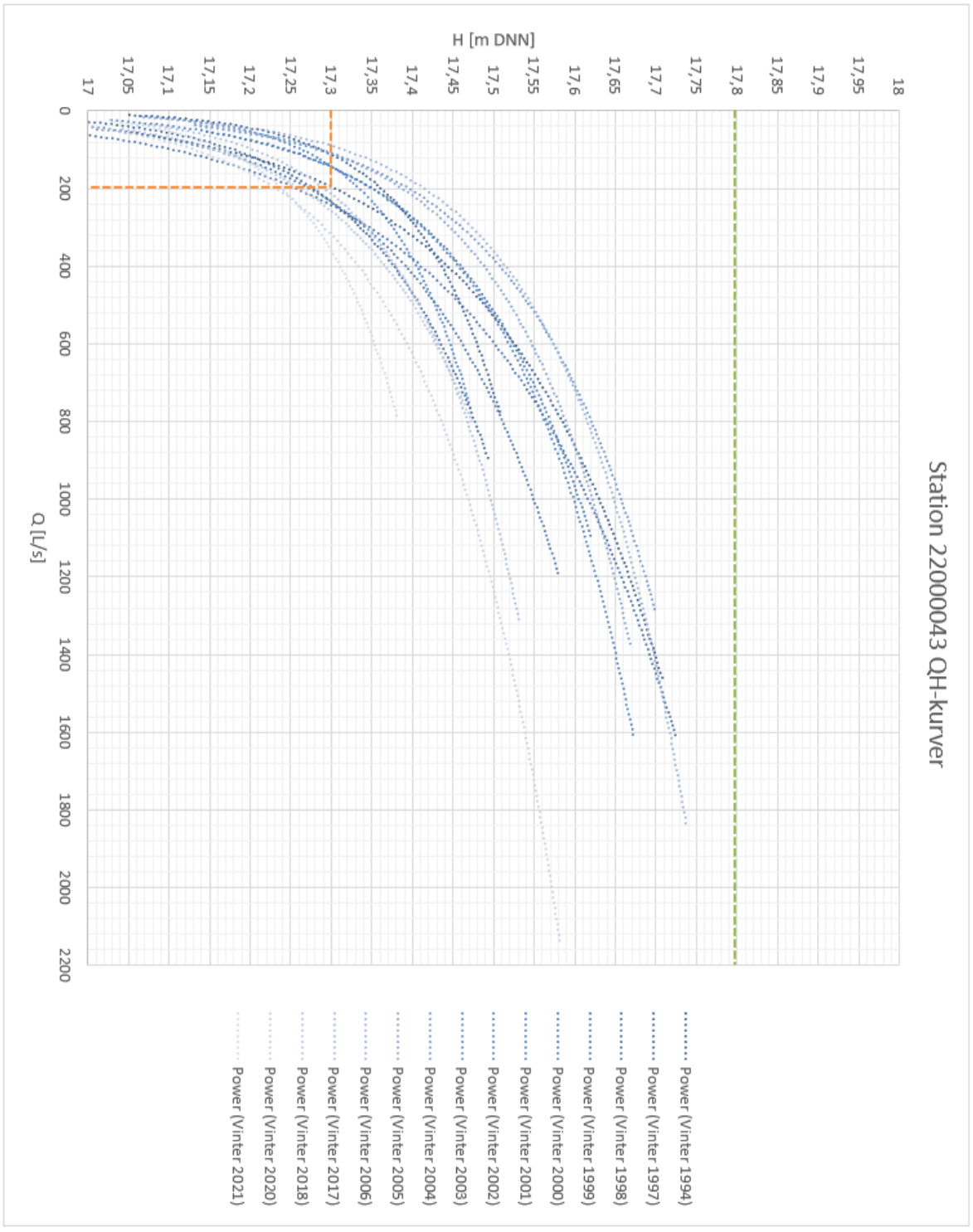
Bilag D | QH-data og -kurver

Nedenfor ses grafer over alle QH-data i vinterperioder for de udvalgte hydrometriske stationer. For hver station er data plottet, samt QH-kurven fittet på dataen ved hjælp af Excels regressions-funktion.

D.1 Station 22000043

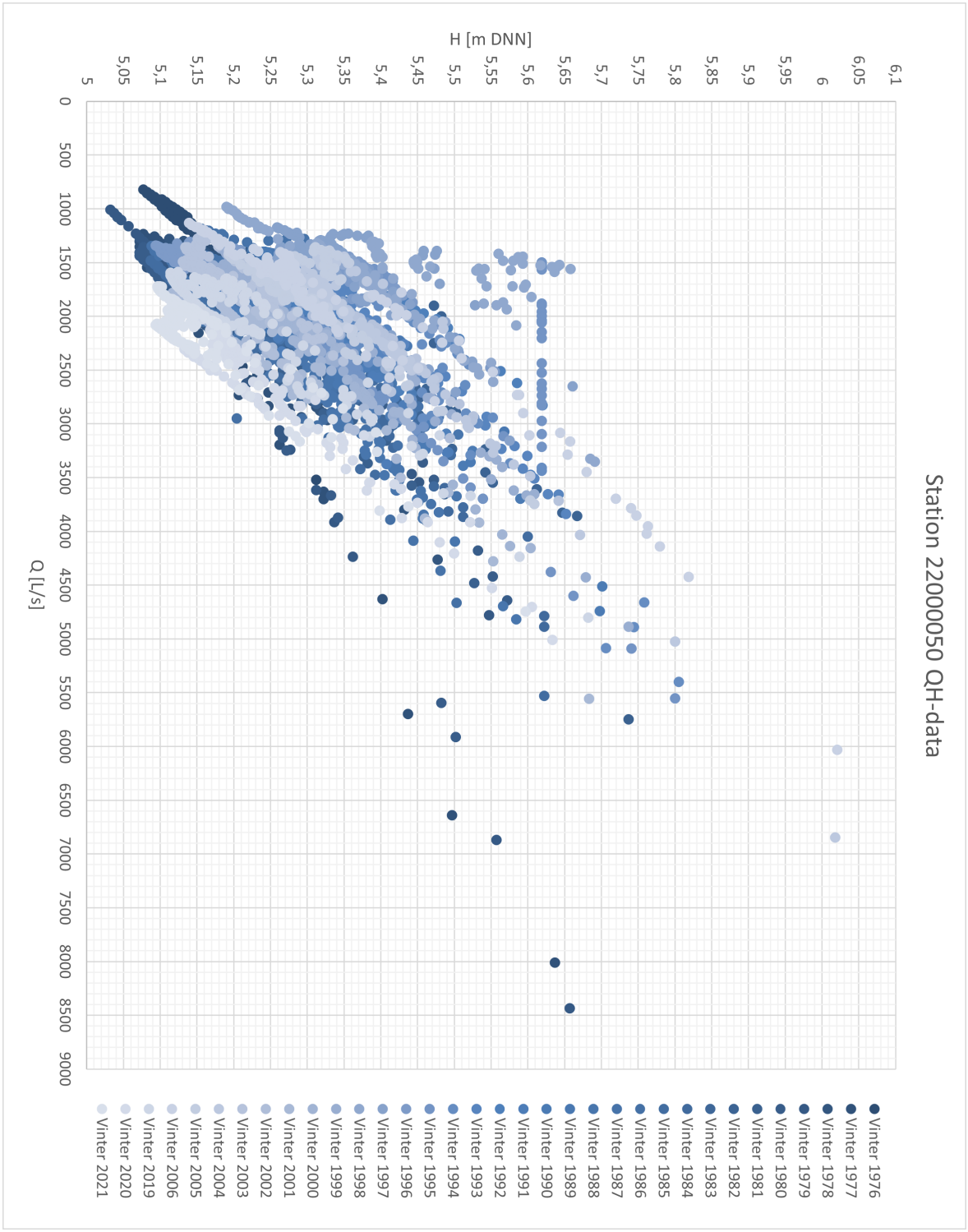


Figur D.1: QH-data for vinterperioden ved station 22000043. Egen figur.

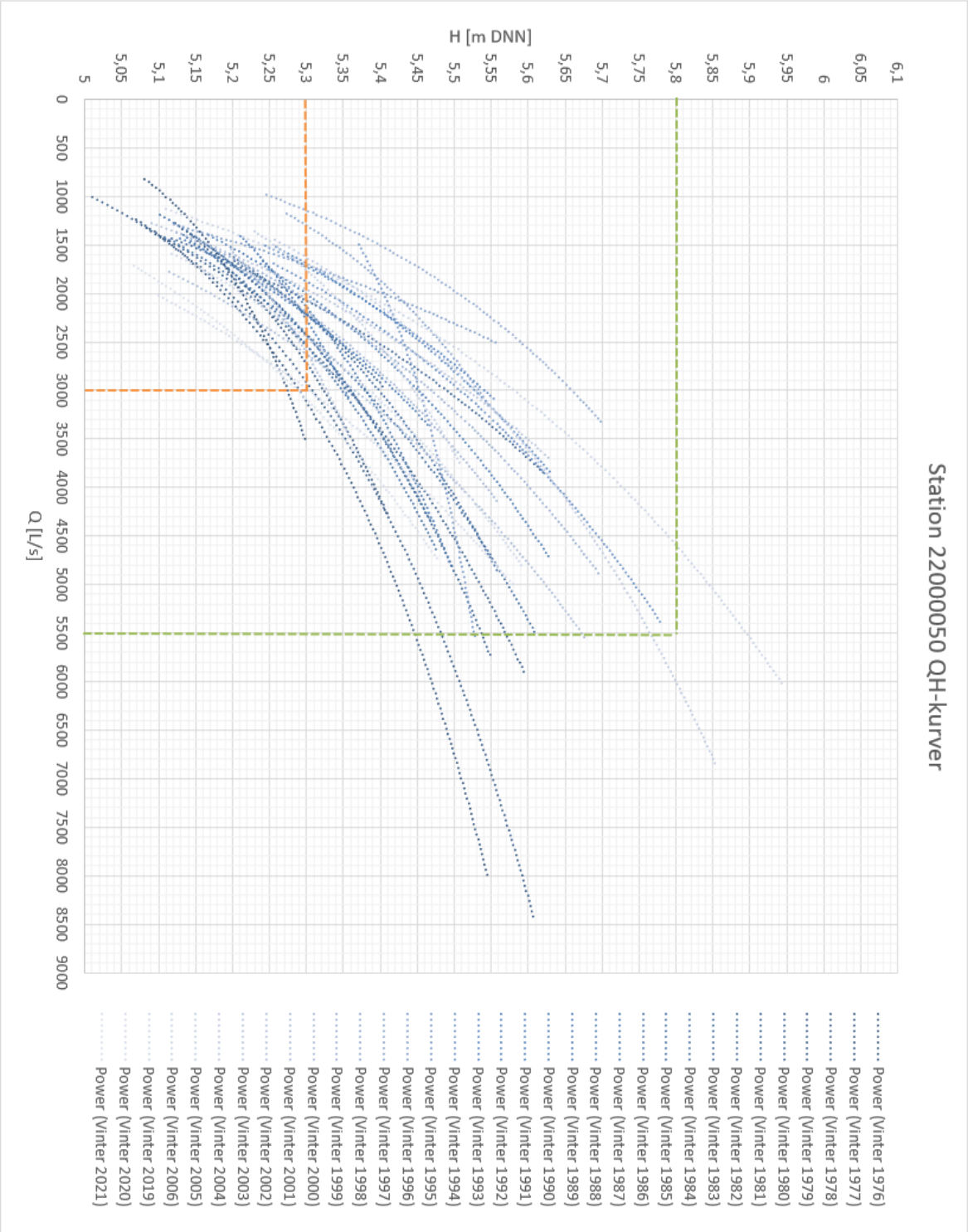


Figur D.2: QH-kurver fittet til data for vinterperioden ved station 22000043. De orange linjer markerer Q valgt ved den originale vandstand fra *Stream Flood*. Den grønne linje marker at vandstanden hævet med 0,5 m ikke er repræsenteret af kurverne ved denne station. Vandstanden hævet med 1 meter er for høj til at være afbildet i figuren. Egen figur.

