



AALBORG UNIVERSITET

DANVA VUDP projektrapport

Vejrradardata – Tilpasset og klar til anvendelse for hele vandsektoren og deres kunder

Udarbejdet af

Malte S. Ahm
Yansi M. Jesuloganathan
Peter Rasch
David G. Jensen
Jesper E. Nielsen
Michael R. Rasmussen

Projektpartnere:

Aarhus Vand A/S ved Malte Skovby Ahm, Yansi Mary Jesuloganathan, Mathias Schandorff Kristensen og Lene Bassø Duus.

Aalborg Kloak A/S ved Mette Godsk Nicolajsen.

VandCenter Syd A/S ved Annette Brink-Kjær.

HOFOR A/S ved Anders Breinholt, Thor Danielsen og Margit Lund Christensen.

BIOFOS A/S ved Carsten Thirsing.

Aalborg Universitet, BUILD - Institut for Byggeri, By og Miljø ved Jesper Ellerbæk Nielsen og Michael R. Rasmussen.

Danmarks Meteorologiske Institut ved Thomas Bøvith og Rashpal Gill.

Envidan A/S ved David Getreuer Jensen og Mads Uggerby.

InforMetics ApS ved Charlotte Plum, Lasse Børresen, Helle Vittinghus og Peter Rasch.

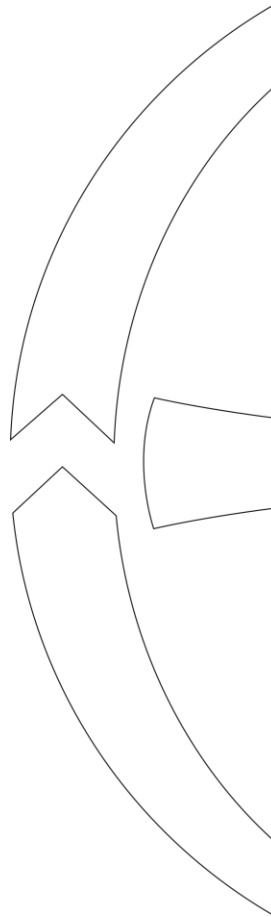
Finansiering:

Projekt er finansieret af VUDP, Vandsektorens Udviklings- og Demonstrationsprogram og projektpartnerne.

VUDP Projekt ID: 4337.2018

ISSN 1901-726X
DCE Technical Report No. 297





Aalborg Universitet
BUILD - Institut for Byggeri, By og Miljø

DCE Technical Report No. 297

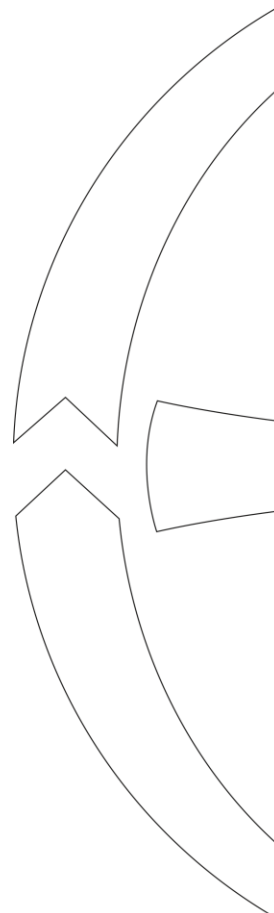
DANVA VUDP projektrapport

Vejrradardata – Tilpasset og klar til anvendelse for hele vandsektoren og deres kunder

Malte S. Ahm
Yansi M. Jesuloganathan
Peter Rasch
David G. Jensen
Jesper E. Nielsen
Michael R. Rasmussen

December 2020

© Aalborg Universitet

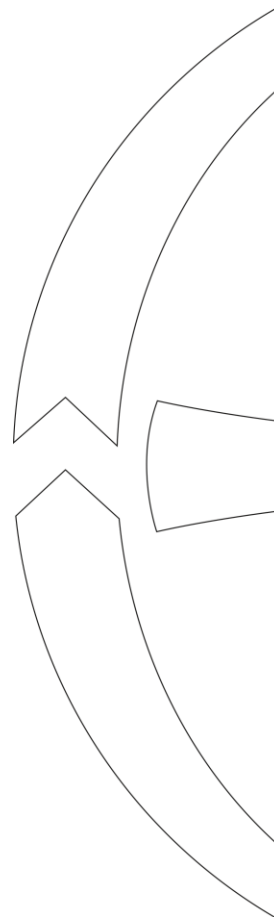


Citation for published version (APA):

Ahm, M.S., Jesuloganathan, Y. M., Rasch, P., Jensen, D. G., Nielsen, J. E. & Rasmussen, M. R. (2020), *Vejrradardata – tilpasset og klar til anvendelse for hele vandsektoren og deres kunder*. Department of Built Environment, Aalborg University. DCE Technical Report No. 297

Udgivet 2020 af
Aalborg Universitet
BUILD - Institut for Byggeri, By og Miljø
Thomas Manns Vej 23
DK-9220 Aalborg Ø, Danmark

ISSN 1901-726X
DCE Technical Report No. 297



Indholdsfortegnelse

1	Sammenfatning	6
2	English summary	7
3	Introduktion	8
4	Projektets betydning for vandbranchen	11
4.1	Marked og anvendelsesmuligheder	12
4.2	Næste skridt	13
4.3	Formidlingsplan	14
5	Projektet	15
5.1	Formål	15
5.2	Output	15
5.3	Projektresultater	16
5.4	Konklusion	18
5.5	Perspektiver og kommende VeVa aktiviteter	18
5.6	Acknowledgement	19
6	Litteraturliste	20
Bilag		
	Bilag 1: Vejrradar Processeringskæde	22
	Bilag 2: Kvalitetssikring og verifikation af processeringskæde samt anbefalinger	25
	Bilag 3: Implementering af processeringskæde og VeVa Web	30
	Bilag 4: Borgerrettet app (Envidan)	37
	Bilag 5: Forsyningsrettet app (InforMetrics)	40
	Bilag 6: Samling af VeVa behov og use cases	44
	Bilag 7: Ordbog for VeVa termologi (anvendelses orienteret)	48
	Bilag 8: Ordbog for VeVa termologi (radar orienteret)	50

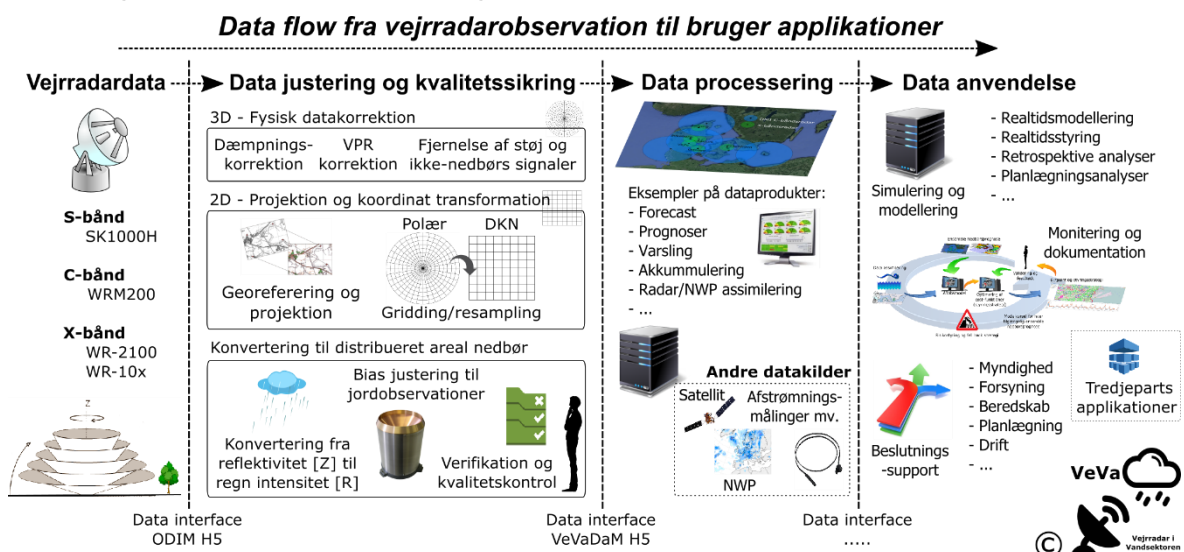
1 Sammenfatning

Danskerne taler meget om vejret - specielt regnen! Igennem det seneste årti har danskerne oplevet kraftige skybrud og langvarige regnhændelser, som har resulteret i oversvømmelser flere steder til stor gene. Både pga. kraftigere nedbørsintensiteter og større nedbørs volumen.

Teknologi og vidensniveau omkring brugen af vejrradardata i vandsektoren er moden til, at vi kan gøre disse unikke data anvendelige for hele vandsektoren og deres kunder så vi altid ved hvor og hvor meget, det har regnet - ikke kun i de punkter, hvor der i dag står regnmålere, men i alle punkter over hele Danmark.

Formålet med VUDP-projektet "Vejrradardata – tilpasset og klar til anvendelse for hele vandsektoren og deres kunder" er at omsætte VeVa Data Model ver. 1.00, til en operationel online processeringskæde med tre end-user applikationer; én målrettet til borgere (kunderne) og to målrettet til forsyningsbrugere.

Projektets hovedfokus har været udviklingen og operationaliseringen af en processeringskæde, som kan håndtere ODIM_h5 som input og VeVaDaM_h5 som output iht. VeVaDaM ver. 1.00 (anden kolonne, Figur 1), samt udvikling og implementering af den nødvendige dataprocessering (tredje kolonne, Figur 1), så de tre udviklede end-user applikationer kan køre på VeVa's infrastruktur. Operationaliseringen er sket i et online cloudmiljø for at sikre, at løsningen kan skaleres omkostningseffektivt i takt med en bredere anvendelse.



Figur 1: Illustration af overordnede data flow fra vejrradarobservation til applikationer i VeVa frameworket.

Målet med udviklingen og operationaliseringen har været at sikre nemmere adgang til data om nedbørens distribuerede (spatiotemporale) fordeling i en kvalitet, der umiddelbart kan anvendes og skabe værdi hos de fleste vandselskaber.

Projektet har nået sine mål. Der skal dog noteres, at dette er andet skridt på vejen til at gøre højopløselige nedbørsdata bredt tilgængelig og anvendt i vandsektoren. Første skridt var formulering af VeVaDaM, og tredje skridt var etableringen af *Foreningen VeVa* og dermed en fremadrettet governance struktur. Den grundlæggende infrastruktur er dermed på plads, og VeVa er klar til at tage de næste skridt mod at realisere VeVa's ambition (se afsnit 5.5).

Godt startet er halvt fuldendt...