D.2 Station 22000050

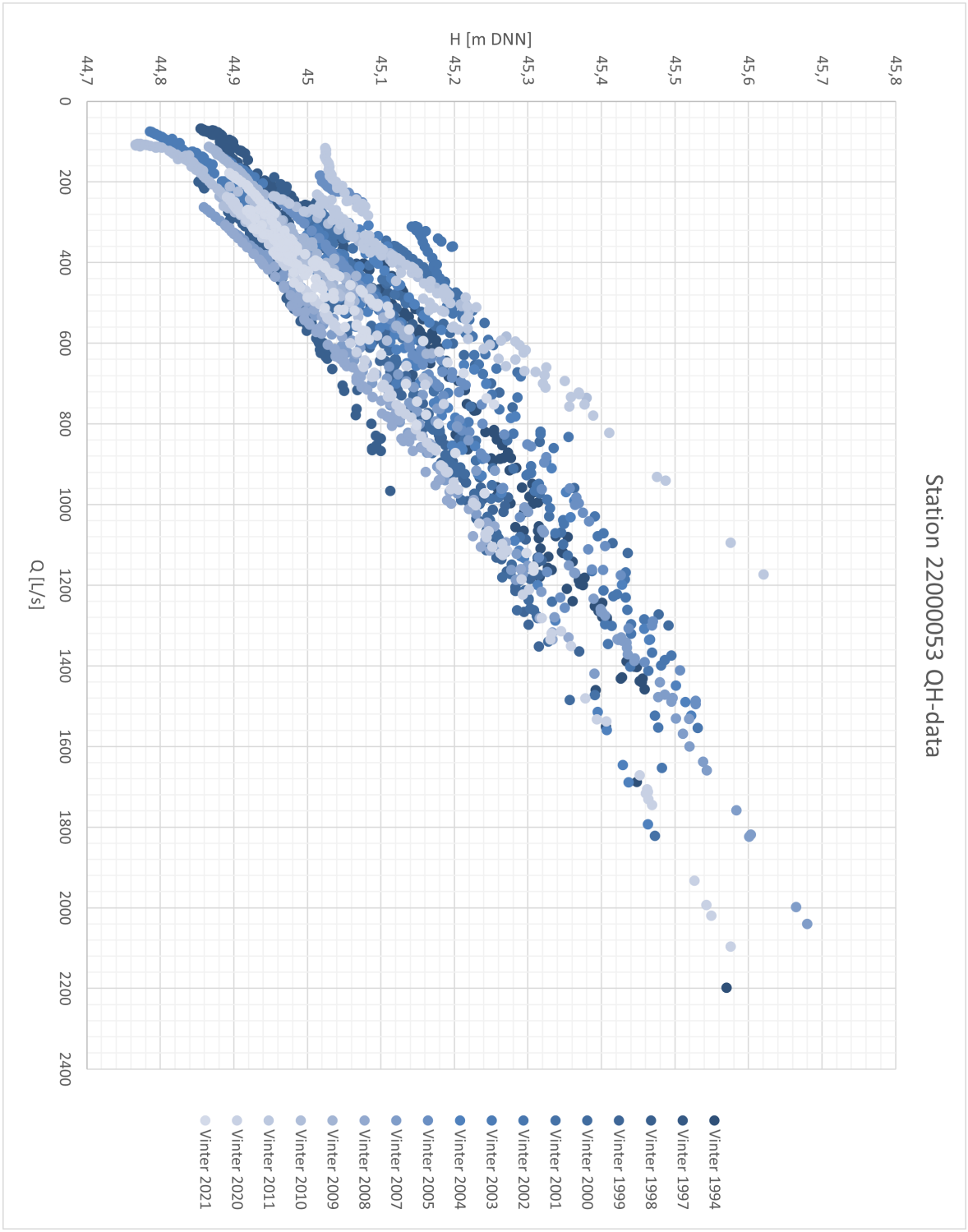


Figur D.3: QH-data for vinterperioden ved station 22000050. Egen figur.

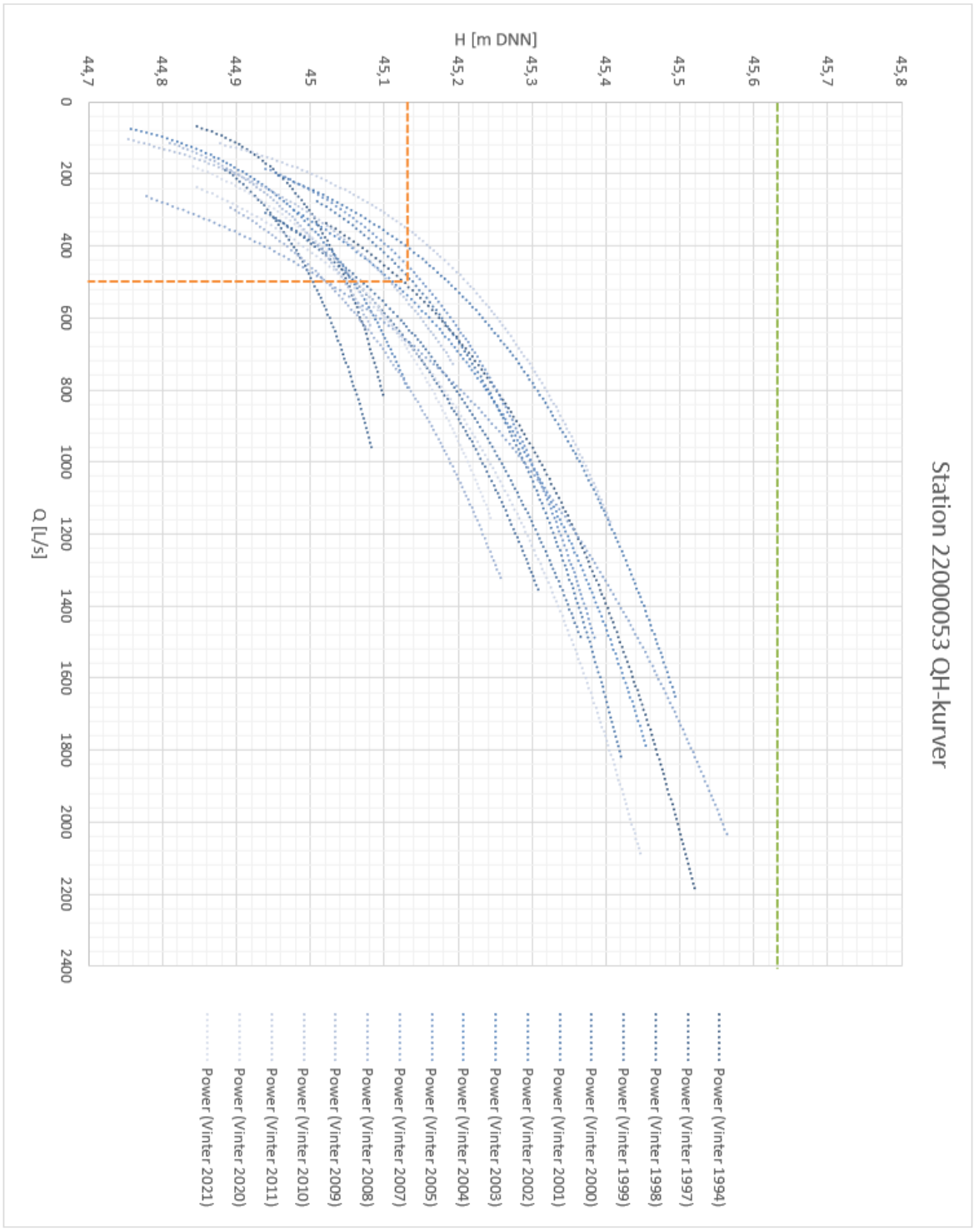


Figur D.4: QH-kurver fittet til data for vinterperioden ved station 22000050. De orange linjer markerer Q valgt ved den originale vandstand fra *Stream Flood*. Den grønne linje markerer Q valgt ved den originale vandstand hævet med 0,5 m. Vandstanden hævet med 1 meter er for høj til at være afbildet i figuren. Egen figur.

D.3 Station 22000053

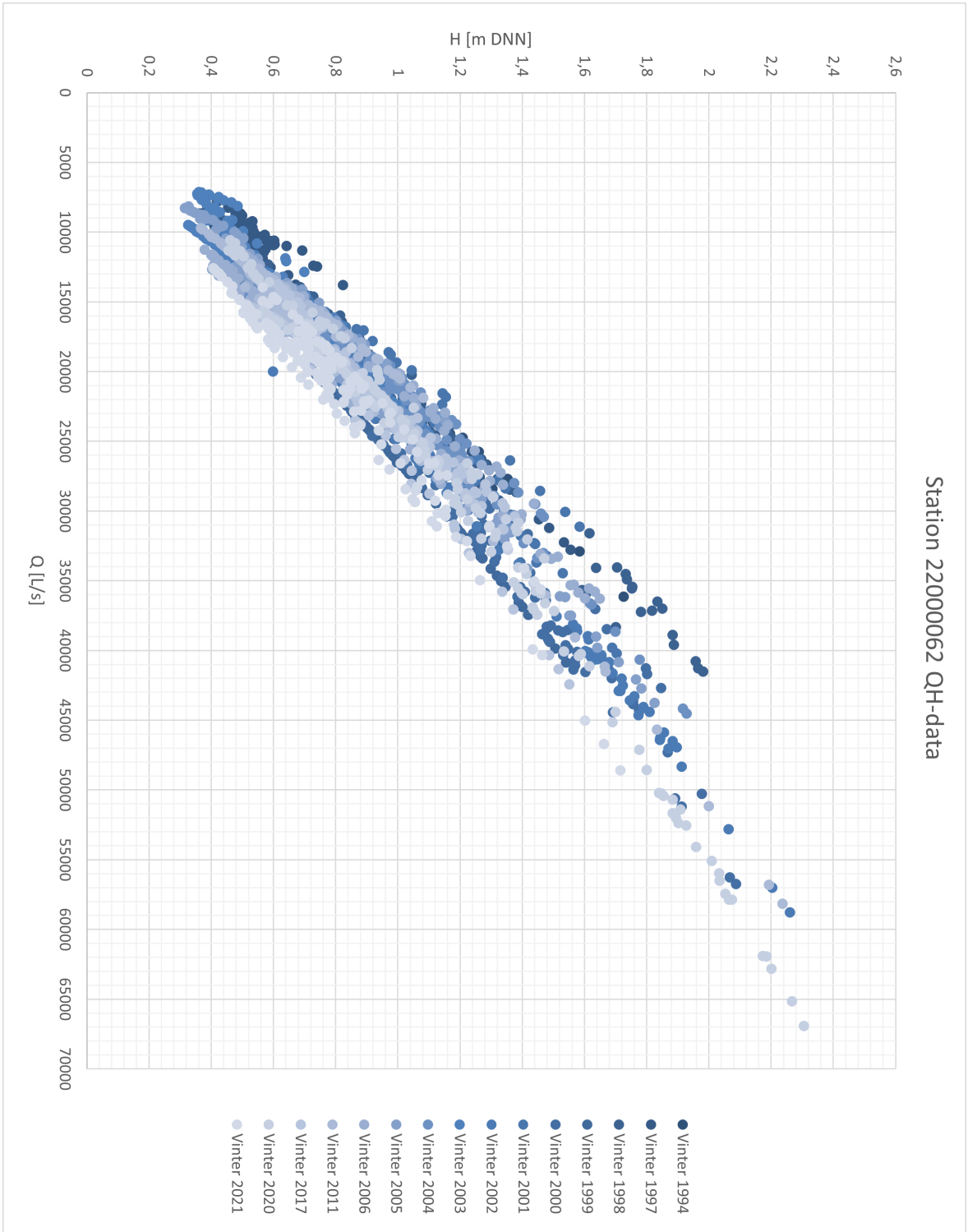


Figur D.5: QH-data for vinterperioden ved station 22000053. Egen figur.

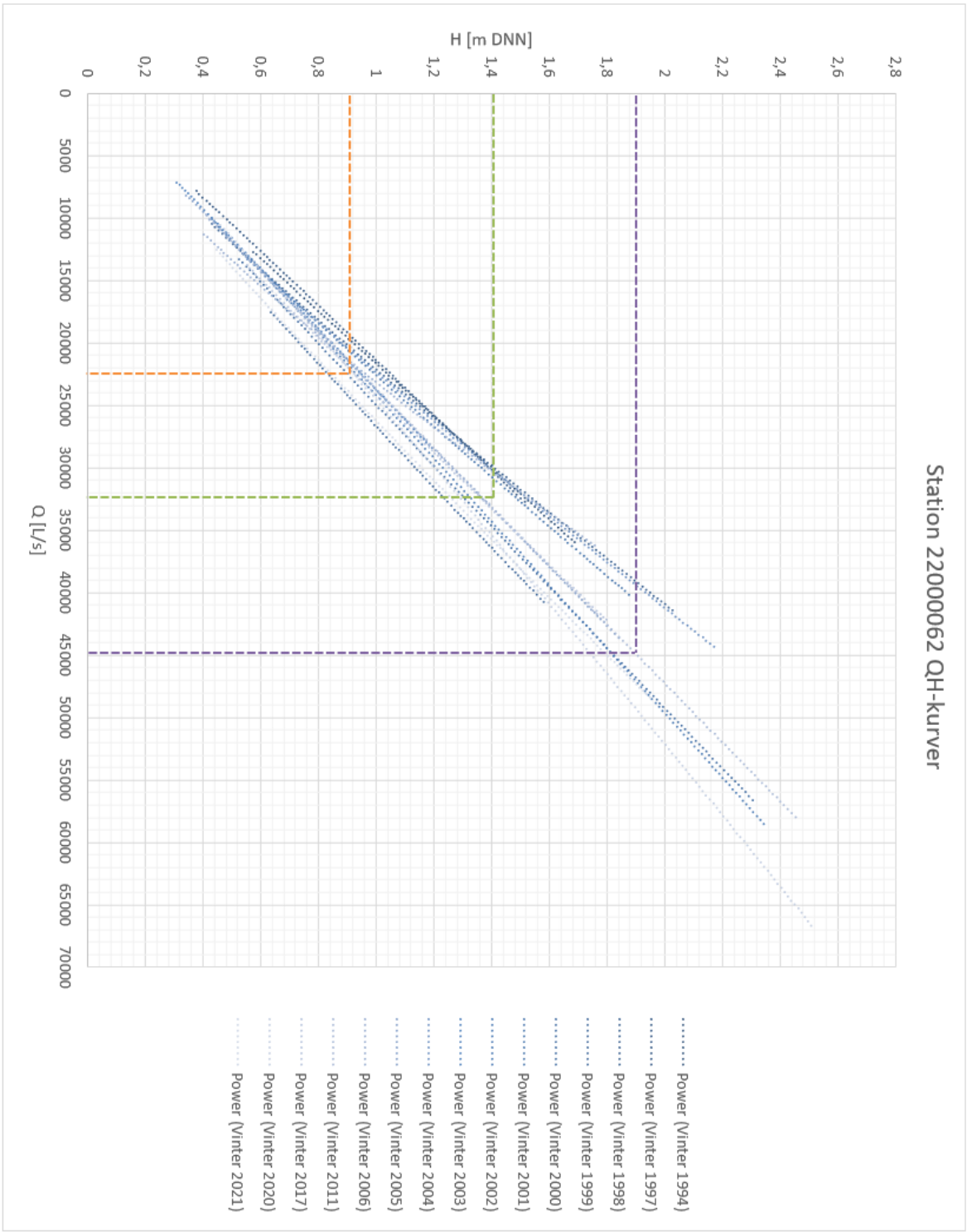


Figur D.6: QH-kurver fittet til data for vinterperioden ved station 22000053. De orange linjer markerer Q valgt ved den originale vandstand fra *Stream Flood*. Den grønne linje marker at vandstanden hævet med 0,5 m ikke er repræsenteret af kurverne ved denne station. Vandstanden hævet med 1 meter er for høj til at være afbildet i figuren. Egen figur.