2 English summary

The weather is a favorite conversational topic for Danes – especially rain! In the last decade, Danes have experienced more intense cloud burst and prolonged rainfall events (increased intensity and volume), which have resulted in flooding with extensive damages.

We have reached a point where the technology and knowledge are mature enough to make weather radar data widely available for the water sector and its customers. Hence, we are able to always know where and how much it has rained – not only in the locations where there are rain gauges today, but in all locations in Denmark.

The purpose of the VUDP-project “Weather radar data – adjusted and ready for use by the water sector and their customers” is to operationalize the VeVa Data Model (VeVaDaM) via an online data processing infrastructure and implement three end-user application; one customer orientated, and two utility orientated.

The focus of the project has been development and operationalization of a processing chain, which can handle ODIM_h5 as input and VeVaDaM_h5 as output in accordance with VeVaDaM ver. 1.00 (second column, Figure 2). Furthermore, developing and implementing the needed data processing (third column, Figure 2) for execution of the three developed end-user applications. The operationalization has been performed in an online cloud environment to ensure cost-effective scaling of the developed solution concurrently with its use.

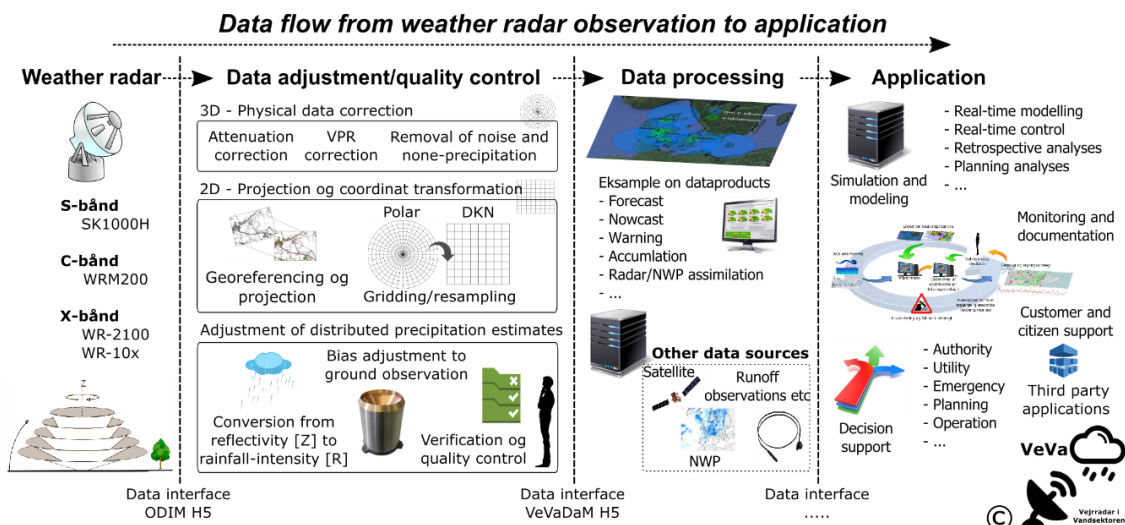


Figure 2: Illustration of the data flow in the VeVa framework from weather radar observation to applications.

The goal of the development and operationalization has been to ensure easier access to high-resolution spatiotemporal precipitation data in a quality which is directly applicable and productive for most water utility companies.

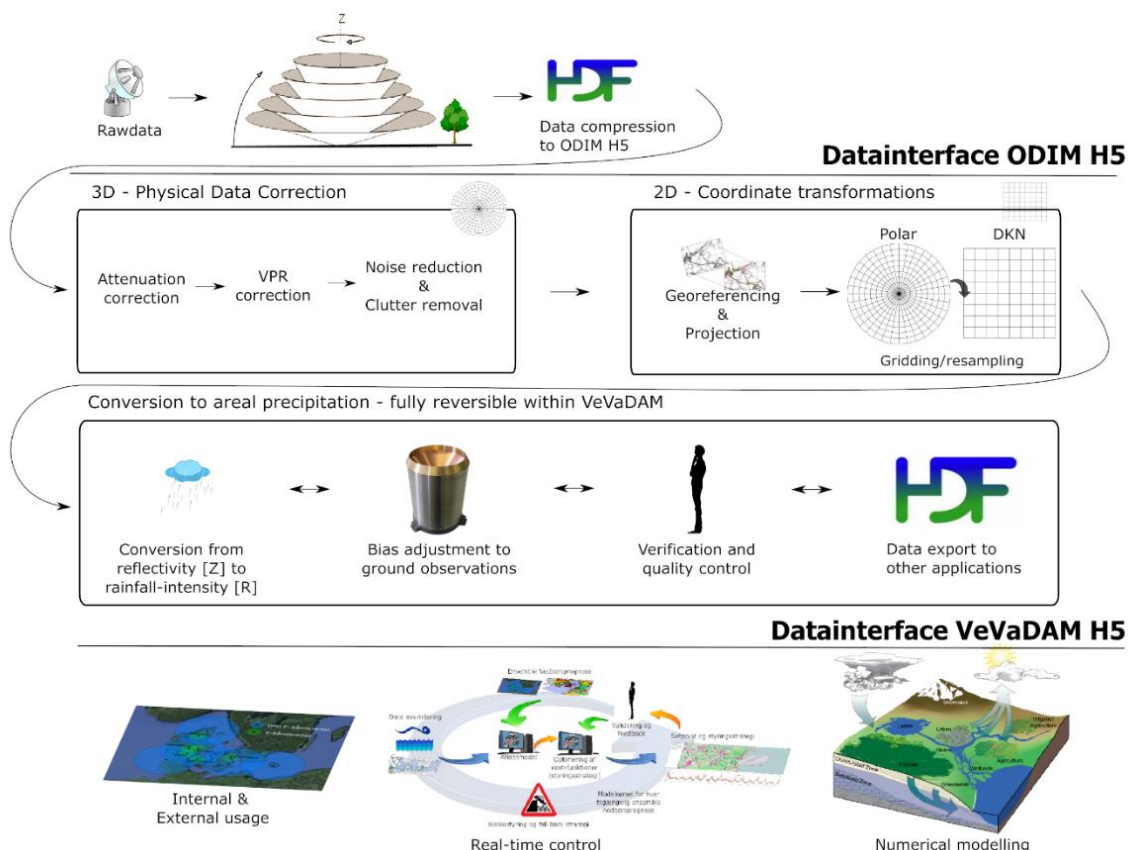
The project goals have been reached. It is important to note, that this project is the second step towards marking high-resolution precipitation data widely accessible and applied in the water sector. The first step was the definition of VeVaDaM, and the third step was the formation of *Foreningen VeVa* and thereby the forward governance structure. Hence, the fundamental infrastructure is established, and VeVa is ready to take the next steps towards actualizing VeVa’s ambitions (see section 5.5). **Well started is half complete...**

3 Introduktion

VUDP-projektet "Vejrradardata – tilpasset og klar til anvendelse for hele vandsektoren og deres kunder" tager udgangspunkt i **VeVa (Vejrradar i Vandsektoren)** samarbejdet, som blev etableret i sommeren 2016 af Aarhus Vand, Aalborg Forsyning, VandCenter Syd, BIO-FOS og HOFOR.

VeVa samarbejdet er baseret på en fælles hensigt om at gøre brugen af vejrradardata til hydrologiske og hydrauliske formål nemmere og mere gennemskuelige for "ikke vejrradar specialister" på tværs af vandsektoren. Gode og pålidelige nedbørsestimater fra vejrradarer skal være lige så tilgængelig som regnmålerdata er i dag. Databehandlingsprocessen fra polære estimater af nedbørens radar reflektivitet (dBZ) til korrigerede og justerede kartesiske estimater af nedbørsintensiteter (mm/h) skal være transparent med klare snitflader i en veldefineret datamodel (DM). Dette sikrer en øget tillid til og anvendelighed af vejrradardataene til hydrologiske og hydrauliske formål i vandsektoren.

I løbet af vinteren 2016/2017 udarbejdede VeVa samarbejdet VeVa Data Model (VeVaDaM ver. 1.00, <http://www.veva.dk/vevadam/>) i samarbejde med Aalborg Universitet, Envidan og InforMetics. VeVaDaM sætter rammen for dataprocesseringen fra ODIM-h5 (Michelson et al. 2019) til VeVaDaM-h5. Processen (data flow) er illustreret i Figur 3.



Figur 3: Illustration af et muligt data flow fra rå vejrradardata i et lokalt polært koordinatsystem til kvalitets-sikrede vejrradar i et standardiseret kartesisk koordinatsystem i VeVaDam-h5 format.

Formålet med VUDP-projektet "Vejrradardata – tilpasset og klar til anvendelse for hele vandsektoren og deres kunder" er at omsætte VeVaDaM til en operationel online processeringskæde med tre end-user applikationer; én målrettet borgere (kunderne) og to målrettet forsyningsbrugere.

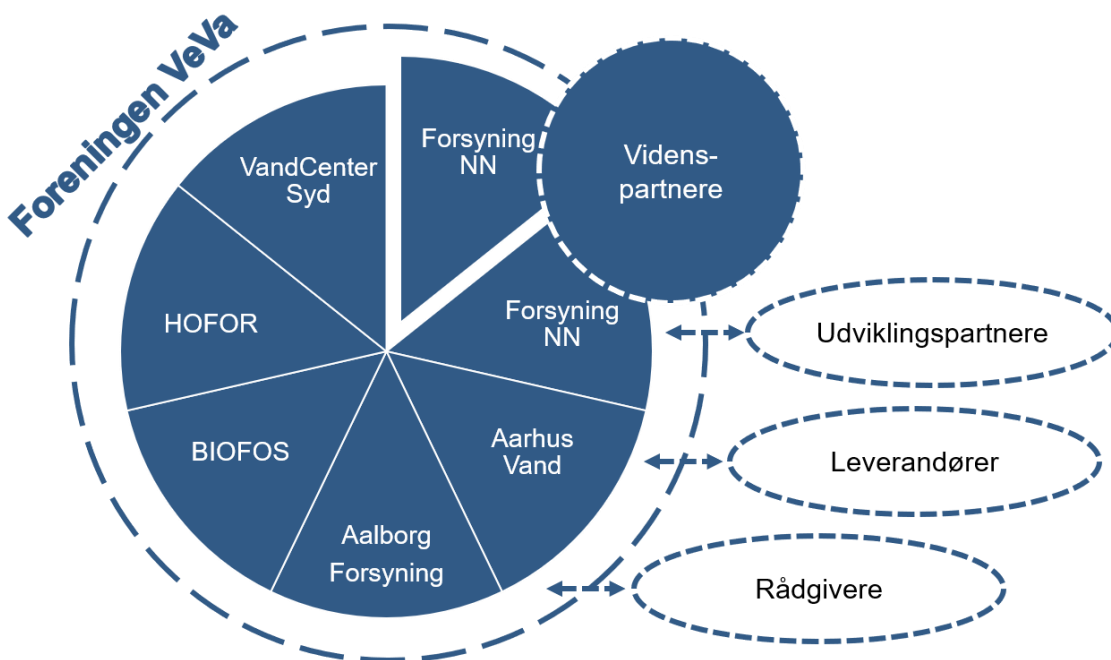
Den første forsyningsrettede applikation (VeVa Web) har til formål at give et simpelt overblik over tilgængelige data og deres kvalitet samt vise, hvordan de kan hentes og anvendes.