D.4 Station 22000062

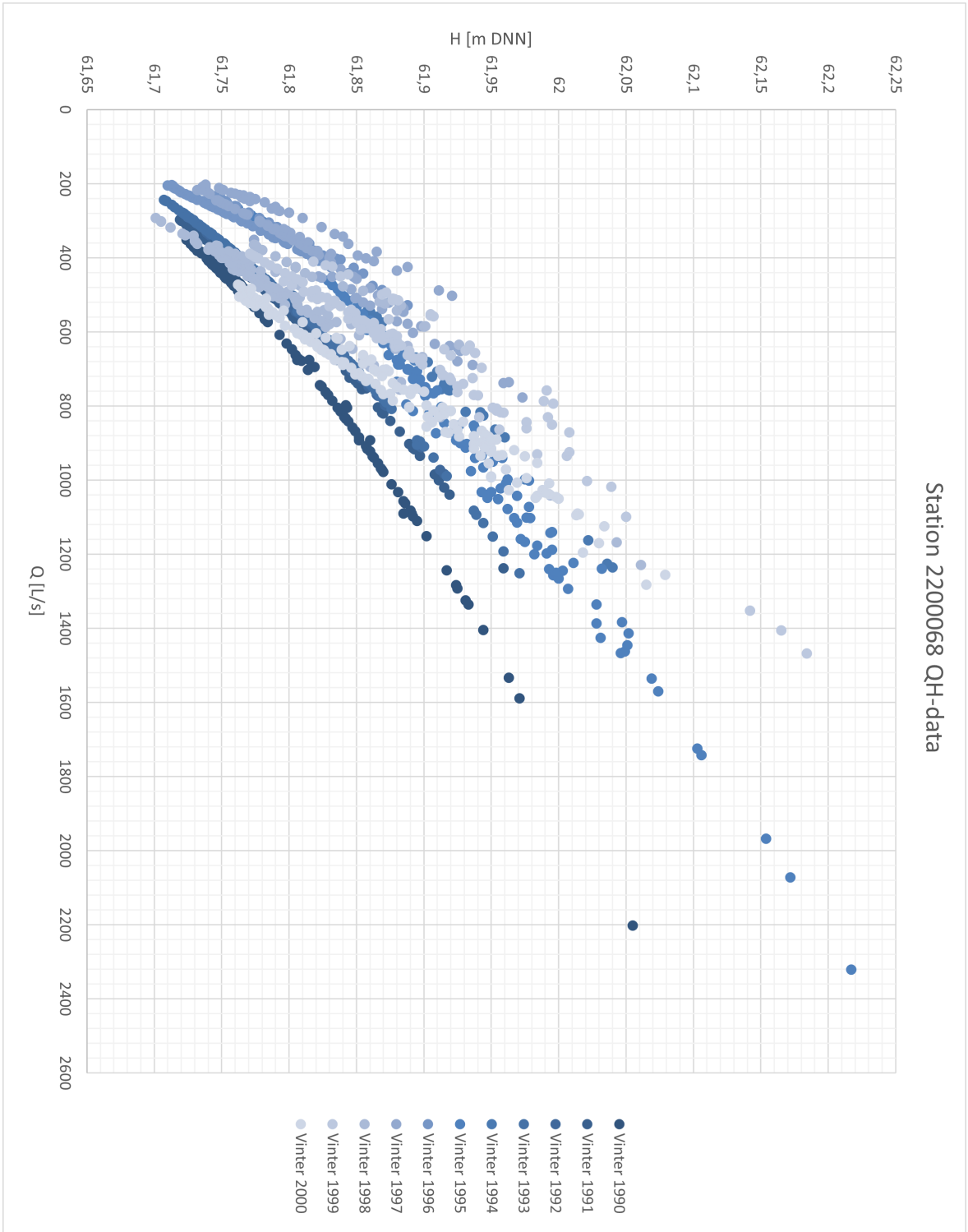


Figur D.7: QH-data for vinterperioden ved station 22000062. Egen figur.

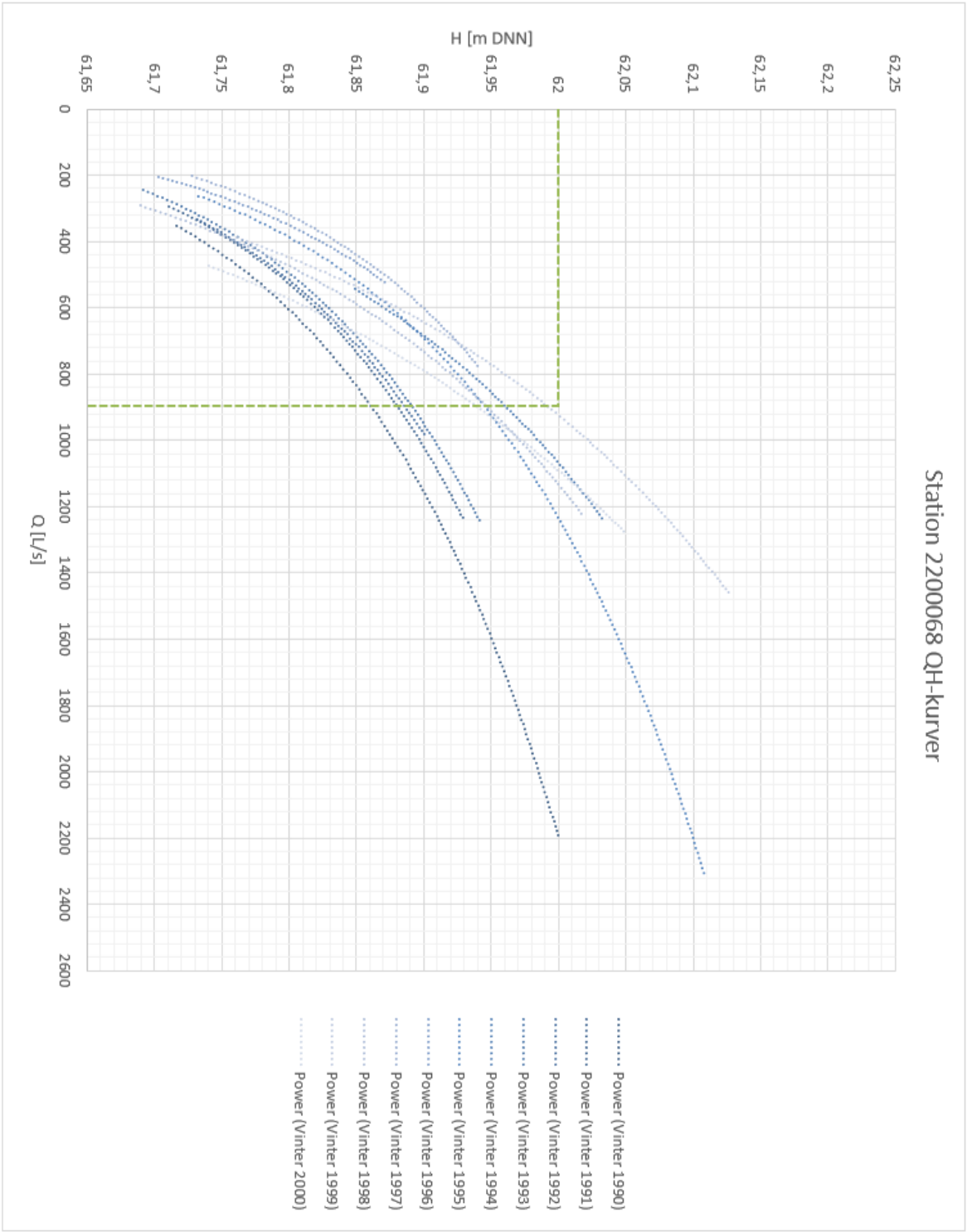


Figur D.8: QH-kurver fittet til data for vinterperioden ved station 22000062. De orange linjer markerer Q valgt ved den originale vandstand fra *Stream Flood*. De grønne linjer markerer Q valgt når vandstanden hæves med 0,5 m. De lilla linjer markerer Q valgt når vandstanden hæves med 1 m. Egen figur.

D.5 Station 22000068



Figur D.9: QH-data for vinterperioden ved station 22000068. Egen figur.

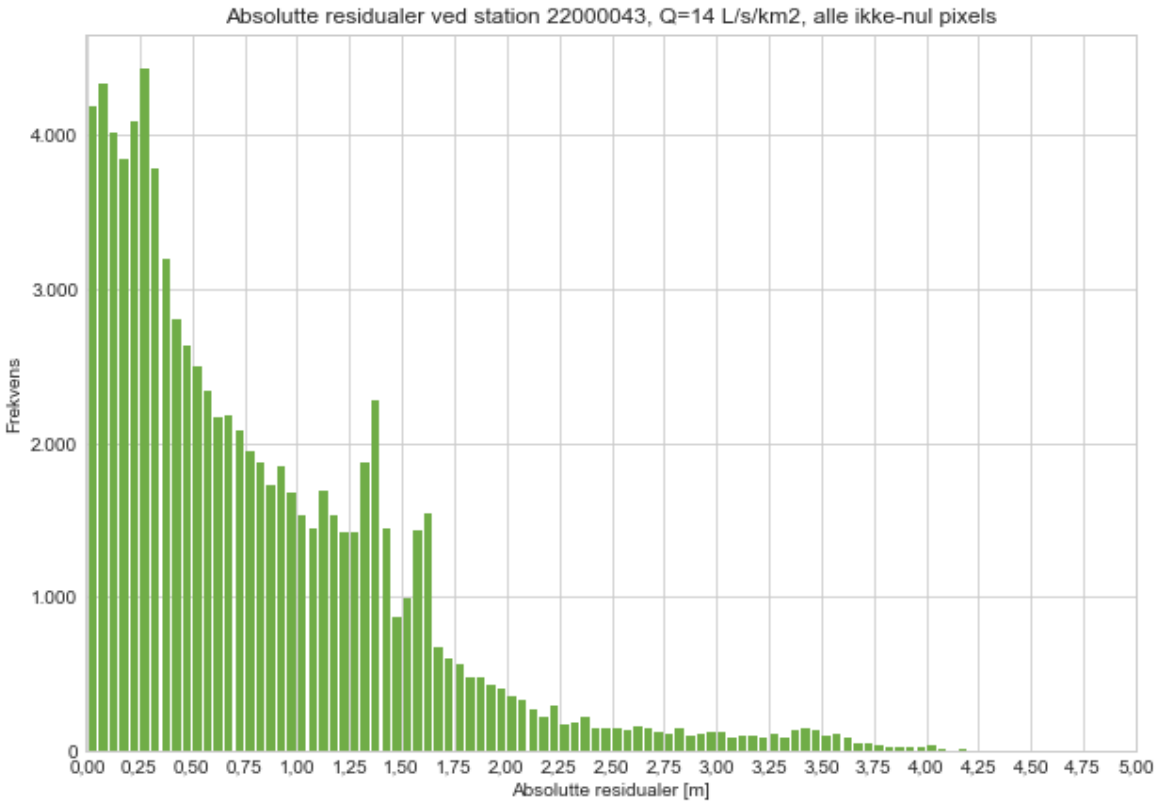


Figur D.10: QH-kurver fittet til data for vinterperioden ved station 22000068. De grønne linjer markerer Q valgt når vandstanden hæves med 0,5 m. Den originale vandstand fra *Stream Flood* og den hævet med 1 m er hhv. for lav og for høj til at være afbildet i figuren. Egen figur.

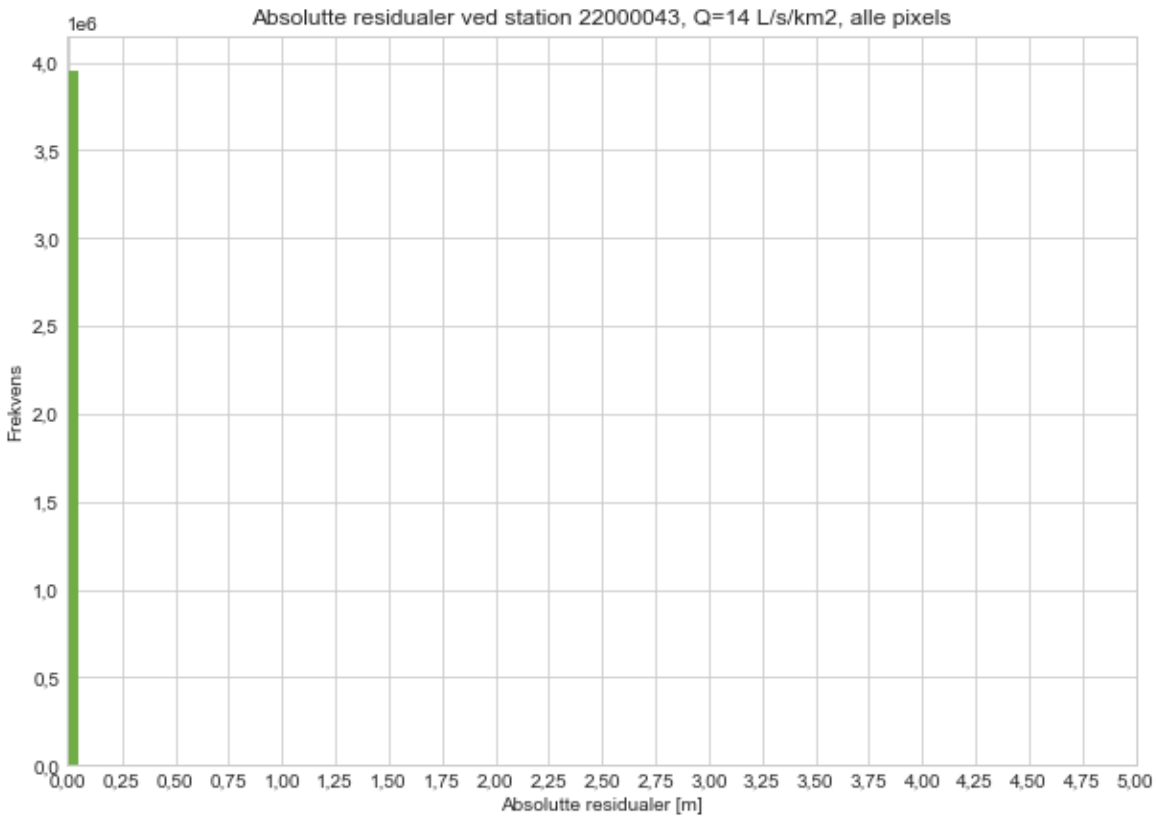
Bilag E | Histogrammer til afsnit 7.1

Nedenfor ses de histogrammer der nævnes, men ikke er medtaget i afsnit 7.1.

E.1 Station 22000043

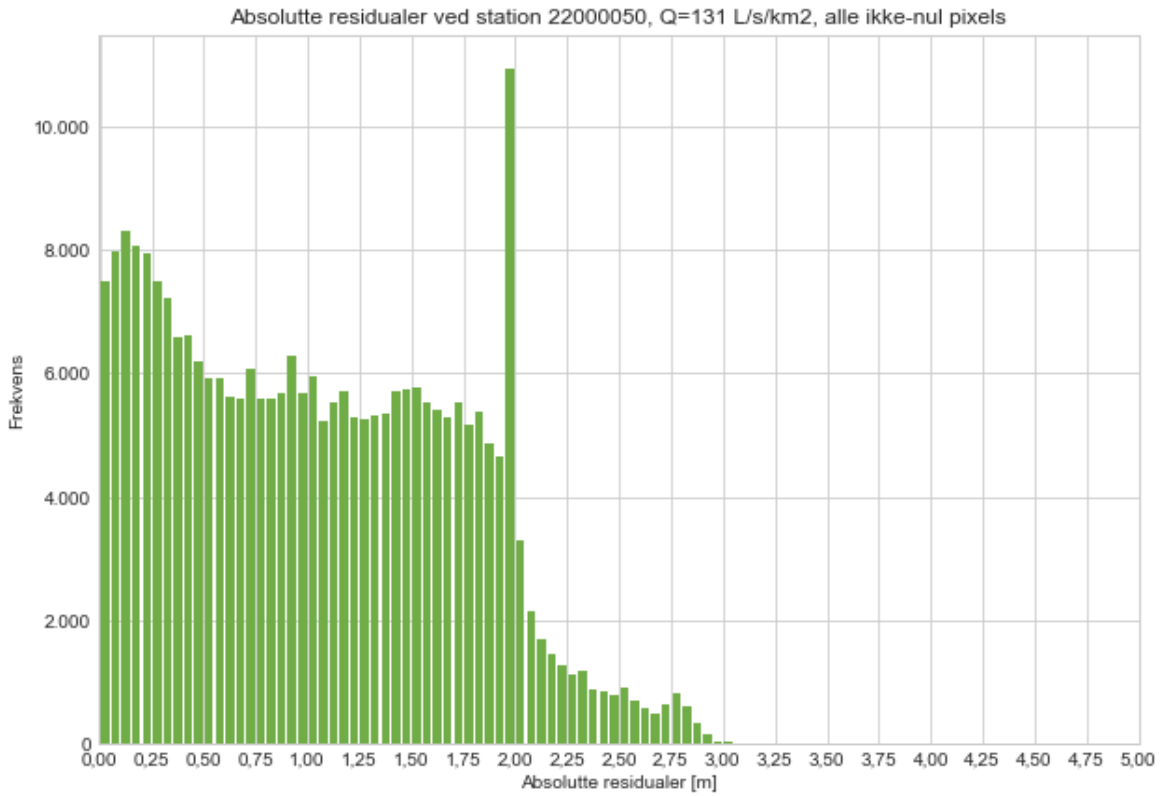


Figur E.1: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 0 m i *Stream Flood*, og oversvømmelseskort for den tilsvarende afstrømning i er udtrukket fra SCALGO. Intervalbredde = 5 cm. Alle værdier over 5 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.

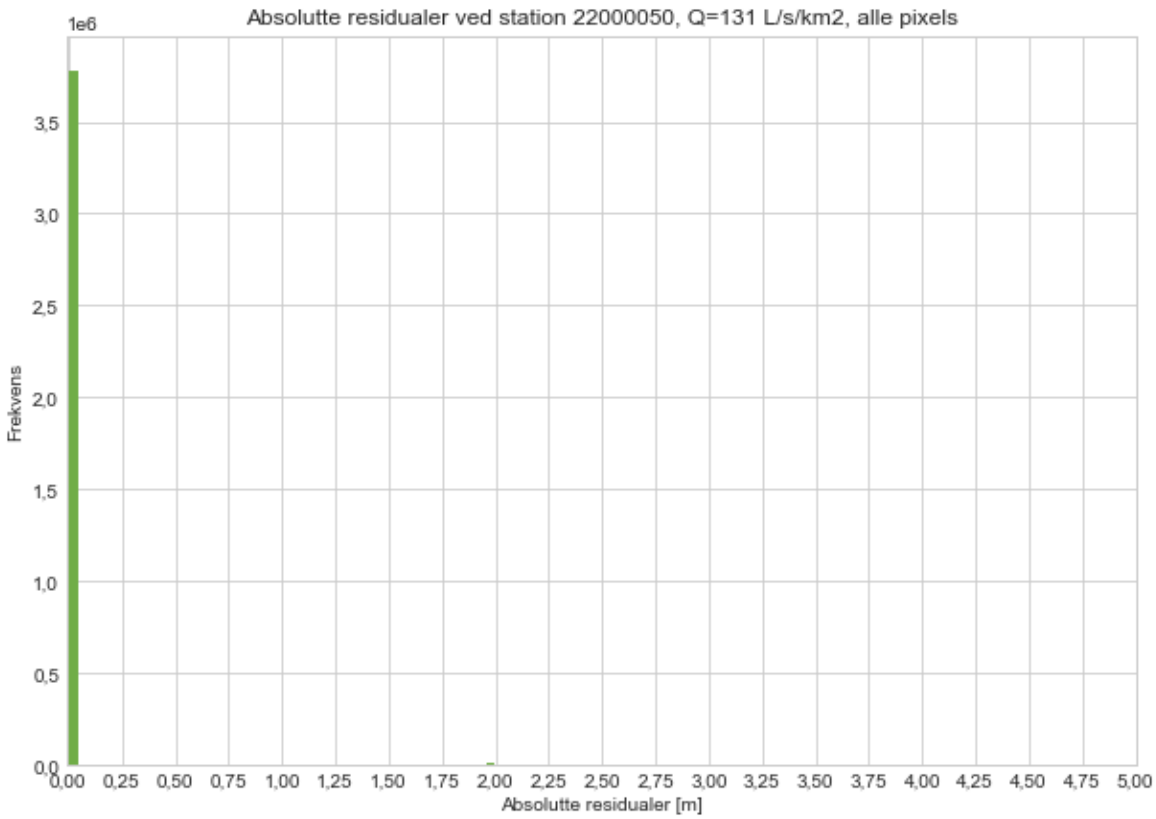


Figur E.2: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 0 m i *Stream Flood*, og oversvømmelseskort for den tilsvarende afstrømning i er udtrukket fra SCALGO. Intervalbredde = 5 cm. Alle værdier over 5 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.

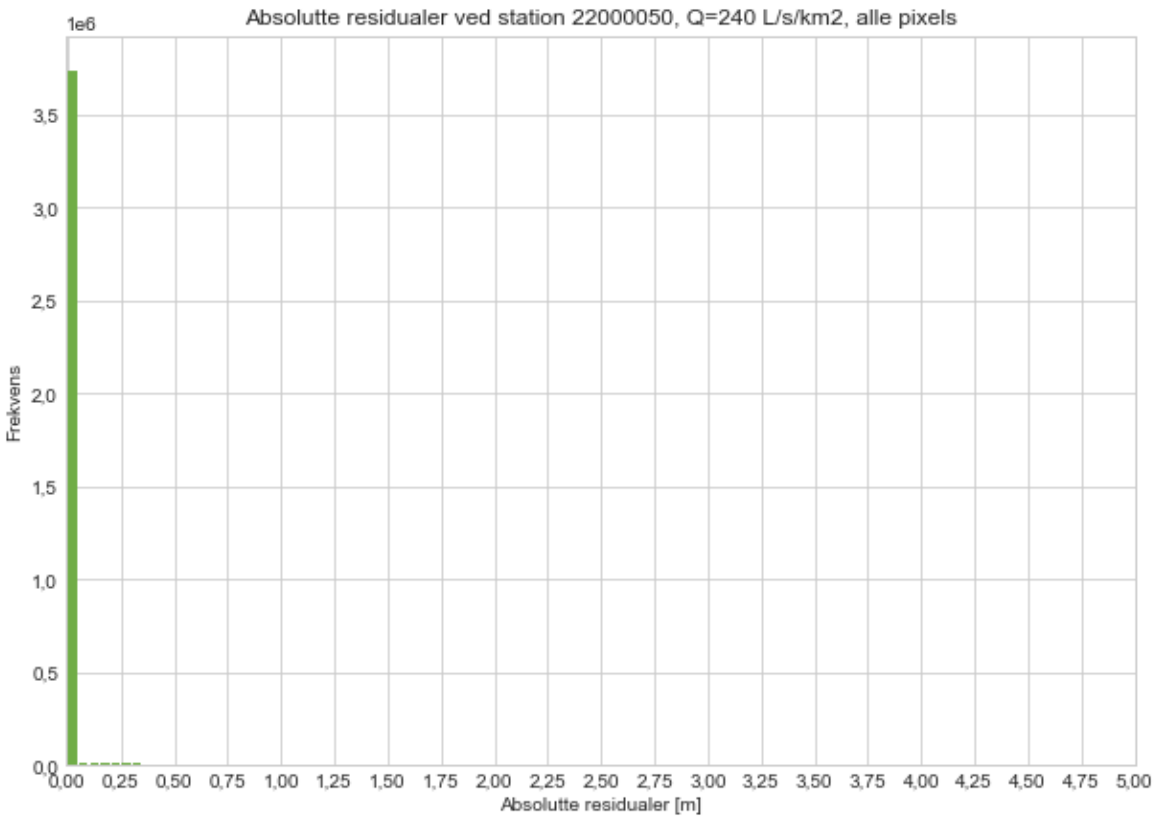
E.2 Station 22000050



Figur E.3: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 0 m i *Stream Flood*, og oversvømmelseskort for den tilsvarende afstrømning i er udtrukket fra SCALGO. Intervalbredde = 5 cm. Alle værdier over 5 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.

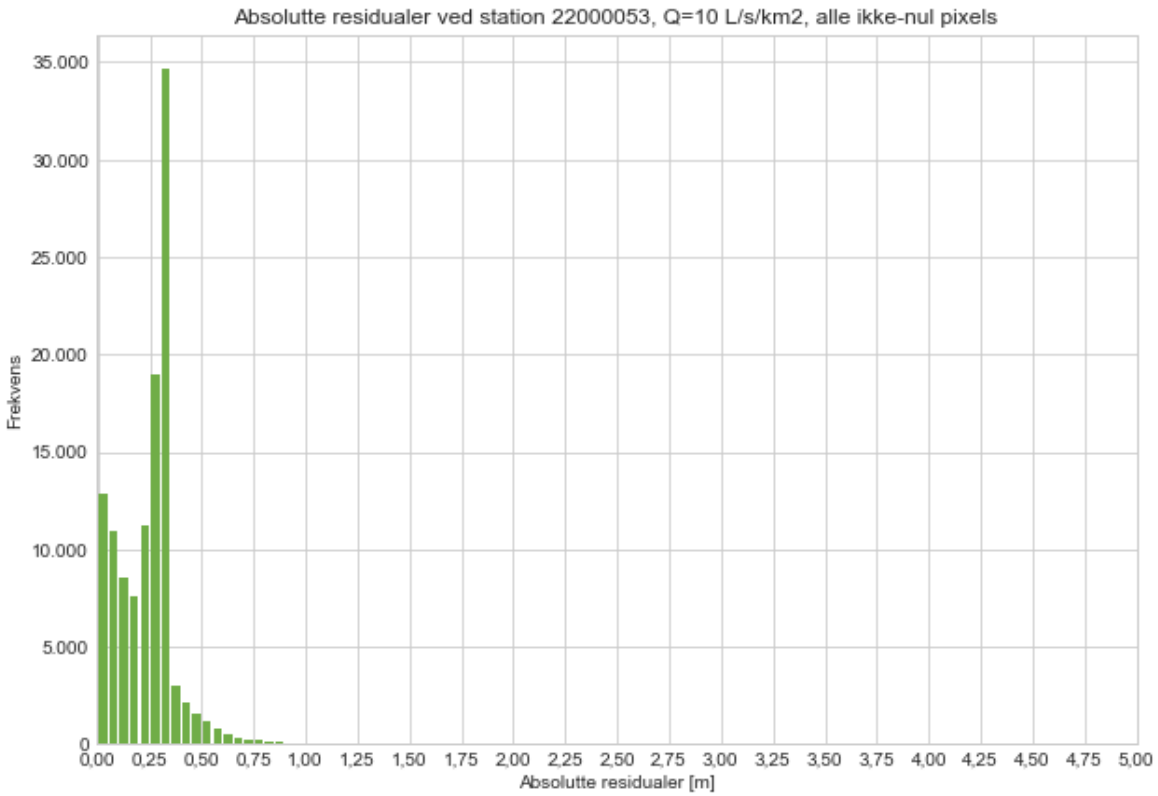


Figur E.4: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 0 m i *Stream Flood*, og oversvømmelseskort for den tilsvarende afstrømning i er udtrukket fra SCALGO. Intervalbredde = 5 cm. Alle værdier over 5 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.