Den anden forsyningsrettede applikation har til formål at bringe vejrradardataene i anvendelse i sammenspil med andre observationsdata. F.eks. afstrømningsdata fra afløbssystem og vandløb mv. Desuden byder applikationen på avanceret nedbørsstatistik. Dette er et kommercielt produkt, som bygger oven på VeVa's infrastruktur, og udbydes af InforMetics.

Den borgerrettede applikation har til formål at give borgere mulighed for at slå op på given adresse og se, hvor meget det har regnet på et givet tidspunkt, og om der evt. har været skybrud. Dette er et kommercielt produkt, som bygger oven på VeVa's infrastruktur og udbydes af Envidan.

Teamet bag projektet består af de fem founder forsyninger af VeVa (Aarhus Vand, Aalborg Forsyning, VandCenter Syd, BIOFOS og HOFOR) samt Aalborg Universitet – BULD-Institut for Byggeri, By og Miljø (AAU), Danmarks Meteorologiske Institut (DMI), Envidan og InforMetics.

Partnernes roller i projektet er defineret med afsæt i VeVa foreningens partnerskabsmodel, som er illustreret i Figur 4. Ift. illustrationen og dette i projekt er AAU og DMI videnspartnere og Envidan og InforMetics er udviklingspartnere.



Figur 4: Illustration af partnerskabet i Foreningen VeVa vist sammen med relationerne til videnspartnere, udviklingspartnere, leverandører og rådgivere. Illustrationen er vist med de fem founder forsyninger af VeVa.

DMI's rolle er centreret omkring at være sparringspartner inden for meteorologisk anvendelse af vejrradardata og -processering. DMI agerer sparringspartner ift. udviklingen og anvendelsen af den operationelle processeringskæde ift. DMI's vejrradardata fra deres fem C-bånd vejrradar i Danmark. En central del af samarbejdet er også, at DMI og vandsektoren lærer hinanden at kende, så DMI's vejrradarprodukter og -services passer til vandsektorens behov. DMI's arbejde er centret omkring arbejdsopgave 1.

AAU's rolle er centreret omkring den hydrologiske og hydrauliske anvendelse af vejrradardata og -processering. Herunder anvendelse og kombinationen af data fra både C-bånd og X-bånd vejrradarer. AAU bidrager til projektets metodeudvikling og står for validering af

processeringskæden ift. VeVa frameworket. Aalborg Universitet vil desuden arbejde meto-
disk ift. hydrologiske og hydrauliske anvendelser af vejrradardata. AAU's arbejde er centret
omkring arbejdsplan 1 og 4, samt sparringspartner for arbejdsplan 2 og 3.

Envidan's rolle som udviklingspartner i projektet er centreret omkring udviklingen af proces-
seringskæden (arbejdsplan 1), og står for den centrale udvikling i projektet i samarbejde
med InforMetics. Metodeudviklingen og teknologimodningen sker i nært samarbejde med
AAU. Envidan samarbejder med InforMetics om den daglige projektledelse og -koordinering
af udviklingsarbejdet.

InforMetics rolle som udviklingspartner i projektet er centreret omkring operationaliseringen
af processeringskæden og udvikling af den online databehandling og -formatering (arbejds-
plan 2), og står for den centrale udvikling i projektet i nært samarbejde med Envidan.
Udviklingen af den online dataprocesseringsplatform (arbejdsplan 3) vil inkludere grund-
læggende dataanalyser. InforMetics samarbejder med EnviDan om den daglige projektle-
delse og -koordinering af udviklingsarbejdet.

De fem forsynings rolle i projektet er end-users, og de har dermed fokus på, hvordan det
udviklede bringes i anvendelse i vandsektoren, samt hvordan VeVa samarbejdet (nu For-
eningen VeVa) bliver udbredt til flere forsynings og dermed kommer hele vandsektoren til
gavn. Aarhus Vand, ved Malte Ahm, varetager den overordnede projektledelse og kontakt til
VUDP, samt etableringen af Foreningen VeVa.

Projektet er overordnet inddelt i fire arbejdsplaner med overordnede opgaver:

AP 1: Vejrradardata processing

- 1.01 3D til 2D
- 1.02 Filtrering
- 1.03 VPR-korrektion
- 1.04 Attenuation
- 1.05 Despeckle
- 1.06 Integration multi X-bånd
- 1.07 Integrering C og X bånd
- 1.08 Gridding (DK kvadratnet)
- 1.09 Hændelses identifikation
- 1.10 Summering
- 1.11 Justering til regnmålere
- 1.12 Justering til distrometre
- 1.13 Definerings af valideringsmeroder
- 1.14 Definerings af kvalitetsparametre
- 1.13 Validering af processeringskæde
- 1.14 Validering mod regnmålere
- 1.15 Validering mod andre radar

AP 2: Databehandling og -formatering

- 2.01 SCN -> VeVaDaM
- 2.02 ODIM-h5 -> VeVaDaM
- 2.03 VeVaDaM -> VeVaDaM
- 2.04 VeVaDaM[array] -> dfs0
- 2.05 VeVaDAM -> dfs2
- 2.06 VeVaDAM[array] -> dfs2
- 2.07 VeVaDaM -> png

AP 3: Operationelle tjenester

- 3.01 VeVaDAM -> Database
- 3.02 SVK-regnmålere -> Database
- 3.03 DMI open data -> Database
- 3.04 Input API til regnmålere
- 3.05 Input API til distrometre
- 3.06 Datatjeneste (filer I/O)
- 3.07 Radar data API
- 3.08 Data oparbejdning (SVK, X/C-bånd mv.)
- 3.09 VeVa applikation
- 3.10 InforMetics application
- 3.11 Envian application

AP 4: Anvendelse og udbredelse

- 4.1 AWS udviklings- og testmiljø
- 4.2 Fildelingstjeneste via AWS S3
- 4.3 Dokumentation (github / jupyter)
- 4.4 Samling af user-cases
- 4.5 Formidling
- 4.6 Projekt administration

4 Projektets betydning for vandbranchen

Gode og pålidelige estimater af nedbørens stedslige og tidslige fordeling er essentielt for vandsektorens digitalisering og daglige arbejde i forbindelse med drift, vedligeholdelse, sænning, udbygning og klimatilpasning af landets afløbssystemer, overfladeløsninger og renselanlæg. Langt de fleste prioriteringer for en moderne forsynings regn- og spildevandssystem er nedbørsrelaterede. Det må derfor erkendes, at der i dag træffes store samfundsøkonomiske beslutninger baseret på et ufuldkomment datagrundlag. Klassiske regnmålere giver kun et delvist billede af nedbørens fordeling, men er samtidig vigtige for at kunne justere vejrradardataene til vandsektorens anvendelser. Vejrradarer kan derfor ikke i sig selv erstatte regnmålere, men kombinationen af disse datakilder forøger værdien væsentligt.

Formålet med dette projekt er at opbygge et fundament i form af en dataprocesseringsinfrastruktur, som gør det muligt at accelerere anvendelsen af vejrradardata i vandsektoren til alle nedbørsrelaterede opgaver fra kundesupport til planlægning, dimensionering, klimatilpasning og styring.

Målet er, at dataprocesseringsinfrastrukturen er fleksibel og veldokumenteret, hvilket er med til at sikre et forsat samarbejde mellem forsynings, universiteter og rådgivere i vandsektoren, og dermed at nye og fremtidige ideer, metoder og anvendelser kan deles til glæde for alle. Vandsektoren vil være klar til at anvende DMI's frie vejrradar fra den dag de frigives.

Denne dataprocesseringsinfrastruktur vil fremadrettet være med til at sikre, at højopløselige og kvalitetssikrede nedbørsdata bringes bredt i anvendelse i vandsektoren, og dermed er med til at sikre et mere fuldkomment datagrundlag for de store samfundsøkonomiske beslutninger, som træffes i vandsektoren.

Online nedbørs- og skybrudsservices vil effektivisere arbejdet i forsyningerne, da de derved kan professionalisere og optimere deres kunde- og forretningssupport ift. nedbørsrelaterede problemer. Kunder, forsynings, myndigheder mv. vil herigennem få adgang til standardiserede og dokumenterede højopløselige nedbørsdata, så et evt. oprydningsarbejde hurtigt og nemt kan igangsættes uden at skulle debattere nedbørsmængder og ansvar.

Den online dataprocesseringsinfrastruktur er ved projektets afslutning overdraget til VeVa samarbejdet (Foreningen VeVa), som vil varetage den fremadrettede governance og videreudvikling. Samtænkningen af projekt og governance struktur via en dedikeret forsyningsdrevet forening er ny. Målet er, at denne nye struktur skal:

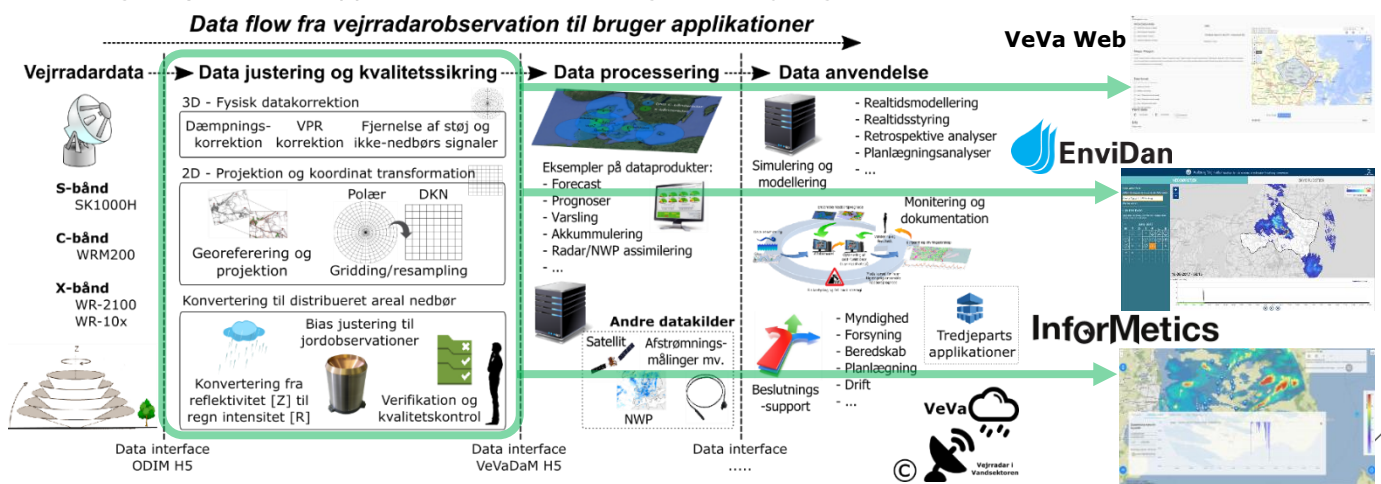
- a) Skabe en åben standard for vejrradardata til hydrologiske og hydrauliske applikationer med tilhørende kvalitetssikret og justeret vejrradardataformat, som kan anvendes uden vejrradar-ekspertviden.
- b) Skabe rammerne for et åbent økosystem med klart defineret datainterfaces og API'er for at opnå bedre sammenhæng mellem udviklede applikationer på tværs af udviklingspartnere, leverandører og rådgivere.
- c) Sikre en blivende governance, som videreudvikler og vedligeholder datamodeller, -formater og -processeringsinfrastruktur mv.
- d) Være videns- og erfaringsbank for brugen af vejrradardata til hydrologiske og hydrauliske formål i vandsektoren og facilitere et fagligt netværk for VeVa medlemmer.
- e) Være med til at drive forskning og udvikling i anvendelsen af vejrradardata.