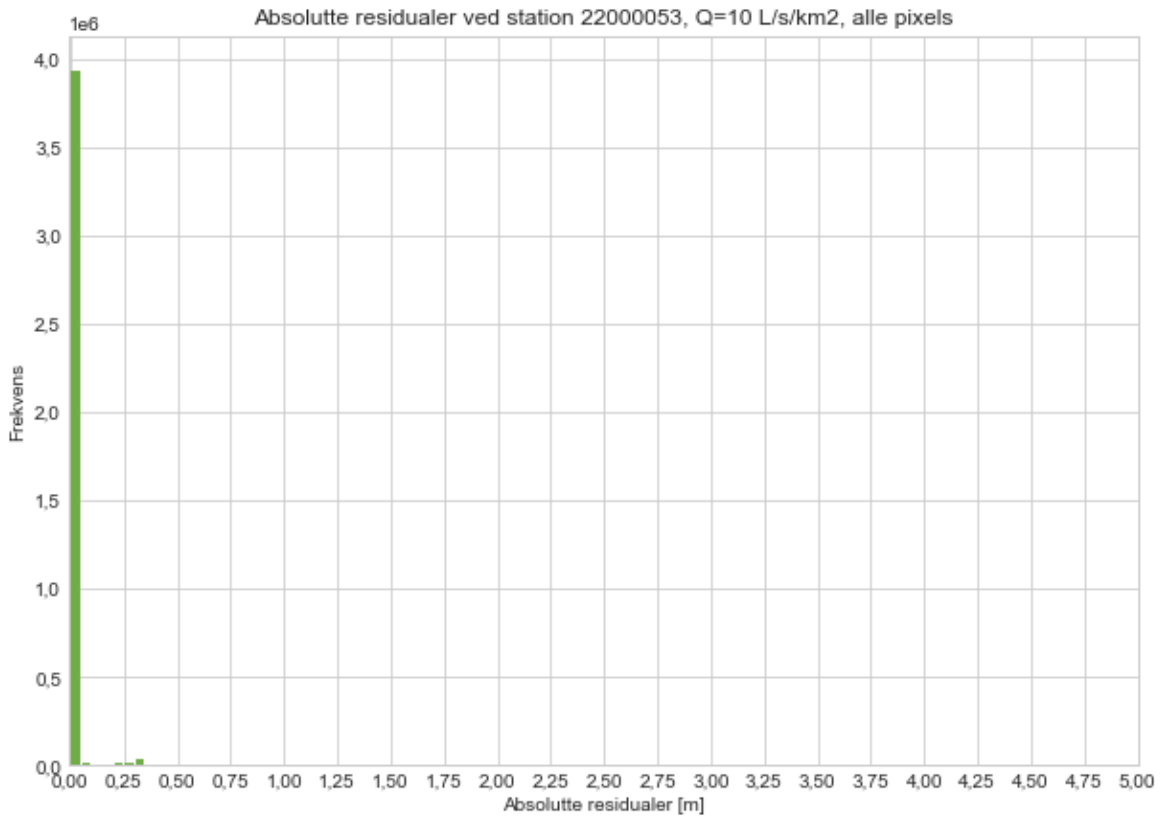


Figur E.5: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 0,5 m i *Stream Flood*, og oversvømmelseskort for den tilsvarende afstrømning i er udtrukket fra SCALGO. Intervalbredde = 5 cm. Alle værdier over 5 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.

E.3 Station 22000053

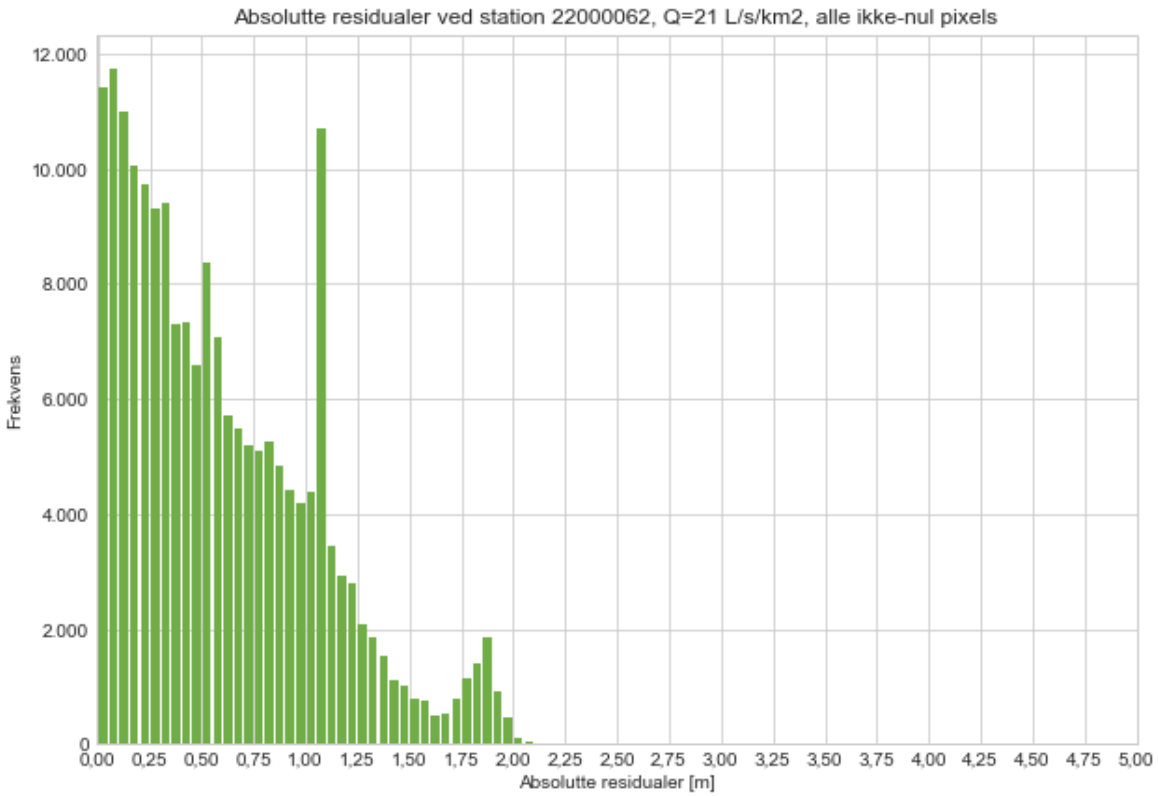


Figur E.6: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 0 m i *Stream Flood*, og oversvømmelseskort for den tilsvarende afstrømning i er udtrukket fra SCALGO. Intervalbredde = 5 cm. Alle værdier over 5 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.

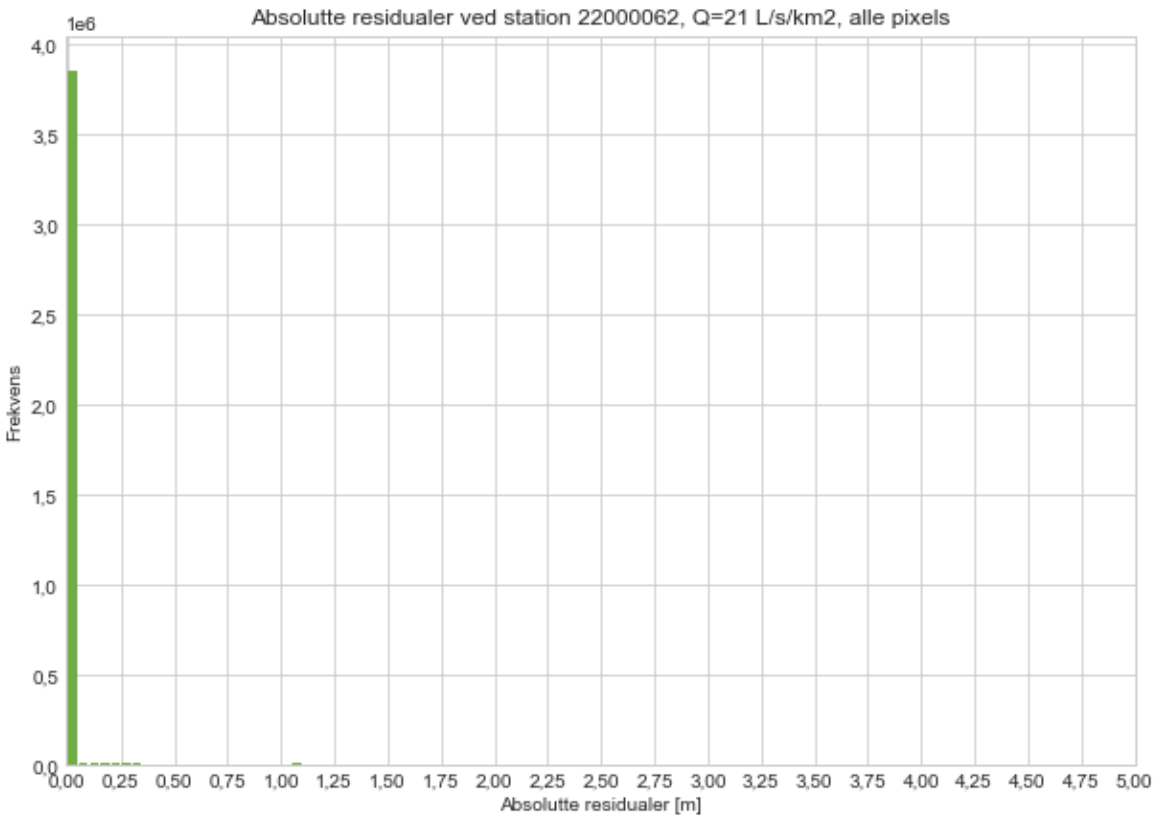


Figur E.7: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 0 m i *Stream Flood*, og oversvømmelseskort for den tilsvarende afstrømning i er udtrukket fra SCALGO. Intervalbredde = 5 cm. Alle værdier over 5 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.