Kort opsummeret; accelerere udbredelse og anvendelse af vejrradardata til alle nedbørsrelaterede opgaver fra kundesupport til planlægning, dimensionering, klimatilpasning og styring i vandsektoren.

4.1 Marked og anvendelsesmuligheder

Markedet for og anvendelsesmulighederne af den udviklede teknologi i dette projekt strækker sig fra drift, vedligeholdelse, sanering, udbygning samt klimatilpasning af landets afløbssystemer, overfladeløsninger til renseanlæg mv., da alle disse opgaver er nedbørsrelaterede. Nemt tilgængelige og kvalitetssikrede højopløselige vejrradardata er desuden et essentielt datagrundlag for vandsektorens digitalisering og effektivisering.

Det skal understreges, at dette projekt har haft til mål at udvikle og operationalisere en online dataprocesseringsinfrastruktur for vejrradardata til hydrologiske og hydrauliske anvendelse i vandsektoren. Derfor ikke at bringe dataene i bred anvendelse blandt forsyninger og rådgivende virksomheder inden for projektperioden, men at skabe fundamentet og infrastrukturen for, at det kan gøres efterfølgende. Figur 5 illustrerer data flowet fra rå vejrradardata til brugerapplikation. Dette projekt har koncentreret sig om anden kolonne (markeret med grønt) samt tre applikationer, som er bragt hele vejen gennem data flowet.



Figur 5: Illustration af det overordnede data flow fra vejrradarobservation til brugerapplikationer i VeVa frameworket vist samme med tre udviklede end-user applikationer.

Ved både at fokusere på opbygningen af fundamentet og lave en fokuseret demonstration af det fulde data flow for tre applikationer har projektets partnere opnået en unik viden om, hvordan Foreningen VeVa kan opnå sine mål, som defineret i afsnit 4. Denne unikke læring er essentielt for at kunne udbrede anvendelsen af VeVa til langt flere applikationer i vandsektoren både i nationalt og internationalt.

Parallelt med afslutningen af dette projekt er der allerede igangsat flere tiltag, som anvender VeVa's infrastruktur og videreudvikler den. Herunder er der nævnt fire centrale tiltag:

- Implementering af VeVa's infrastruktur hos VeVa forsyningerne via de 10 user-cases beskrevet i bilag 6 (2021).
- Integration af vejrradardata og IoT sensorer via Innovationsfondens Grand Solution DONUT (2018-2021).
- Anvendelse af vejrradardata til at forudsige og kortlægge overløb fra afløbssystemet via MUDP Fyrtårns projektet OVERLØB - Datadrevne løsninger til reduktion af miljøeffekter fra overløb (2021-2023).
- Udvidelse af VeVa's infrastruktur via VUDP-projektet RADIATE (2021-2024), hvor der er fokus på at 1) forbedre justeringen af vejrradardata via f.eks. crowdsourcet

nedbørsdata, 2) udvikling og operationalisere nye prognosemetoder samt forbedring af eksisterende ift. vandsektorens specifikke udfordringer og 3) kvantificering og implementering af måle- og prognoseusikkerhed, således de uundgåelige usikkerheder inkluderes i afledte forudsigelser af hydrologisk tilstand eller belastning og dermed beslutningsgrundlaget.

Centralt for tiltagene er, at de alle har til formål at bidrage til effektivisering, kvalitetsforbedringer, miljø- og klimaforbedring og forsyningssikkerhed for vandforsyningsselskaber.

Vandforsyningsselskaber kan f.eks. **effektivisere og professionalisere** deres kommunikationer med borgere (kunder) via en borgerrettet løsning (f.eks. bilag 4), som ved f.eks. lokale oversvømmelse og skybrudshændelser kan dokumentere nedbørsmængder på et kvalitetssikret og transparent datagrundlag. Dette reducerer responstiden og ressourceforbruget forbundet med kundehændelser omkring nedbør signifikant samtidig med, at der tilføres en væsentlig kvalitetsforbedring til kundeoplevelsen via ensretning, tilgængelighed og transparens.

Effektiviseringen og professionaliseringen er ikke afgrænset til kundehenvendelser. Via de forsyningsrettede løsninger (f.eks. bilag 2 og 5) automatiseres og ensrettes databehandlingen af nedbørsdatene, så forsyninger, myndigheder og rådgivere ikke skal bruge ressourcer på specialiserede og omkostningstunge databehandlinger. Samtidig sikres det, at alle parter arbejder ud fra det samme datagrundlag, hvorved der sikres en større konsistens i beslutningsgrundlagene. Nøjagtig viden om nedbørs spatiotemporale variation kan anvendes bredt til f.eks. kvantificering af uvedkommende vand, vedligehold af filtre og pumper, kvalitetssikring af sensorer og hydrologiske modeller, tørvejrprognoser til vedligehold, samt varsling i ekstreme situationer. Alle disse eksempler bidrager til væsentlige **kvalitetsforbedringer** af vandforsyningsselskabernes arbejdsområder og -opgaver.

Kvalitetsforbedringerne rækker også ind i, at forsyningerne vil få nemmere ved at dokumentere den hydrauliske og hydrologiske funktionalitet af eksisterende og ny infrastruktur, herunder **miljøforbedringstiltag og klimatilpasningstiltag**. Forsyningerne vil med de forsyningsrettede applikationer (f.eks. bilag 2 og 5) få standardiseret adgang til kvalitetsdata, avanceret visualisering, statistik og dataeksport funktionalitet til f.eks. modellering og realtidsstyring, hvilket giver **kvalitetsforbedringer** indenfor planlægning, vedligehold og drift i nært samspil med deres rådgivere.

Ved at kombinere højopløselige nedbørsdata med afstrømningsdata fra afløbssystemet og recipienter kan der opnås mere præcise prognoser af afstrømningsresponsen på kommende nedbør. Dette giver mulighed for væsentlige **miljø- og klimaforbedringer**, da systemernes kapacitetsudnyttelse kan øges samtidig med, at evt. miljøbelastning kan mindskes. Desuden kan forholdet mellem nedbør og afstrømning i systemerne bruges til at detektere fejl på pumper og tilstoppede filtre i god tid og under mindre hændelser så overløb undgås på de store hændelser. Ved uundgåelige hændelser kan det operationelle personale varsles proaktivt, og derved reagere i god tid for at minimere evt. skader og miljøforureninger. **Forsyningssikkerheden** kan derved øges væsentlig ved at gå fra at være reaktive til proaktive.

4.2 Næste skridt

Projektet er bevidst forankret i VeVa samarbejdet, som i 2020 er blevet formaliseret i form af **Foreningen VeVa**, for at sikre implementering og videreudvikling. Formålet med formaliseringen via en forening er at åbne samarbejdet op, så alle vand- og spildevandsforsyningsselskaber i Danmark kan blive medlemmer, samt etablere et framework for, hvordan VeVa kan indgå i partnerskaber med videnspartnere, udviklingspartnere, leverandører og rådgivere. Kravet er dog, at medlemmer og partnere allerede anvender eller vil anvende vejrradardata og vil deltage i den videre udvikling af anvendelsen af vejrradardata til gavn for vandsektoren.

Det er foreningens formål at **formidle vejrdata til medlemmerne** i en kvalitet og form, som kan skabe et så optimalt grundlag som muligt for medlemmernes kortsigtede og langsigtede drifts- og investeringsbeslutninger i medlemmernes hovedvirksomhed. Foreningen skal sikre, at vejrdataene er tilgængelige for medlemmerne via online applikationer.

Foreningen skal **vedligeholde og videreudvikle den software, de datamodeller og algoritmer mv.**, som foreningen ved stiftelsen har fået overdraget fra stifterne af foreningen. Foreningen kan endvidere udvikle nye applikationer og skal i givet fald stille disse til rådighed for medlemmerne som en del af medlemskabet og kontingentbetalingen.

Foreningen er en ikke-erhvervsdrivende forening, og foreningens økonomi skal **hvile i sig selv**, således at foreningens udgifter dækkes af medlemmernes kontingentbetalinger. En del af foreningens indtægter i form af kontingentindbetalinger skal **anvendes til forskning og (videre)udvikling af datamodeller, algoritmer og applikationer mv. med henblik på at optimere den service og platform**, som foreningen skal tilbyde medlemmerne.

Foreningen **udøver ikke erhvervsmæssig virksomhed** og kan ikke sælge eller stille ydelser og services til rådighed for andre end sine medlemmer.

I 2021 vil Foreningen VeVa starte aktiv formidling af sit budskab og løsninger med henblik på at udvide antallet af medlemsforsyninger, samt arbejde aktivt ind i de usecases, som er defineret i bilag 6.

Foreningen VeVa's mål er, at 1) 50% af de danske vandforsyningsselskaber, som håndterer regn- og spildevand, er medlem af Foreningen VeVa i 2025, 2) Danske rådgivere understøtter og kan hjælpe deres forsyningskunder med at anvende VeVa og kan udvikle 3. parts applikationer/løsninger samt 3) VeVa's infrastruktur anvendes international evt. i samarbejde med kommercielle partnere. Sidstnævnte vil blive afsøgt nærmere i løbet af 2021 og 2022.

Foreningen VeVa har primo 2021 startet projektet, RADIATE – Radarprognoser til vandsektoren, hvis formål er at gøre vejrradarbaserede nedbørsprognoser anvendelige og let tilgængelige for hele vandsektoren. RADIATE bygger videre på VeVa's infrastruktur, og gennemføres i tæt samarbejde med vandselskaber, rådgivere og Aalborg Universitet.