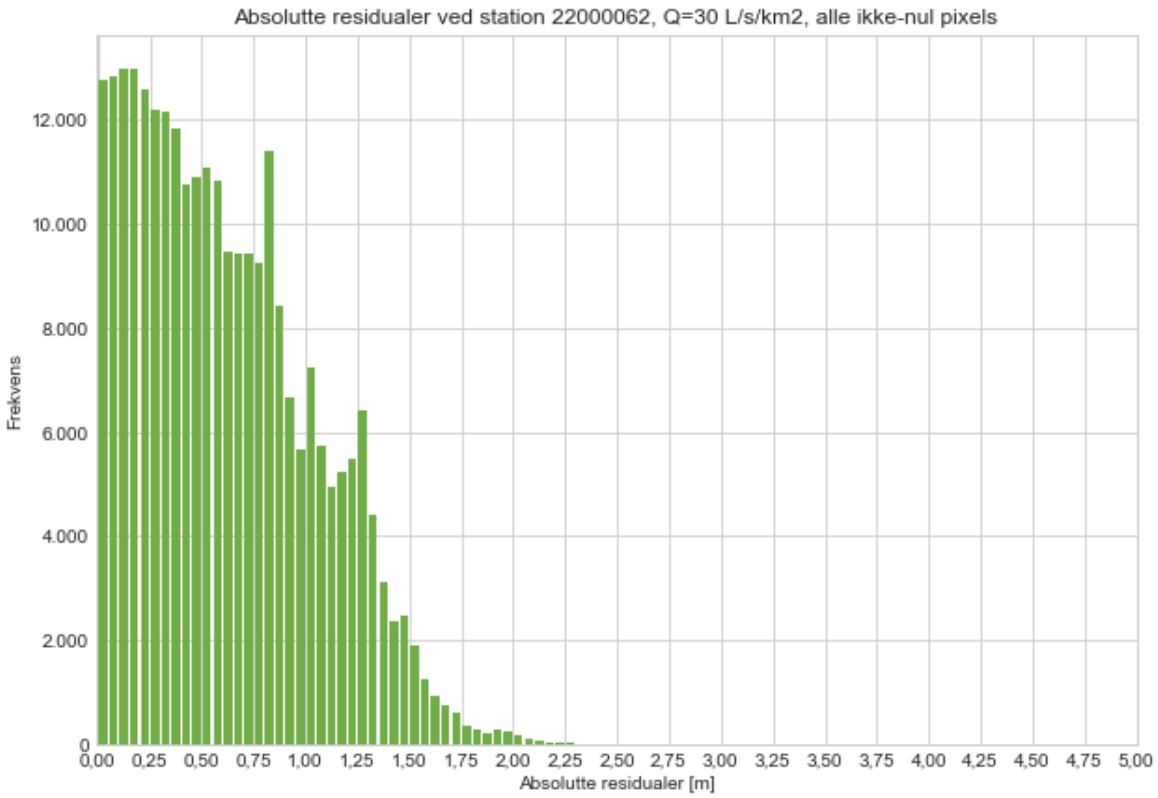
E.4 Station 22000062



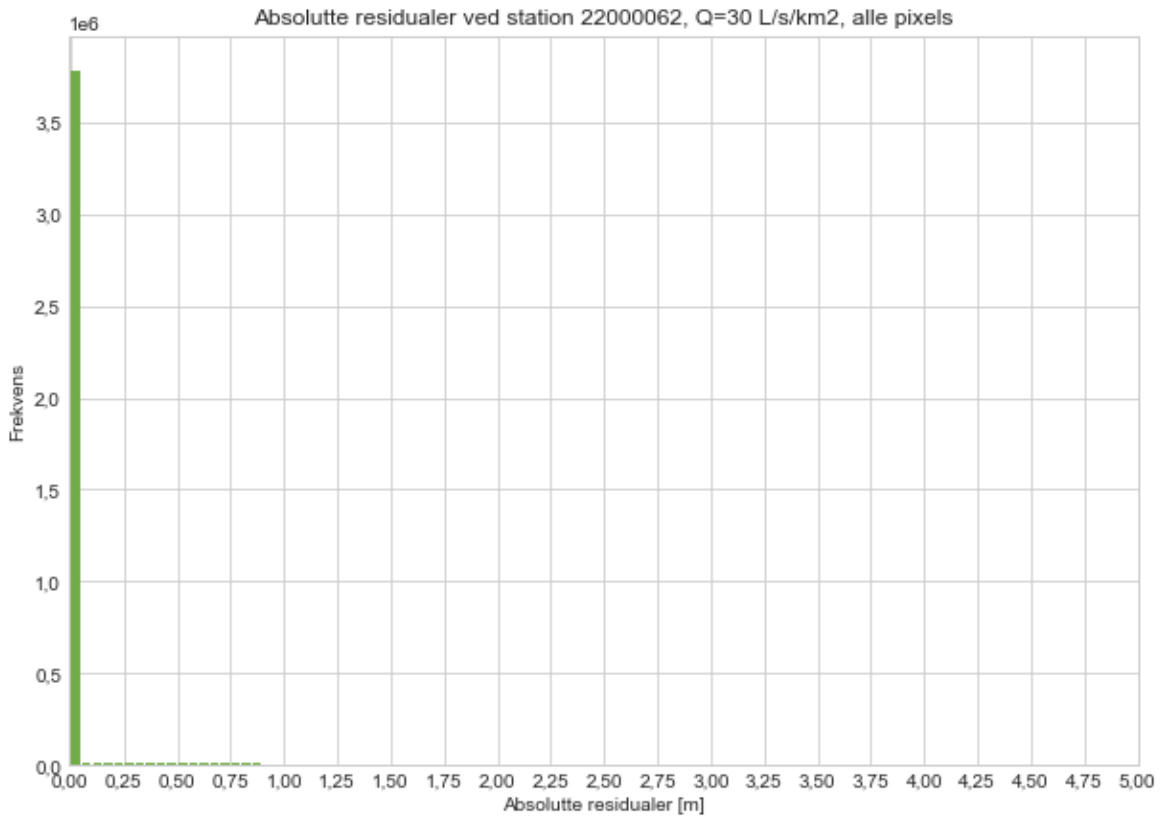
Figur E.8: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 0 m i *Stream Flood*, og oversvømmelseskort for den tilsvarende afstrømning i er udtrukket fra SCALGO. Intervalbredde = 5 cm. Alle værdier over 5 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.



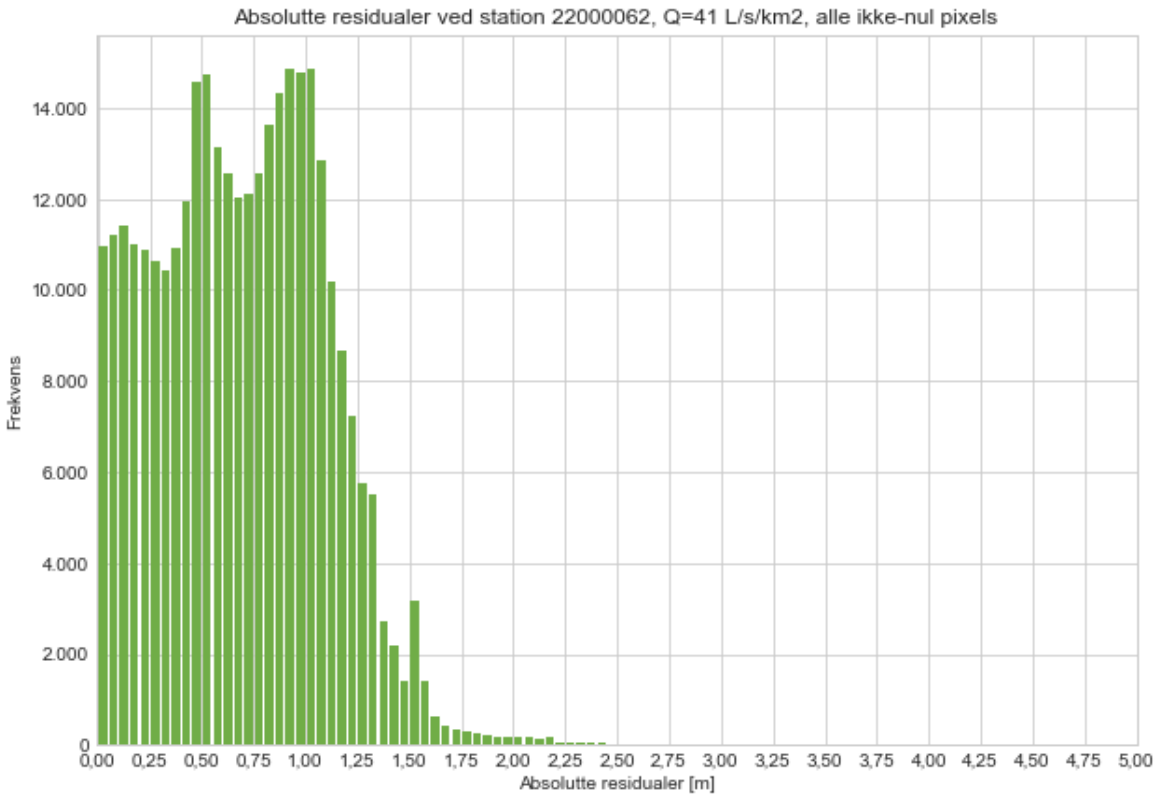
Figur E.9: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 0 m i *Stream Flood*, og oversvømmelseskort for den tilsvarende afstrømning i er udtrukket fra SCALGO. Intervalbredde = 5 cm. Alle værdier over 5 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.



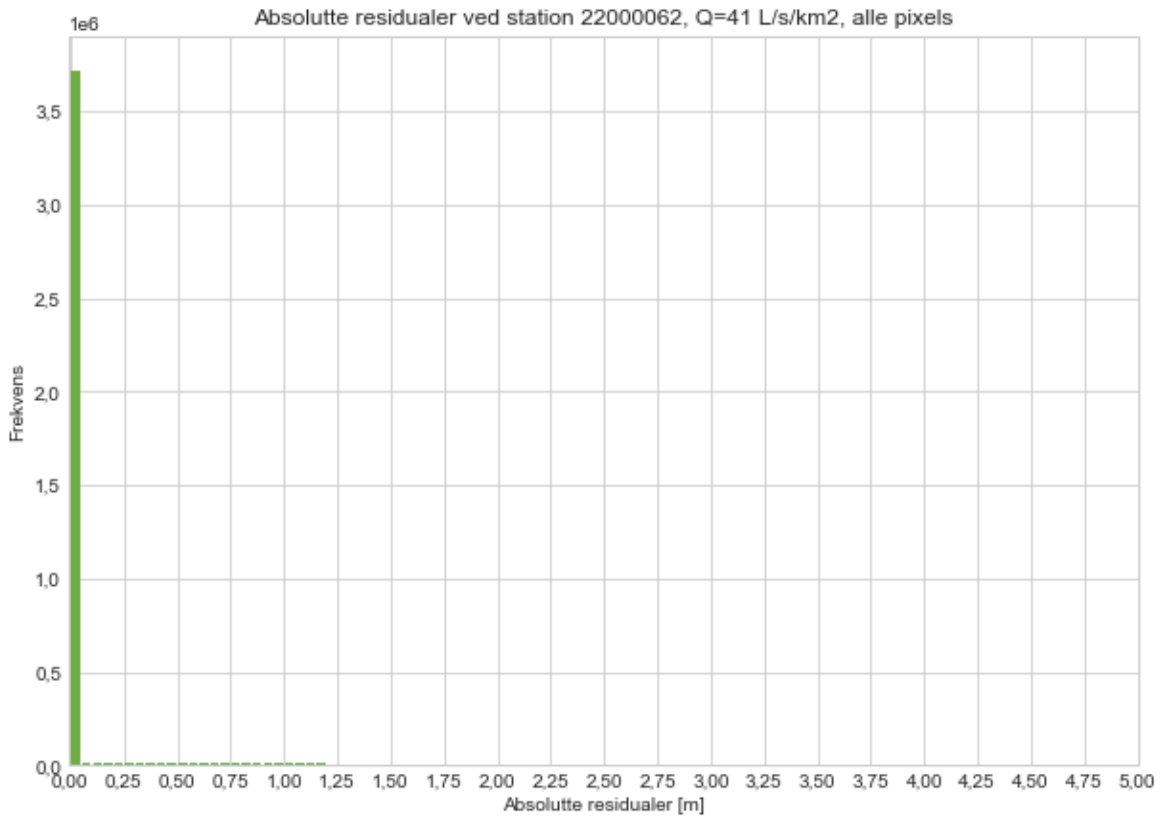
Figur E.10: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 0,5 m i *Stream Flood*, og oversvømmelseskort for den tilsvarende afstrømning i er udtrukket fra SCALGO. Intervalbredde = 5 cm. Alle værdier over 5 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.



Figur E.11: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 0,5 m i *Stream Flood*, og oversvømmelseskort for den tilsvarende afstrømning i er udtrukket fra SCALGO. Intervalbredde = 5 cm. Alle værdier over 5 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.

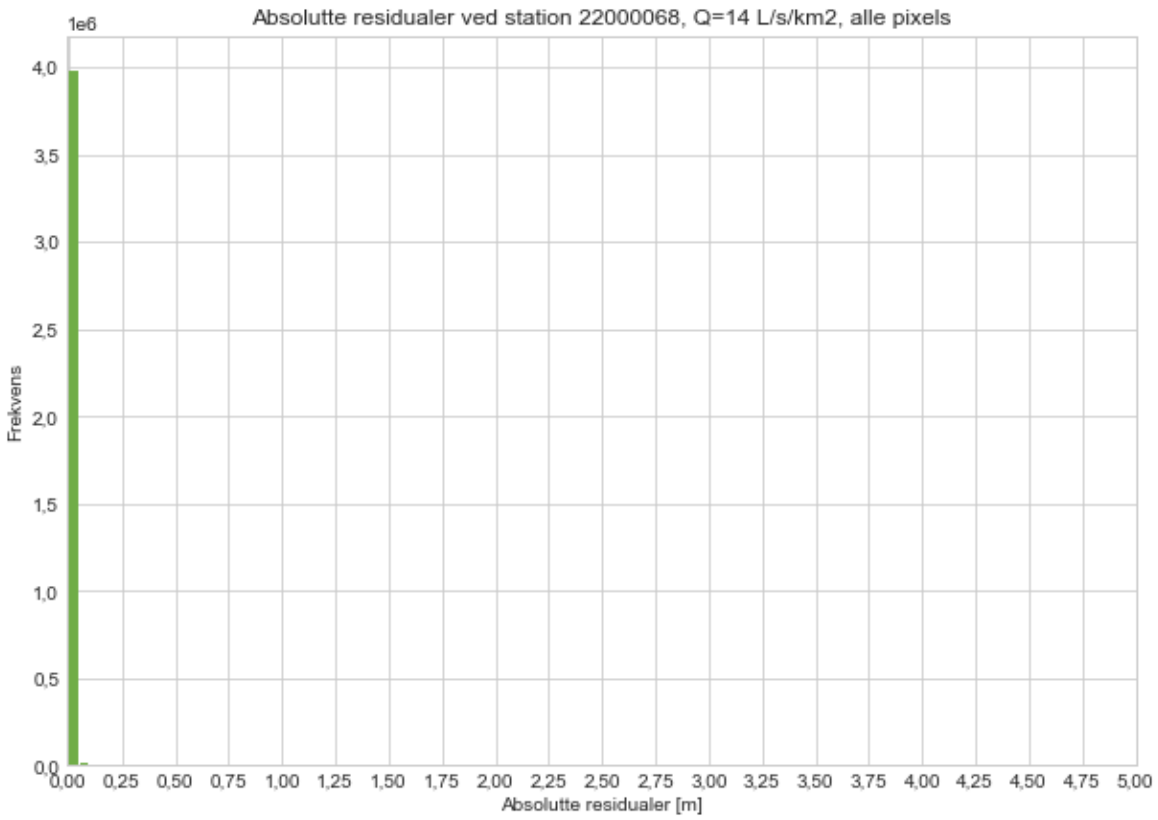


Figur E.12: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 1 m i *Stream Flood*, og oversvømmelseskort for den tilsvarende afstrømning i er udtrukket fra SCALGO. Intervalbredde = 5 cm. Alle værdier over 5 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.



Figur E.13: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 1 m i *Stream Flood*, og oversvømmelseskort for den tilsvarende afstrømning i er udtrukket fra SCALGO. Intervalbredde = 5 cm. Alle værdier over 5 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.