Foreningen VeVa's vedtægter og den udviklede infrastruktur er udformet således, at der kan bygges kommercielle løsninger oven på denne platform. I 2021 og 2022 vil foreningens og dens medlemmer se nærmere på forretningsgørelse og eksport af konceptet. I første omgang vil der være fokus på samarbejde og udbredelse til vores nærmeste naboer, f.eks. Sverige, som har udvist interesse i teknologien og VeVa konceptet.

4.3 Formidlingsplan

I 2020 har der været planlagt flere arrangementer, workshops og konference, hvor resultaterne fra projektet skulle formidles. Desværre har COVID-19 situationen forhindret mange af disse formidlingstiltag. Dette vil blive genoptaget, når det igen er muligt.

Formidlingen af projektets resultater vil fremadrettet være en integreret del af Foreningen VeVa's virke, samt indgå i formidlingen af RADIATE projektet. Der vil blive formidlet både i faglige danske netværk og i internationale tidsskrifter.

5 Projektet

VUDP-projektet "Vejrradardata – tilpasset og klar til anvendelse for hele vandsektoren og deres kunder" har forløbet fra 1/11-2018 til 4/12-2020, og haft et samlet totalt budget på 2,5 mio. Parallelt har parterne investeret ca. 2,5 mio. i forudgående og yderligere udvikling samt etableringen af Foreningen VeVa.

5.1 Formål

Formålet med VUDP-projektet "Vejrradardata – tilpasset og klar til anvendelse for hele vandsektoren og deres kunder" er at omsætte VeVa Data Model (VeVaDaM) til en operationel online processeringskæde med tre end-user applikationer; én målrettet borgere (kunderne) og to målrettet forsyningsbrugere, som beskrevet nærmere i introduktionen til rapporten.

Projektets fokus er at opbygge et fundament i form af en dataprocesseringsinfrastruktur, som gør det muligt at accelerere anvendelsen af vejrradardata i vandsektoren til alle nedbørsrelaterede opgaver fra kundesupport til planlægning, dimensionering, klimatilpasning og styring. Vejrradarer skal kunne indgå i det daglige arbejde med samme enkelthed som regnmålere allerede gør det i dag.

Målet er, at dataprocesseringsinfrastrukturen er fleksibel og veldokumenteret, hvilket er med til at sikre et forsat samarbejde mellem forsynings, universiteter og rådgivere i vandsektoren, og dermed at nye og fremtidige ideer, metoder og anvendelser kan deles til glæde for alle. Vandsektoren vil være klar til at anvende DMI's frie vejrradar fra den dag, de frigives.

Det skal understreges, at dette projekt har haft til mål at udvikle og operationalisere en online dataprocesseringsinfrastruktur for vejrradardata til hydrologiske og hydrauliske anvendelse i vandsektoren.

5.2 Output

Ved udgangen af projektet er det muligt at demonstrere online nedbørs- og skybrudsservices baseret på enten egne X-bånd vejrradardata, DMI's C-bånd vejrradardata eller en kombination af dataene ved alle deltagende forsynings. Disse kundeservices er baseret på den nyudviklede dataprocesseringskæde, hvor vejrradardata processeres, kvalitetssikres og justeres til jordobservationer, så de derved kan anvendes bredt til vandsektorens behov. Vejrradarer skal kunne indgå i det daglige arbejde med samme enkelthed som regnmålere allerede gør det i dag.

Overordnet skal projektet sikre nemmere adgang til distribueret nedbør i en kvalitet, der umiddelbart kan anvendes og skabe værdi hos de fleste vandselskaber. Dette er sikret gennem følgende metoder/værktøjer:

- En processerings "opskrift" med tilhørende software, som kan anvendes til at opnå høj kvalitets distribuerede nedbørsdata baseret på vejrradardata.
- En online processeringskæde omkring VeVaDaM, som gør det nemt at anvende.
- Tre eksempler på nedbørstjenester; en borgerrettet skybruds-/nedbørsportal og to forsyningsrettede tjenester.

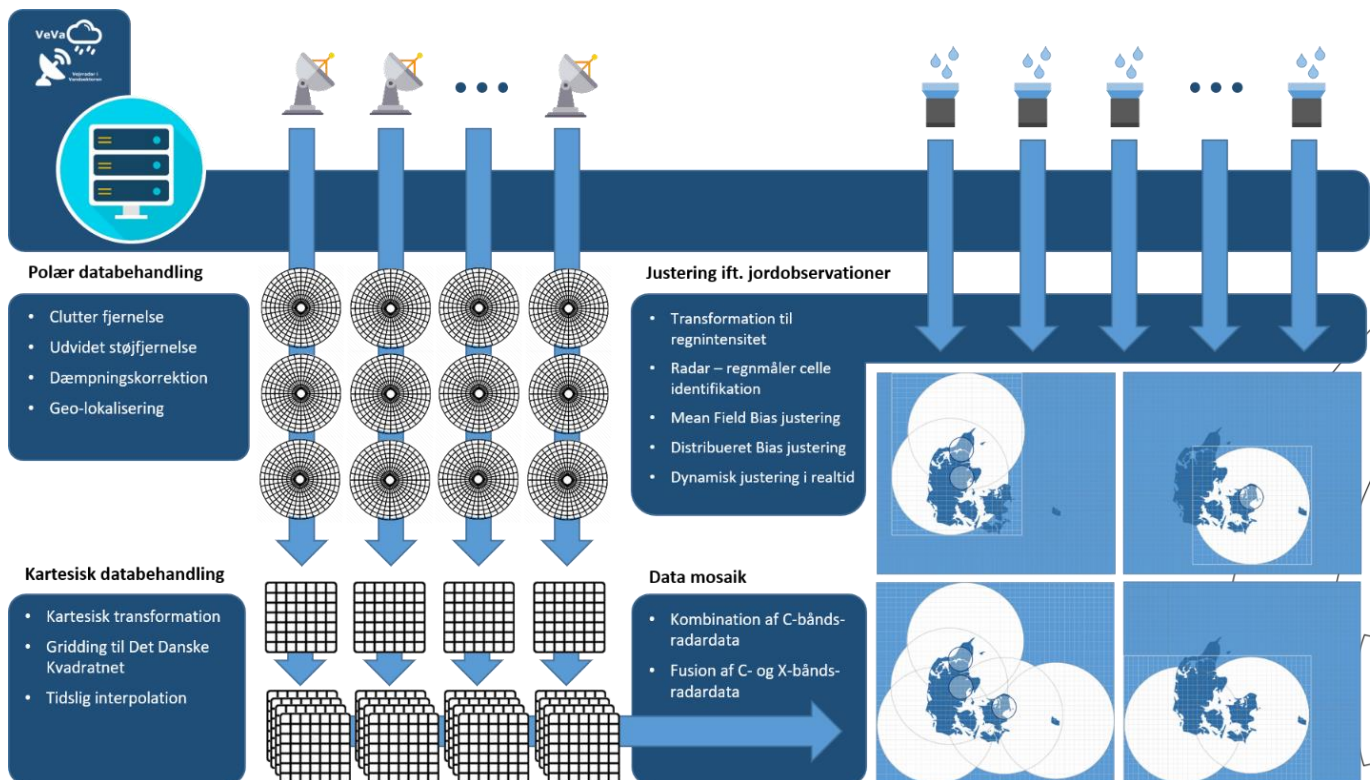
Disse metoder/værktøjer er nærmere beskrevet i afsnit 5.3 og de vedlagte bilag.

5.3 Projektresultater

Projektet har overordnet været inddelt i fire arbejdsplaner; 1) Vejrradardata processing, 2) Databehandling og -formatering, 3) Operationelle tjenester og 4) Anvendelse og udbredelse. Arbejdsplanernes overordnede opgaver er listet i rapportens introduktion. Dette afsnit vil kort beskrive formålet med hver arbejdsplan samt beskrive projektets resultatet i relation til disse. En mere detaljeret beskrivelse af projektets resultater kan findes i bilag 1 til 6.

Arbejdsplan 1: Vejrradardata processing dækker over arbejdet med at behandle de rå radardata til brugbare nedbørsestimater i vandsektoren. Processingen indebærer støj fjernelse, korrektioner pga. dæmpning af signal og måling gradvist højere i atmosfæren, kompositgenerering mellem de forskellige typer radarer og gridding samt justering af målingerne mod jordobservationer.

Bilag 1 (Vejrradar Processeringskæde) beskriver processeringskæden som er opbygget gennem dette projekt, og er konceptuelt illustreret på Figur 6. Figuren viser data flowet gennem de fire overordnede trin i processeringskæden fra rå polære vejrradardata i ODIM_h5 format til justerede og kvalitetssikrede kartesisk data i VeVaDaM_h5 format iht. Det Danske Kvadratnet (DST, 2019).



Figur 6: Processing af vejrradar data i VeVa – Konceptuel oversigt over de fire overordnede elementer.

Bilag 2 (Kvalitetssikring og verifikation af processeringskæde samt anbefalinger) beskriver, hvordan processeringskæden er kvalitetssikret og verificeret. Desuden indeholder bilaget anbefalinger til den videre proces for VeVa ift. at sikre og højne kvaliteten af nedbørsdataene yderligere. Erfaringerne og anbefalingerne er et centralt input til VeVa's fremadrettede arbejde. Herunder, VUDP-projektet RADIATE. Desuden må det forventes, at dele af dataprocesseringskæden skal finjusteres for hver enkelte radar, og at dette skal evalueres årligt.

Det er vigtigt at understrege her, at dette projekt har haft til mål at udvikle og operationalisere dataprocesseringskæden, så den kan afvikles og skaleres i et online cloudmiljø. Igen gennem projektet er der opsamlet mange nye og vigtige erfaringer, som fremadrettet skal bruges til at forbedre og optimere processeringskæden og VeVa's infrastruktur. Det gør, at de danske forsyninger og vandteknologi-virksomheder står stærkere i fremtiden.

Arbejdsopgave 2: *Databehandling og -formatering* indeholder processering, formatering og datahåndtering. Dette er en del af systemets backend, hvor den udviklede processeringskæde fra arbejdsopgave 1 bruges til at behandle dataene og formatering af disse til ønskede dataformater. Derudover klargøres data til indlæsning i en databasestruktur, som skal bruges i de operationelle tjenester.

Den udviklede databehandling og -formatering er beskrevet nærmere i bilag 3 (Implementering af processeringskæde og VeVa Web), herunder datafiler, databaser, web-api, funktioner til processering, web-applikation og git-hub kode-repository.

Arbejdsopgave 3: *Operationelle tjenester* indeholder den sidste del af systemets backend (database mv.), hvor de processerede data opbevares. I arbejdsopgave 3 udvikles ligeledes et API til radardataene, så forsyninger, rådgivere og andre kan tilgå og hente data. Dette foregår gennem en webvisning, som skal sikre en intuitiv og let tilgængelig adgang. Yderligere implementeres de tre end-user applikationer; én målrettet borgere (kunderne) og to målrettet forsyningsbrugere.

Bilag 3 (Implementering af processeringskæde og VeVa Web) beskriver den første forsyningsrettede applikation (VeVa Web), som har til formål at give et simpelt overblik over tilgængelige data og deres kvalitet, samt hvordan de kan hentes og anvendes.

Bilag 4 (Borgerrettet app) beskriver den borgerrettede applikation, som har til formål at give borgere mulighed for at slå op på given adresse og se, hvor meget det har regnet på et givet tidspunkt, og om der evt. har været skybrud.

Bilag 5 (Forsyningsrettet app) beskriver den anden forsyningsrettede applikation, som har til formål at bringe vejrradardataene i anvendelse i sammenspil med andre observationsdata. F.eks. afstrømningsdata fra afløbssystem og vandløb mv. Desuden byder applikationen på specielle analyser, nedbørsstatistik samt avanceret dataudtrækning.

Arbejdsopgave 4: *Anvendelse og udbredelse* er den sidste arbejdsopgave. Formidlingen foregår løbende gennem projektet og efterfølgende via følgegruppe, konferencer, artikler samt mundtlig overlevering og demonstration af systemer. Desuden opsættes der et fælles udviklingsmiljø, så der nemmere kan arbejdes med programmering på tværs af partnerorganisationerne. Det fælles udviklingsmiljø er med til at sikre bedre beregningskapacitet, grundlag for samarbejde og nemmere opskalering efter projektet.

Bilag 6 (Samling af VeVa behov og use cases) beskriver de overordnede behov og anvendelser, som VeVa arbejder på at afdække for vandsektoren. Desuden beskriver bilaget, hvordan de forskellige tilgængelige nedbørsdata kilder kan anvendes og kombineres ift. behov og anvendelser. I VeVa-VUDP-projekter er der arbejdet ud fra et antal user-cases, som også er listet i bilaget. Disse user-cases vil VeVa forsyningerne arbejdere videre med i 2021.

Formidlingen har været udfordret af COVID-19 situationen i 2020, som beskrevet i afsnit 4.3. Et godt fundament for formidlingen og udbredelsen af VeVa i vandsektoren er en konsistent terminologi. Derfor arbejder parterne løbende på opbygning af to ordbøger (VeVa terminologi), henholdsvis én anvendelses orienteret (bilag 7) og en radar orienteret (bilag 8).

5.4 Konklusion

Projektet har nået sine mål. Gennem projektet er der etableret en operationel online dataprocesseringskæde og it-infrastruktur, som er klar til anvendelse og skalering. Dette er et fantastisk godt fundament og vigtigt skridt på vejen til at gøre højopløselige nedbørsdata bredt tilgængelige og anvendt i vandsektoren.

Via dette projekt har parterne operationaliseret og implementere VeVa's data model i et online cloudmiljø, hvor den nyudviklede dataprocesseringskæde nemt kan afvikles i realtid og skaleres til vandsektoren behov og anvendelser. Dataprocesseringskæden er dokumenteret, testet og verificeret af Aalborg Universitet, og der er udarbejdet anbefalinger til den videre finpudsning af VeVa processerings- og datainfrastruktur. Baseret på den nyudviklede dataprocesseringsinfrastruktur er der lavet tre operationelle nedbørstjenester.

5.5 Perspektiver og kommende VeVa aktiviteter

VeVa grundlæggernes ambition er; *"at gøre højopløselige nedbørsdata bredt tilgængelig og anvendt i vandsektoren"*. Udviklingen og udbredelsen slutter derfor ikke med dette projekt.

Over de foregående år har VeVa forbedret grundlaget for at realisere ambitionen (via de første tre skridt), og er nu klar til at accelerere udbredelsen og anvendelsen af VeVa's infrastruktur. Herunder er de første otte skridt på VeVa's rejse listet. Det skal noteres, at disse skridt ikke er sekventiel men nærmere overlappende og tildeles parallelle:

Gennemførte skridt:

1. Etablering af indledende VeVa samarbejde samt definering af VeVa frameworket og den første version af VeVa's data model.
2. Operationalisering af VeVa's data model i et online og skalerbart cloud miljø, samt implementering af de første operationelle nedbørstjenester baseret på VeVa's dataprocesseringsinfrastruktur.
3. Formaliseringen af VeVa samarbejdet ved at etablere Foreningen VeVa, som fremadrettet skal sikre vedvarende governance og videreudvikling for at nå ambitionen.

Kommende skridt:

4. Finpudsning og optimering af det udviklede i VeVa-VUDP-projektet.
5. Onboarding af nye medlemmer samt konsolidere governance- og foreningsstruktur.
6. Bredere demonstration af anvendelsen af vejrradardata samt etablering af skandinaviske samarbejder på tværs af de nationale grænser.
7. Udvikling og operationalisering af radarbaserede nedbørsprognoser målrettet vandsektoren via VUDP-projektet, RADIATE, løbende fra 2021 til 2023, samt Ph.D. projekt.
8. Finpudsning og optimering af det udviklede i RADIATE-VUDP-projektet.

Udviklingen slutter ikke her, da der er mange fremtidige potentialer for både at forbedre nedbørsobservationer via kombination af flere typer datakilder samt udbrede anvendelsen af højopløselige spatiotemporale nedbørsdata i vandsektoren og andre sektorer.

5.6 Acknowledgement

Forfatterne vil benytte lejligheden til en taksigelse til alle, som har hjulpet VeVa på vej, heriblandt nedenstående, som har spillet en særlig bidragende rolle til etableringen af VeVa.

Ideen til VeVa blev skabt af Michael R. Rasmussen¹, Malte Skovby Ahm² og Claus Møller Pedersen² i starten af 2016. Fagspecialisterne; Lene Bassø Duus², Annette Brink-Kjær³, Carsten Thirsing⁴, Ane Loft Møllerup⁵ og Mette Godsk Nicolajsen⁶ samt ledelsen; Lars Schrøder², Gerda Hald³, Mads Leth³, Dines Thornberg⁴, John Buur Christiansen⁴, Susanne Skov-Mikkelsen⁵, Ole Fritz Adeler⁵, Morten Steen Sørensen⁶, Bo Laden⁶ i de fem VeVa founder forsyninger tilsluttede sig hurtigt med stor opbakning og interesse, hvorefter VeVa samarbejdet var skabt.

Forskningsgruppen Byens Vand på Aalborg Universitet ved forskningsleder Michael R. Rasmussen¹, Jesper Ellerbæk Nielsen¹ og Søren Thorndahl¹ har fra VeVa's spæde start bakket op med faglig og videnskabelig sparring omkring vejrradarområdet og om anvendelsen af vejrdata inden for vandsektoren.

Udviklings- og samarbejdspartnere ift. VeVaDaM og VUDP-VeVa projektet har været uundværlig for etableringen af VeVa. Her skal der gå en særlig tak til Ole Munk Nielsen⁷, Mads Uggerby⁷, David G. Jensen⁷, Erik Østergaard Madsen⁸, Peter S. Rasch^{8/9}, Thomas Bøvith¹⁰, Rashpal Gill¹⁰, Kim Sarup¹⁰, Niels Einar Jensen¹¹ og Freddie Hansen¹¹ for deres opbakning og samarbejde. Under gennemførelsen af VUDP-VeVa har flere fagspecialister sluttet sig til, som også skal have en tak; Yansi Mary Jesuloganathan², Mathias Schandorff Kristensen², Agnethe Nedergaard Pedersen³, Anders Breinholt⁵, Thor Danielsen⁵, Margit Lund Christensen⁵, Charlotte Plum⁸, Lasse Børresen⁸, Helle Vittinghus⁸ for deres opbakning og bidrag.

Etableringen af Foreningen VeVa blev anført af Malte Skovby Ahm¹ og Claus Møller Pedersen¹ i nært samarbejde med direktionserne i founder forsyningernes og VeVa's første bestyrelse; Ole Neerup-Jensen⁶, Karina Topp², Gerda Hald³, Dan Fredskov⁴, Anja Collin Højen⁵ samt med sparring om forretnings- og foreningsstruktur fra Ole Larsen¹² og Frank Brodersen¹.

Forfatterne vil afslutningsvis gerne takke VUDP, Vandsektorens Udviklings- og Demonstrationsprogram og projektpartner for støtten, som har accelereret udviklingen VeVa's infrastruktur, løsninger og etableringen af Foreningen.

¹ Aalborg Universitet, institut for byggeri, anlæg og det byggede miljø, ² Aarhus Vand A/S, ³ VandCenter Syd A/S, ⁴ BIOFOS A/S, ⁵ HOFOR A/S, ⁶ Aalborg Forsyning A/S, ⁷ EnviDan A/S, ⁸ InforMetics ApS, ⁹ Dryp ApS, ¹⁰ Danmarks Meteorologiske Institut, ¹¹ FURUNO Danmark A/S, ¹² Call Copenhagen.

Figur 7: Kick-off møde til VUDP-VeVa projektet den 8/11-2018.



6 Litteraturliste

Danmarks Statistik (2019). Det Danske Kvadratnet. Lokaliseret d. 28. januar 2020 på <https://www.dst.dk/ext/4890769105/0/kundecenter/Information-om-det-danske-kvadrat-net--pdf>

Michelson, D. B., Lewandowski, R., Szewczykowski, M., & Beekhuis, H. (2019). EUMETNET OPERA weather radar information model for implementation with the HDF5 file format, Version 2.3. EUMETNET OPERA.

Nielsen, J. E., Thorndahl, S., Rasmussen, M. R. (2014) A Numerical Method to Generate High Temporal Resolution Precipitation Time Series by Combining Weather Radar Measurements with a Nowcast Model. *Atmospheric Research*, 138(1) p. 1-12. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.10.015>

Andre relevante rapporter fra forsknings- og udviklingsprojekter

Ahm, M. (2017) Ph.D. Thesis: Adjustment of rainfall estimates from weather radars using in-situ stormwater drainage sensors, Department of Civil Engineering, Aalborg University.

Jensen, D. G. (2015) Ph.D. Thesis: Combining weather radar nowcasts and numerical weather prediction models to estimate short-term quantitative precipitation and uncertainty, Department of Civil Engineering, Aalborg University.

Nielsen, J. E. (2013) Ph.D. Thesis: Combining C- and X-band weather radars for improving precipitation estimates over urban areas, DCE Thesis, 53, Department of Civil Engineering, Aalborg University.

Nielsen, J. E., Thorndahl, S., Rasmussen, M. R. (2016) Sammenligning af disdrometerobservationer og Spildevandskomiteens regnmålersystem, DCE Technical Report, 200, Department of Civil Engineering, Aalborg University, Denmark.