E.5 Station 22000068

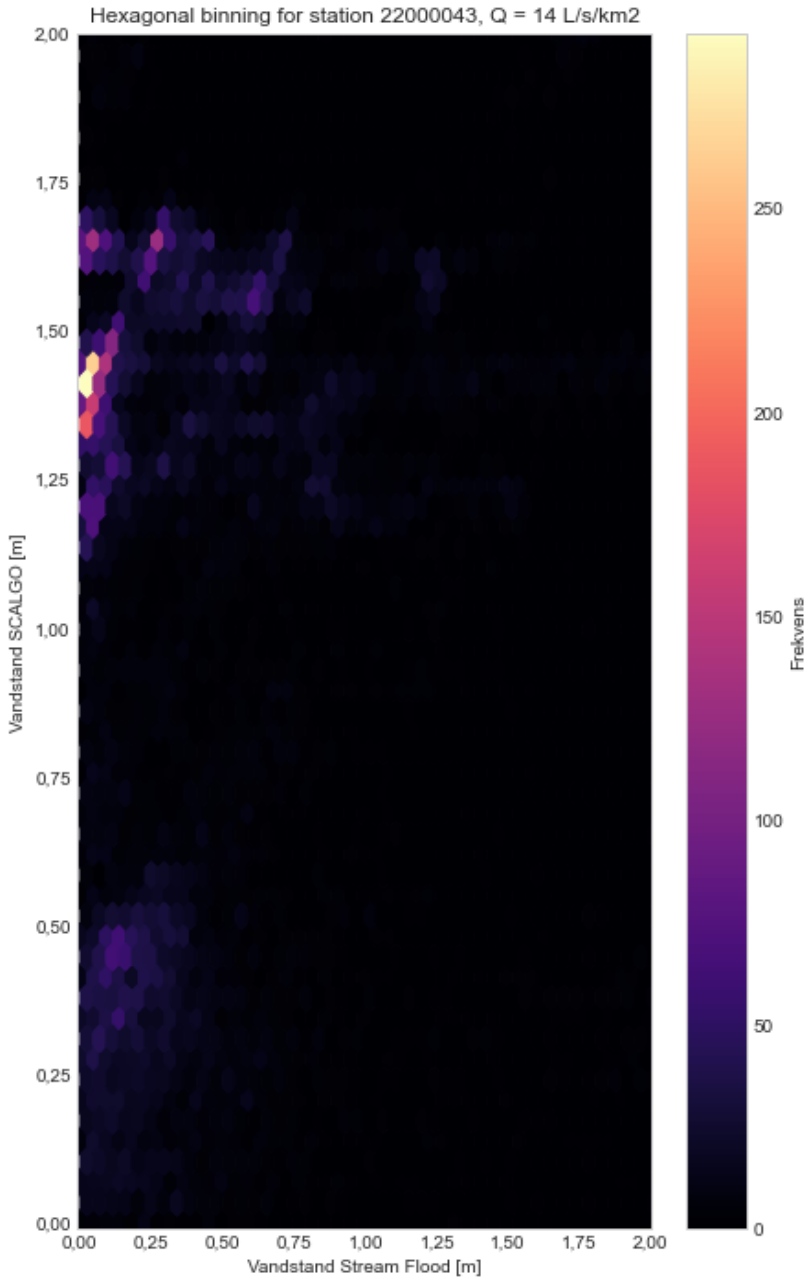


Figur E.14: Histogram over den absolutte værdi af residualerne for oversvømmelsesdybder, når vandstanden er hævet 0,5 m i *Stream Flood*, og oversvømmelseskort for den tilsvarende afstrømning i er udtrukket fra SCALGO. Intervalbredde = 5 cm. Alle værdier over 5 m er medtaget i sidste søjle. Egen figur.

Bilag F | Hexagonal binning plots til afsnit 7.1

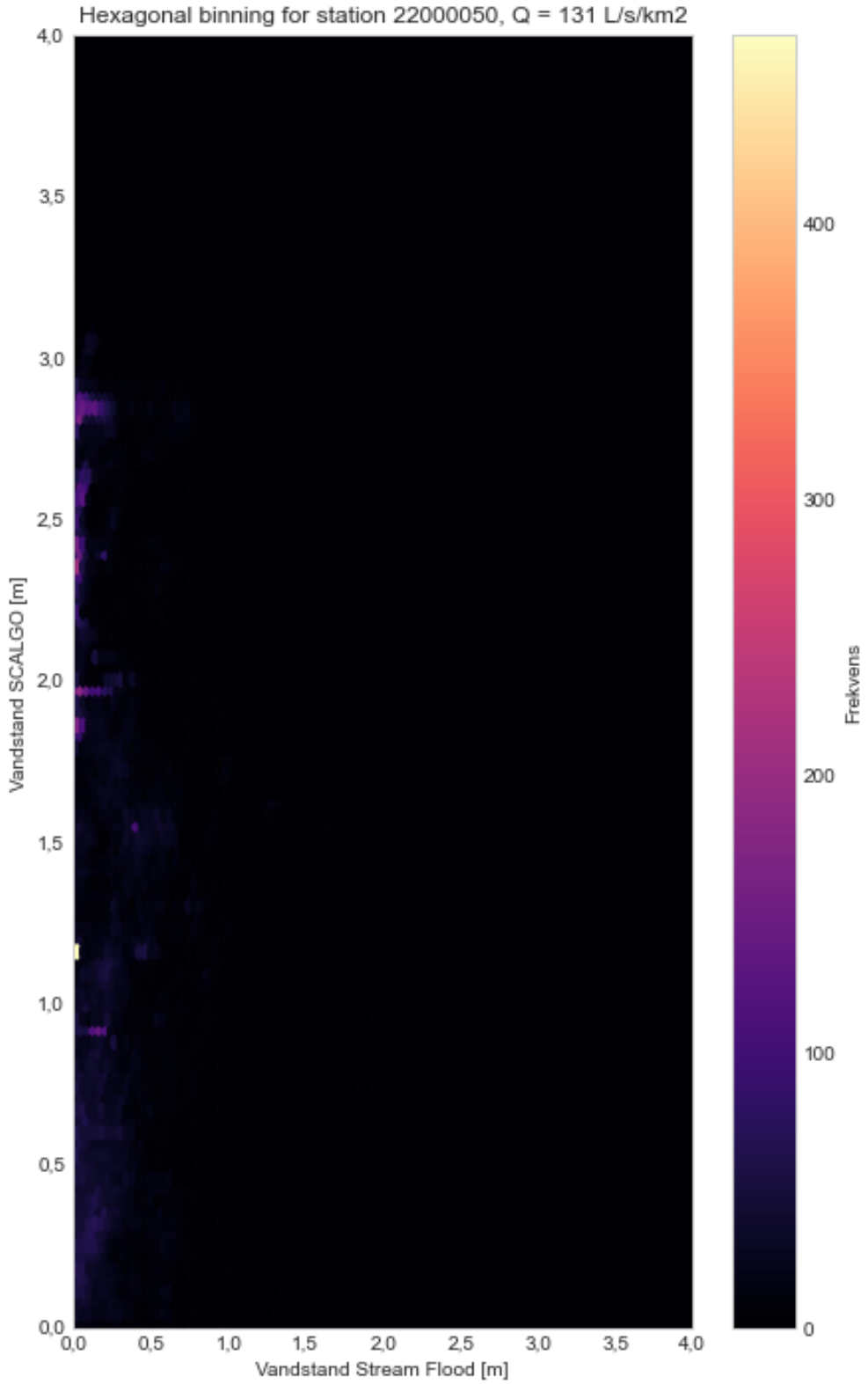
Nedenfor ses de hexagonal binning plots der nævnes, men ikke er medtaget i afsnit 7.1.

F.1 Station 22000043

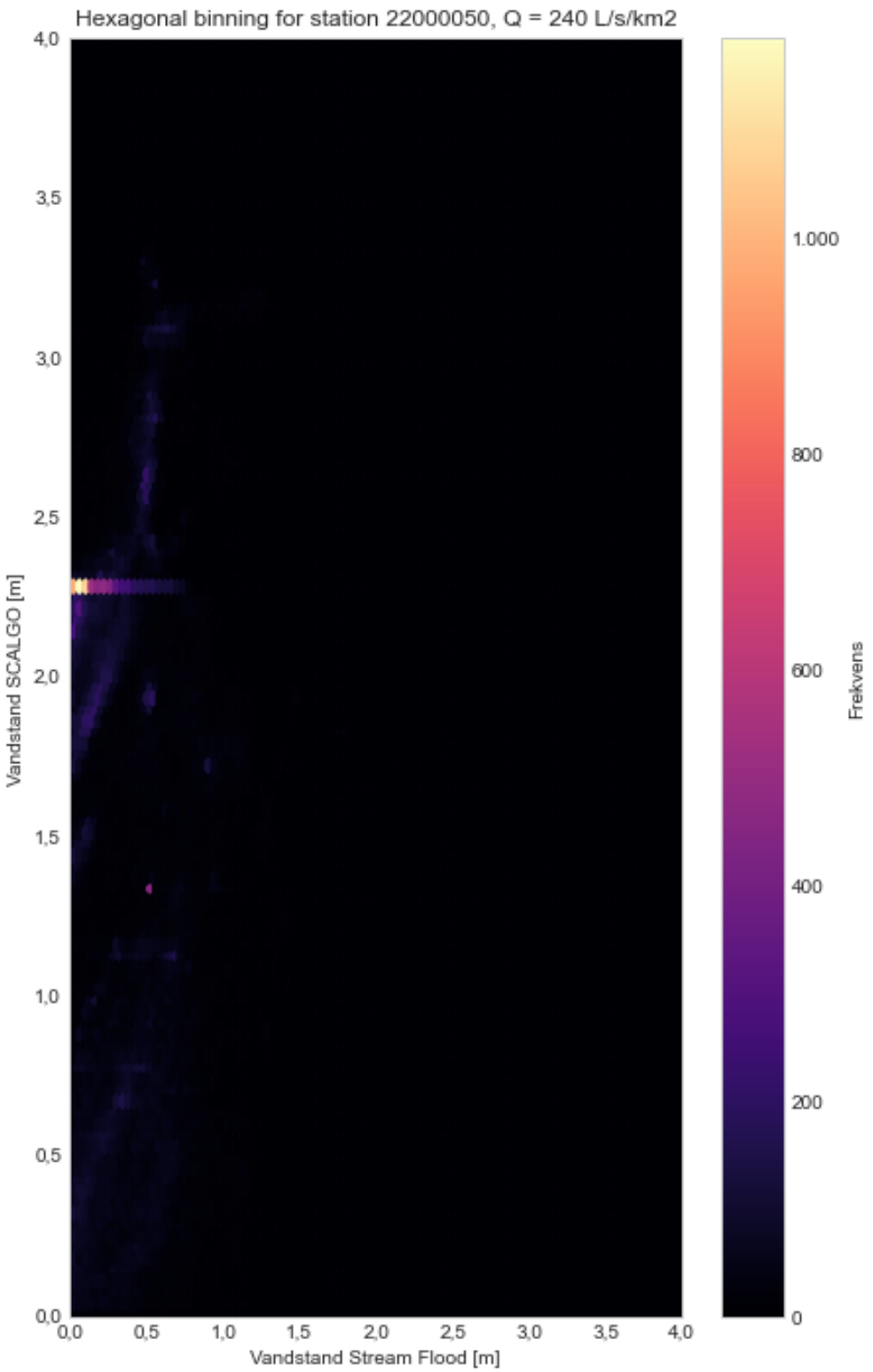


Figur F.1: Hexagonal binning af oversvømmelsesdybder outputtet af SCALGO og *Stream Flood*. Egen figur.

F.2 Station 22000050

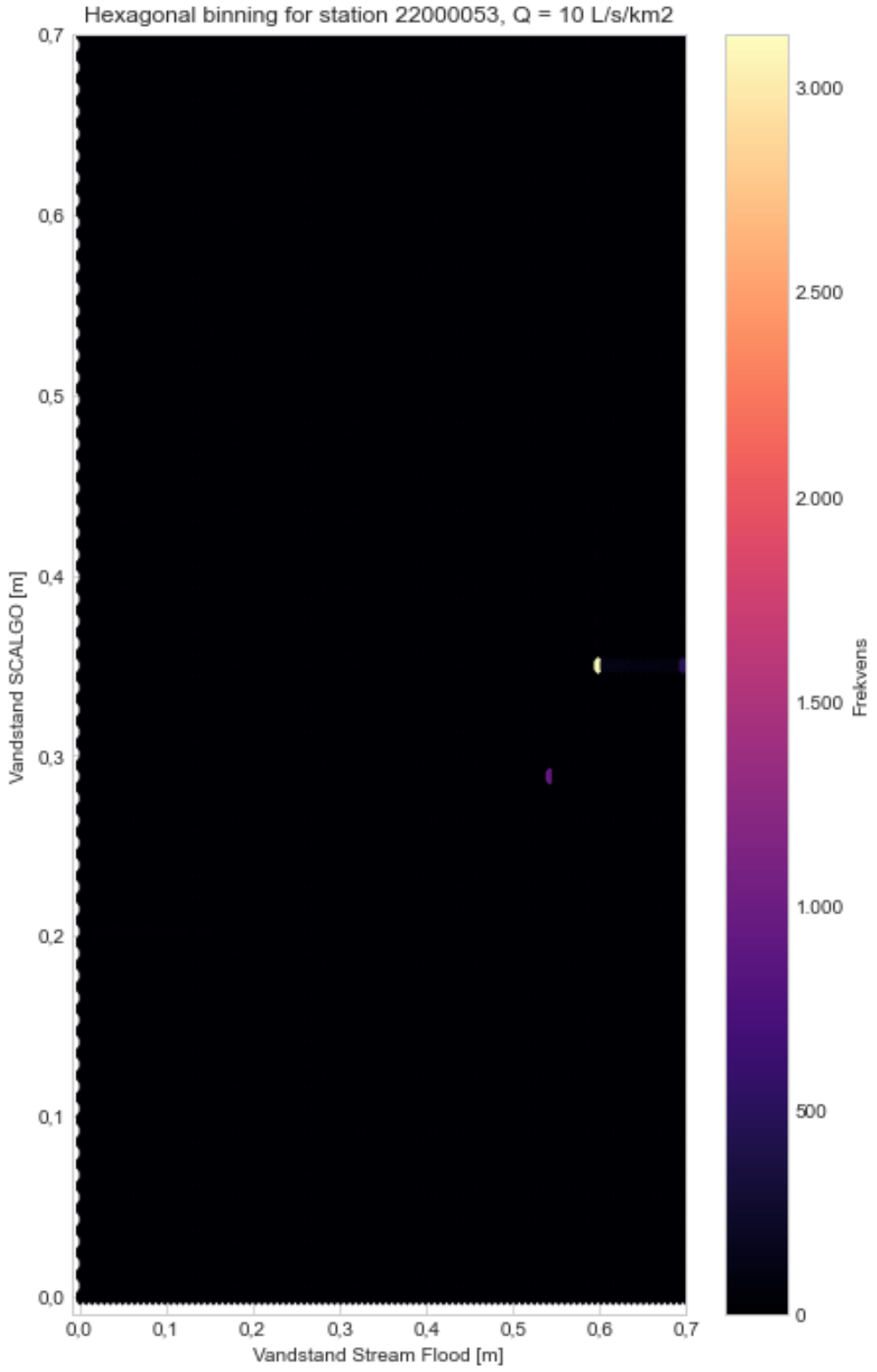


Figur F.2: Hexagonal binning af oversvømmelsesdybder outputtet af SCALGO og *Stream Flood*. Egen figur.