Rasmussen, M. R., Thorndahl, S., Grum, M., Neve, S., Borup, M. (2008) Vejrradarbaseret styring af spildevandsanlæg, København.

Thorndahl, S., Rasmussen, M. R., Neve, S., Poulsen, T. S., Grum, M. (2010) Vejrradarbaseret styring af spildevandsanlæg II, DCE Technical Report, 95, Department of Civil Engineering, Aalborg University, Denmark.

Andre relevante artikler i internationale peer-reviewed tidsskrifter

Ahm, M., Rasmussen, M. R. (2017) Weather Radar Adjustment Using Runoff from Urban Surfaces, *Journal of Hydrologic Engineering*, 22(5), DOI: [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001299](http://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001299)

Berne, A., Delrieu, G., Creutin, J.-D., Obléd, C. (2004) Temporal and spatial resolution of rainfall measurements required for urban hydrology. *Journal of Hydrology*, 299(3-4), 166-179. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.002>

Borup, M., Grum, M., Linde, J. J. & Mikkelsen, P. S. (2016): Dynamic gauge adjustment of high-resolution X-band radar data for convective rainstorm: Model based evaluation against measured combined sewer overflow. *Journal of hydrology*, 539, 687-699. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.002>

Einfalt, T., Arnbjerg-Nielsen, K., Golz, C., Jensen, N.-E., Quirmbach, M., Vaes, G., Vieux, B. (2004) Towards a roadmap for use of radar rainfall data in urban drainage. *Journal of Hydrology*, 299(3-4), 186-202. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.004>

Jensen, D. G., Petersen, C., Rasmussen, M. R. (2015) Assimilation of radar-based nowcast into HIRLAM NWP model. *Meteorological Applications*, 22(3), p. 485-494. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/met.1479>

Löwe, R., Thorndahl, S., Mikkelsen, P. S., Rasmussen, M. R., Madsen, H. (2014) Probabilistic online runoff forecasting for urban catchments using inputs from rain gauges as well as statically and dynamically adjusted weather radar. *Journal of Hydrology*, 512(1), p. 397-407. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.027>

Löwe, R., Mikkelsen, P. S., Rasmussen, M. R., Madsen, H. (2013) State-space adjustment of radar rainfall and skill score evaluation of stochastic volume forecasts in urban drainage systems. *Water Science and Technology*, 68(3), 2013, p. 584-590. DOI: <http://doi.org/10.2166/wst.2013.284>

Marshall, J.S. and Palmer, W.M. (1948) The distribution of raindrops with size. *Journal of meteorology*, 5, 165-166. DOI: [http://doi.org/10.1175/1520-0469\(1948\)005<0165:TDORWS>2.0.CO;2](http://doi.org/10.1175/1520-0469(1948)005<0165:TDORWS>2.0.CO;2)

Nielsen, J. E., Beven, K., Rasmussen, M. R. (2015) GLUE Based Marine X-Band Weather Radar Data Calibration and Uncertainty Estimation. *Urban Water Journal*, 12(4), p. 283-294. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/1573062X.2013.871044>

Nielsen, J. E., Thorndahl, S., Rasmussen, M. R. (2014) Improving Weather Radar Precipitation Estimates by Combining two Types of Radars. *Atmospheric Research*, 139(1), p. 36-45. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.12.013>

Nielsen, J. E., Jensen, N. E., Rasmussen, M. R. (2013) Calibrating LAWR Weather Radar using Laser Disdrometers. *Atmospheric Research*, 122, p. 165-173. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.10.017>

Nielsen, J. E., Thorndahl, S., Rasmussen, M. R. (2013) Development of Method for X-band Weather Radar Calibration. *Journal of Hydroinformatics*, 15(4), p. 1326-1339. DOI: <http://doi.org/10.2166/hydro.2013.126>

Schilling, W. (1991) Rainfall data for urban hydrology: what do we need? *Atmospheric Research*, 27(1-3), 5-21. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0169-8095\(91\)90003-F](http://dx.doi.org/10.1016/0169-8095(91)90003-F)

Thorndahl, S., Einfalt, T., Willems, P., Nielsen, J. E., Ten Veldhuis, M.-C., Arnbjerg-Nielsen, K., Rasmussen, M. R., and Molnar, P. (2017) Weather radar rainfall data in urban hydrology, *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(3), 1359-1380, DOI: <http://doi.org/10.5194/hess-21-1359-2017>

Thorndahl, S., Nielsen, J. E., Jensen, D. G. (2016) Urban pluvial flood prediction: a case study evaluating radar rainfall nowcasts and numerical weather prediction models as model inputs, *Water Science and Technology*, 74(11), p. 2599-2610. DOI: <http://doi.org/10.2166/wst.2016.474>

Thorndahl, S., Smith, J. A., Baeck, M. L., Krajewski, W. F. (2014) Analyses of the temporal and spatial structures of heavy rainfall from a catalog of high-resolution radar rainfall fields. *Atmospheric Research*, 144(1), p. 111-125. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.03.013>

Thorndahl, S., Rasmussen, Michael R. (2013) Short-Term Forecasting of Urban Storm Water Runoff in Real-Time using Extrapolated Radar Rainfall Data. *Journal of Hydroinformatics*, 15(3), p. 897-912. DOI: <http://doi.org/10.2166/hydro.2013.161>

Thorndahl, S., Rasmussen, M. R. (2012) Marine X-band Weather Radar Data Calibration. *Atmospheric Research*, 103, p. 33-44. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.04.023>

Andre relevante bøger

Rinehart, R. E. (2010) *Radar for Meteorologists*, Rinehart Publications.

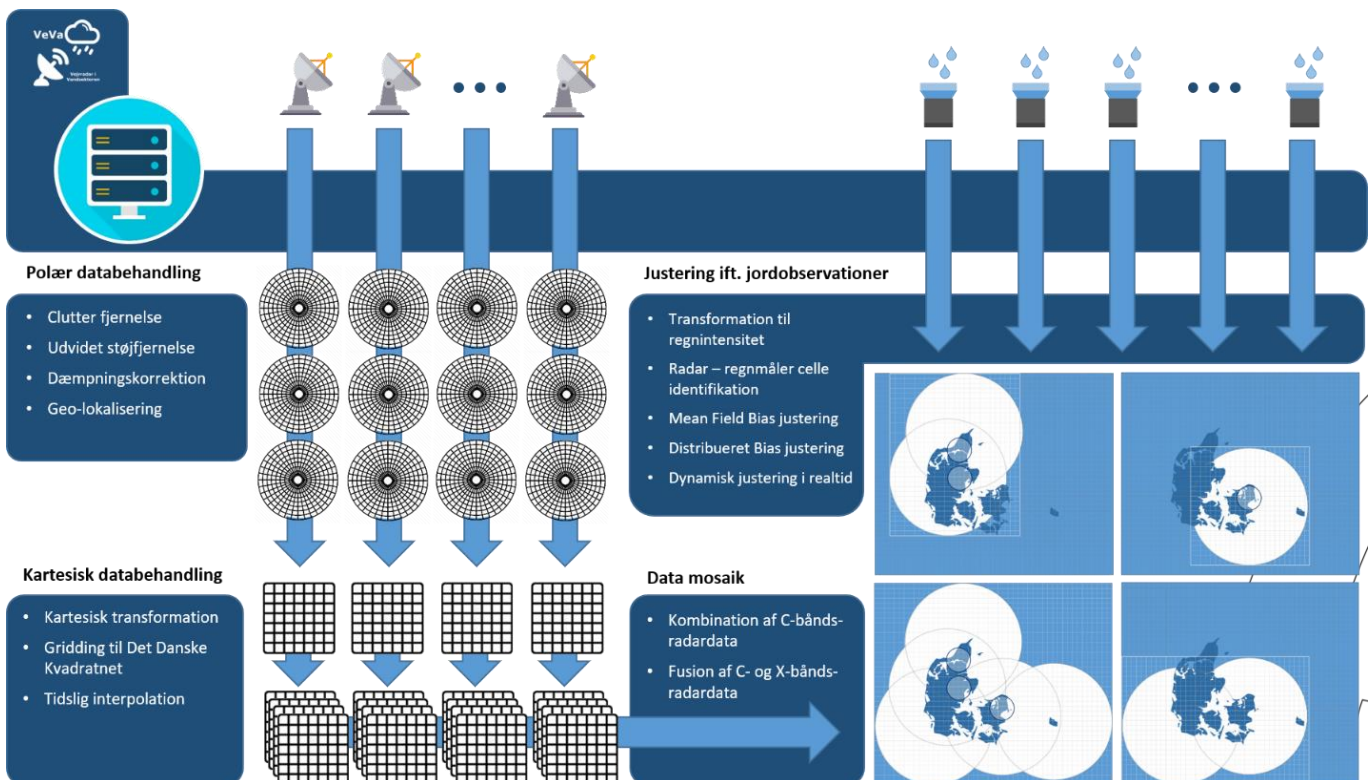
Bilag 1 – Vejrradar Processeringskæde

Grundlaget for VeVa-foreningens udbredelse af vejrradardata er processeringskæden. Processeringskæden transformerer de helt rå vejrradardata til direkte brugbare nedbørsdata til anvendelse i vandsektoren.

Figur 8 viser et konceptuel overblik over processeringen og justering af vejrradar data i VeVa. Databehandlingen er opdelt i fire overordnede elementer;

1. Polær databehandling
2. Kartesisk databehandling
3. Data mosaik
4. Justering ift. jordobservationer.

Den udviklede processeringskæde integrerer alle fire del-elementer i én samlet databehandling, som tager vejrradarenes målinger af atmosfærens refleksionsegenskaber til nedbørsestimater ved jordoverfladen.



Figur 8: Processering af vejrradar data i VeVa – Konceptuel oversigt over de fire overordnede elementer.

Radarmålingerne, som processeres i VeVa, stammer fra to forskellige kilder: 1) C-bånds vejrradardata fra DMI's nationale netværk af vejrradarer og 2) lokale X-bånds-vejrradarer ejet og drevet af forsyningsvirksomheder eller Aalborg Universitet. Fælles for de to radardata-kilder er dog at inputtet til VeVa's databehandling er radardata i det fælleseuropæiske standardiserede format for vejrradarobservationer, ODIM-h5 (Michelson et al. 2019).

Vejrradarene i VeVa-samarbejdet bearbejdes først individuelt og dernæst kombineret. Den individuelle databearbejdning foregår parallelt med først en *polær behandling* og dernæst en *kartesisk behandling*. Denne strategi sikrer, at flest mulige fejl i radarmålingerne fjernes og/eller korrigeres så tidligt i processen som muligt.