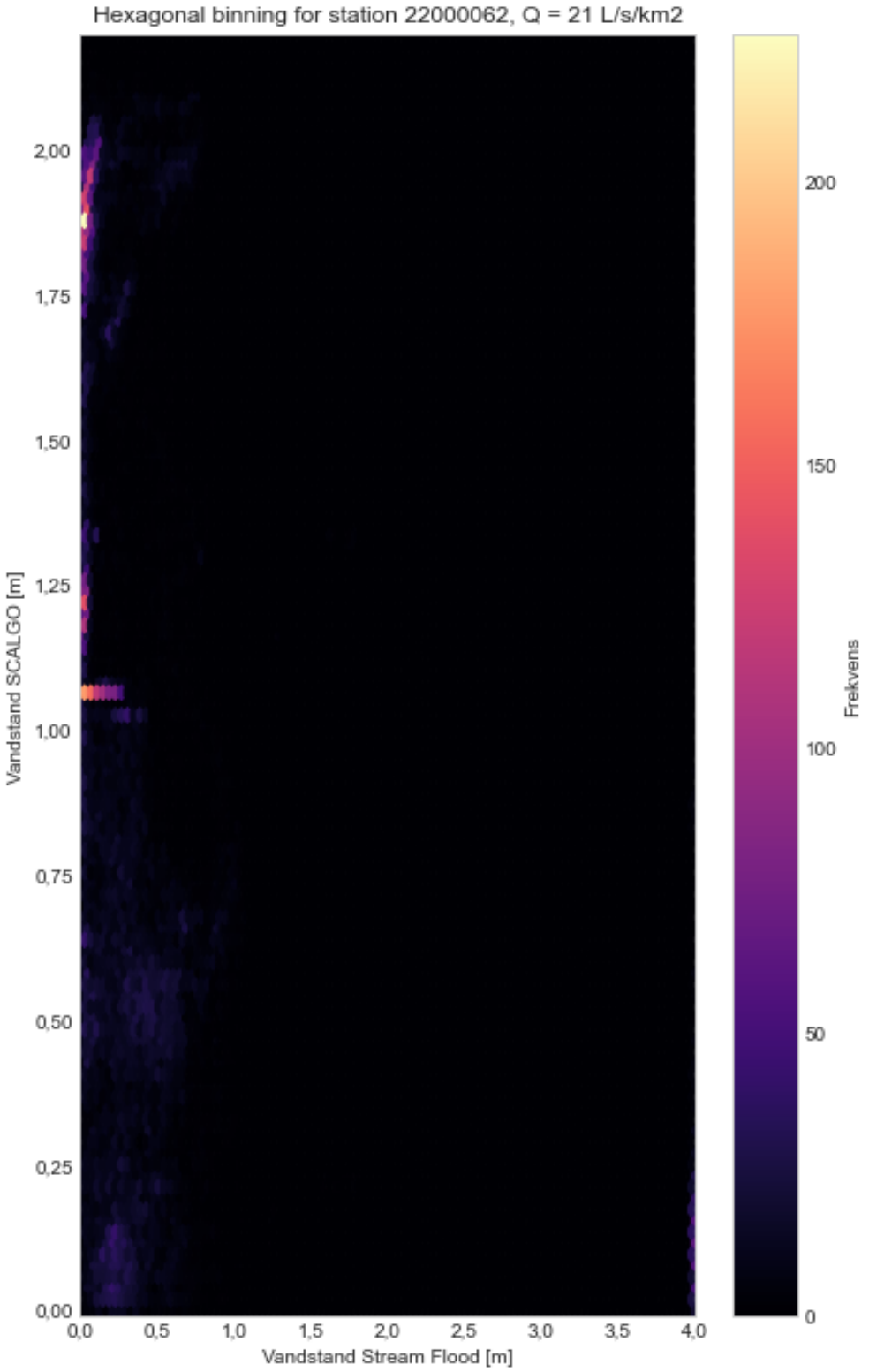
Figur F.3: Hexagonal binning af oversvømmelsesdybder outputtet af SCALGO og *Stream Flood*. Egen figur.

F.3 Station 22000053

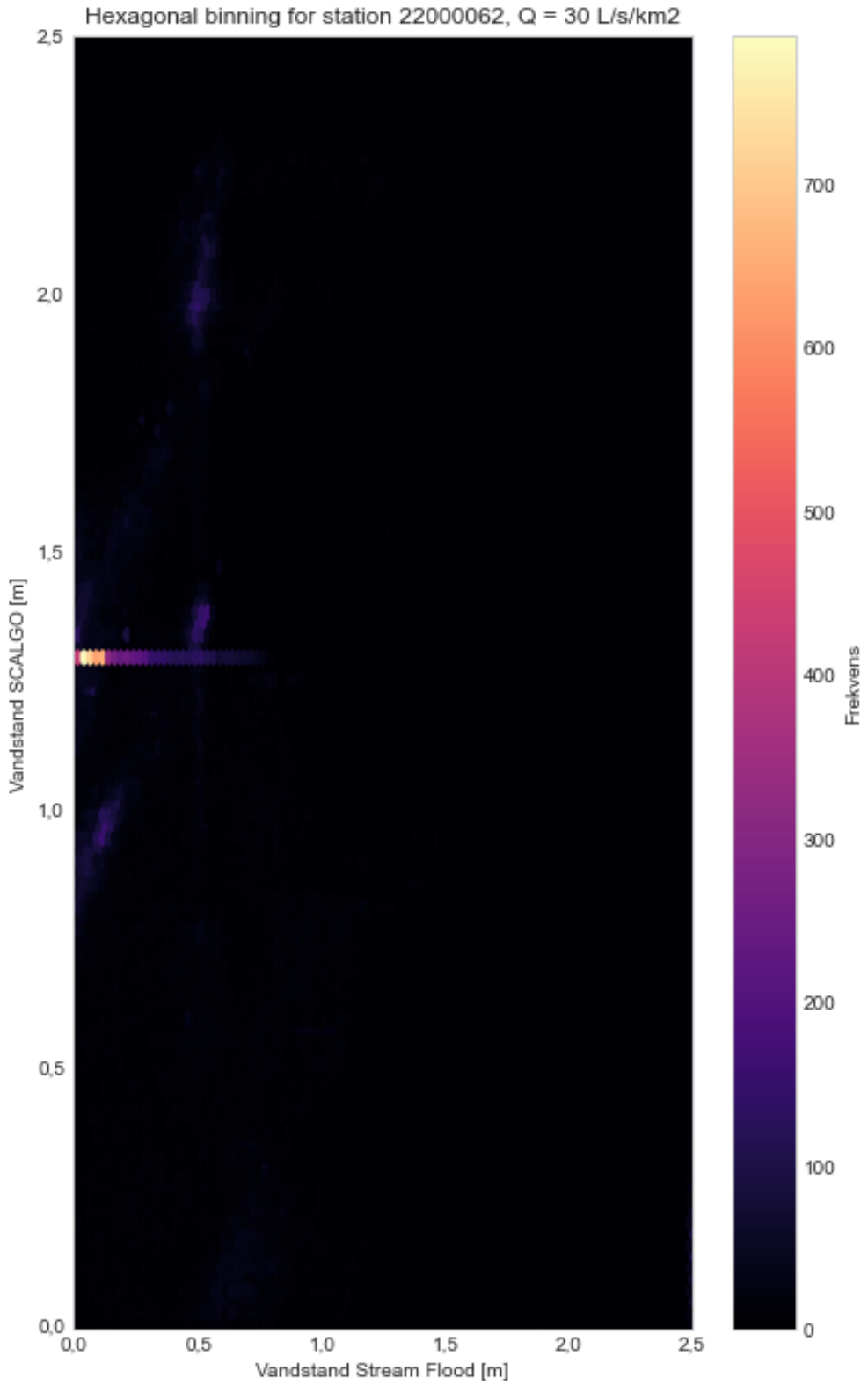


Figur F.4: Hexagonal binning af oversvømmelsesdybder outputtet af SCALGO og *Stream Flood*. Egen figur.

F.4 Station 22000062

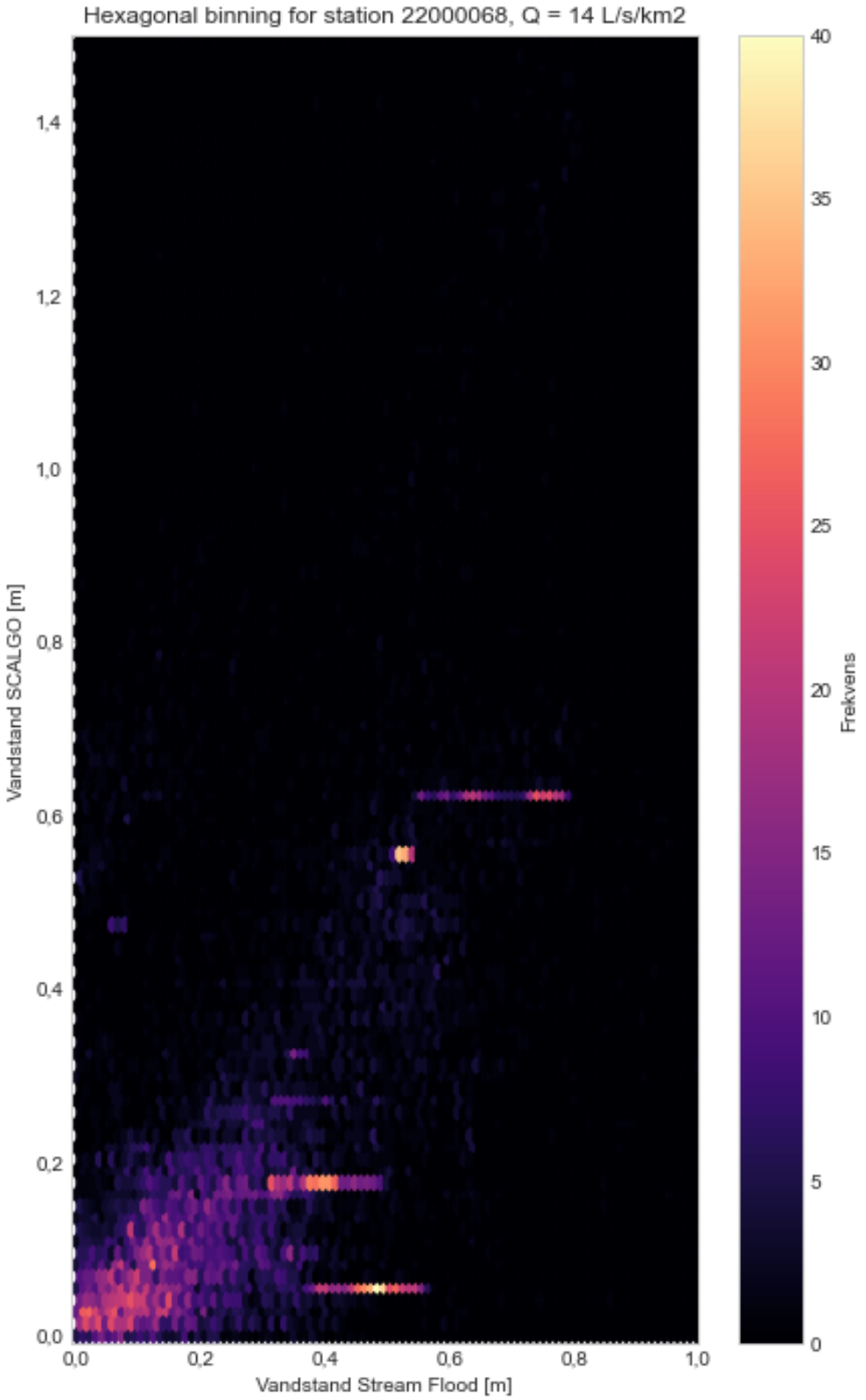


Figur F.5: Hexagonal binning af oversvømmelsesdybder outputtet af SCALGO og *Stream Flood*. Egen figur.



Figur F.6: Hexagonal binning af oversvømmelsesdybder outputtet af SCALGO og *Stream Flood*. Egen figur.

F.5 Station 22000068



Figur F.7: Hexagonal binning af oversvømmelsesdybder outputtet af SCALGO og *Stream Flood*. Egen figur.