Trin 1 – Polær databehandling

Den polære databehandling opererer på radarmålingens scan-linjer, som på grund af radarens virkemåde er polært orienteret af natur. I den polære databehandling anvendes metoder for fejl- og støj fjernelse, der beror på de individuelle scan-linjer samt afstandsafhængige scanlinje-korrektioner: *Clutter fjernelse* er identifikation og fjernelse af uønskede signaler fra stationære objekter. *Udvidet støj fjernelse* er identifikation og fjernelse af uønskede signaler fra ikke-meteorologiske objekter og støj. *Dæmpningskorrektio*n er en korrektio

Trin 2 – Kartesisk databehandling

Den kartesiske databehandling transformerer og opererer på kartesiske data. Første led er *Kartesisk transformation*, som på baggrund af den polære Geo-lokalisering transformerer radarens polære målinger til et ensartet og regulært kvadratisk grid projiceret til jordens overflade. *Projektion til det Danske Kvadratnet* har til formål at sikre at radardata behandlet i VeVa altid er projiceret til det standardiserede geografiske kvadratnet for Danmark etableret af Geodata-styrelsen og Danmarks Statistik (DST, 2019).

Foruden transformation og projektion består den kartesiske databehandling af *Tidslig interpolation*. *Tidslig interpolation* har til formål at sikre en høj tidslig opløsning af radarernes observationer, til trods for at radaren scanner med en lavere tidslig frekvens. Tidslig interpolation er ydermere nødvendigt for at kompensere for tidsforskelle i scanningstidspunkt og scanningfrekvens radarerne imellem, når data fra flere radarer skal kombineres. Den tidslige interpolation af vejrradardata er implementeret i VeVa efter Nielsen et al. (2014) og er kun implementeret for C-bånds-radarnetværket, da X-bånd i forvejen har en tilstrækkelig høj scanning-frekvens.

Trin 3 – Data Mosaik

Data mosaik betegner overordnet processen, som sammenstykker data fra flere radarer til en samlet mosaik af data. Dog kan en mosaik også bestå af data fra en enkelt radar, da processen er universel og uafhængig af om mosaikken består af én eller mange radarer. Data mosaikprocessen er opdelt i *Kombination af C-bånds-radardata*, samt *Fusion af C- og X-bånds-radardata*, hvor *Kombination af C-bånds-radardata* kombinerer datene i DMI's Nationale C-båndsradar netværk, hvorved der opnås længere rækkevidde, bedre dækning af områder, hvor den enkelte radar kan have udfordringer, samt højere datasikkerhed gennem redundans. *Fusion af C- og X-bånds-radardata* kombinerer C- og X-bånds-data i en samlet datamosaik, hvorved der opnås derved radardata med både høj opløsning og lang rækkevidde. I datafusionen sikres, at dataene er tidslig synkroniseret samt interkalibreret.

Trin 4 - Justering ift. jordobservationer

Sideløbende med vejrradardata har VeVa også dataadgang til spildevandskomiteens netværk af vippekars-regnmålere, som anvendes til justering af de VeVa-behandlede vejrradardata. Justering i forhold til jordobservationer har til formål at reducere usikkerheden på nedbørs-estimatet. Vejrradarer måler atmosfærens refleksionsegenskaber, hvis sammenhæng med nedbørsintensitet ikke er entydig og konstant. Afhængig af de atmosfæriske forhold, kan størrelses-sammensætning af nedbørens dråber variere, hvilket påvirker relationen mellem radarens måling af refleksionen og nedbørens intensitet. Justering i forhold til jordobservationer er derfor afgørende for at opnå præcise og pålidelige nedbørsestimater fra vejrradardata.

Justeringen ift. jordobservationer indeholder elementerne: *Transformation til regnintensitet*, *Radar – regnmåler celle identifikation* og selve bias justeringen af vejrradardataene, som

foretages med forskellige strategier afhængig af dataenes anvendelsesformål hhv. *Mean Field Bias justering*, *Distribueret bias justering* og *Dynamisk justering i realtid*.

Transformation til regnintensitet er det første skridt, hvor radarernes reflektivitets målinger af atmosfæren omsættes til estimater for nedbørens intensitet. *Radar – regnmåler celle identifikation* har til formål at sikre, at justeringen foretaget på et korrekt og sammenligneligt grundlag, således at regnmålerobservationerne sammenlignes med den korrekte radardata celle i selve bias justeringen.

Bias justeringen kan foretages efter to konceptuelle forskellige tilgange. *Mean Field Bias justering* og *Distribueret bias justering*. *Mean Field Bias justering* justerer det totale radarbillede på baggrund af den gennemsnitlige afvigelse (bias) mellem radarens nedbørsestimat og regnmålerens observationer. Denne justeringstype er særligt anvendelig til justering af X-bånds radar data, eller til justering af et konkret område i C-bånds radardataene – eksempelvis over et specifikt byområde. *Mean Field Bias justering* er i imidlertid ikke hensigtsmæssigt at anvende på store data-mosaikker, da mosaikkens radardata kan indeholde spatialt fordelte afvigelser i nedbørsestimatet. *Distribueret bias justering* håndterer dette ved at foretage spatial fordelt bias justering ift. regnmålerens nedbørs-observationer. Uafhængig af om bias justeringen er spatialt fordelt eller ej, foretages bias justeringen på daglig basis bagud i tid, når dagen er omme, da dette sikrer at justeringen foretages på et tilstrækkeligt datagrundlag. Daglig justering kan i sagens natur ikke ske i realtid, hvorfor *Dynamisk justering i realtid* er justering tiltænkt realtids-applikationer af vejrradar data. Erfaringer viser at justering i realtid, resulterer i en usikkerhed i den vejrradar estimerede nedbør, som er større end for dagligt justerede data, hvorfor dynamisk justering er pragmatisk løsning til realtidsapplikationer.

Bilag 2 – Kvalitetssikring og verifikation af processeringskæde samt anbefalinger

Formålet med dette bilag er at give et overblik over kvalitetssikring og verificeringen af den udviklede processeringskæde. Den fulde dokumentation og verificering af processeringskæden er ikke gengivet her, da den er omfattende og indeholder oplysninger, som ikke ønskes offentligt tilgængelig pga. sikkerhed og IPR. Den fulde dokumentation er tilgængelige for medlemmerne af Foreningen VeVa.

Kvalitetssikring og verifikation af den udviklede processerings- og justeringskæde af vejrradardata i VeVa har været anført af Aalborg Universitet. EnviDan har i projektet opbygget og designet processerings- og justeringskæden for danske vejrradardata, mens InforMetics har implementeret og skaleret databehandlingen til anvendelse hos VeVa forsyningsselskaber. Aalborg Universitets rolle har været at sikre, at den udviklede og implementerede processering og justering fungerer korrekt og er baseret på de nyeste, bedste og mest anerkendte metoder på området.

Kvalitetssikringen er foretaget i to faser, hvor den første fase primært har bestået af samarbejde om udvikling af processeringskæden. Sideløbende med EnviDan's arbejde med at udvikle processeringskæden, er der afholdt en række samarbejdsworkshopdage med Aalborg Universitet, hvor hvert enkelt delelement i processeringsalgoritmerne er gennemgået og kvalitetssikret. Den anden fase i kvalitetssikringen har bestået af at validere og evaluere den samlede processering, for herigennem at dokumentere og sikre den samlede processerings- og justeringskædes kvalitet.

Arbejdet i særligt den anden og sidste validerings- og evalueringsfase, har resulteret en række anbefalinger til VeVa-foreningen vedrørende den fremtidige anvendelse og videre udvikling af processeringskæden. Disse anbefalinger er opsummeret herunder underopdelt i de fire overordnede presseringstrin:

1. Polær databehandling
2. Kartesisk databehandling
3. Data mosaik
4. Justering ift. jordobservationer

De enkelte presseringstrin er beskrevet nærmere i bilag 1.

Anbefalinger til VeVa

Trin 1 – Polær Databehandling

Clutter-fjernelse:

- Det anbefales, at VeVa anvender Gabella filteret til clutter fjernelse og oprensning af radardata, da filteret meget effektivt identificerer og fjerner støj og ikke-meteorologiske signaler i radardataene.
- Der gøres dog opmærksom på, at oprensningsmetoden, med stor sandsynlighed vil betyde at en mindre del af nedbøren i radardataene vil gå tabt.

Udvidet-støjfjernelse:

- Det anbefales, at radardataene oprensnes ved hjælp af alle tre implementerede filtreringstrin i rækkefølgen: Korrupt-linje filtrering efterfulgt af Gabella filtrering og med De-speckle filtrering som det sidste trin. De første to trin er uden tvivl de vigtigste, mens De-speckle filterets effekt generelt er begrænset.

Dæmpningskorrektion:

- Det kan som udgangspunkt ikke anbefales at inkludere dæmpningskorrektion i den automatiserede processering af radar data, da korrektionsmetoderne generelt er ustabile og der derfor er stor sandsynlighed for at korrektionen gør mere skade end gavn.
- Det kan dog ikke afvises, at dæmpningskorrektion kan give værdi for specifikke nedbørshændelser, hvorfor de bedst præsterende metoder: Kraemer og Modified Kraemer er implementeret i deaktiveret form i den polære databehandling i processeringskæden. Dæmpningskorrektion kan således aktiveres hvis det ønskes, men i så fald anbefales det, at processen overvåges og resultaterne analyseres nøje.
- For VeVa vurderes det ikke kritisk, at dæmpningskorrektion udelades som en automatiseret del af radardataprocesseringen. Dette begrundes i at den atmosfæriske dæmpnings betydning er størst i store afstande fra radaren, hvor radarmålingen uundgåeligt ligger højt i atmosfæren og pålidelige radarmålinger naturligt er tvivlsomme. Desuden håndteres denne udfordring implicit ved at kombinerer flere radarer, samt distribueret justering i forhold til jordobservationer.

Geo-lokalisering:

- Geo-lokaliseringen i VeVa's processering af radardata baseres på Normal stråleudbredelse. Dette valg anbefales, da automatiseret korrektion for afvigelser herfra vil kræve mange ressourcer, som ikke kan forventes at give betydelige forbedringer af VeVa's radardata produkt.
- Væsentlig for Geo-lokaliseringens kvalitet er præcise informationer om radarens placering og ikke mindst orientering. Derfor anbefales, det VeVa at udforme vejledninger og procedurer til gavn for VeVa's medlemmer i forbindelse med nye installationer af X-bånds-vejrradarer.

Trin 2 – Kartesisk databehandling

Kartesisk transformation:

- Det anbefales, at VeVa anvender pCAPPI metoden i den automatiserede processering af såvel C-bånd som X-bånds-data. Ydermere anbefales, at der anvendes en højde på 500m, når pCAPPI produktet genereres. Dette er naturligvis en afvejning mellem at få radarobservationerne så tæt på jorden som muligt, uden at det medfører forurening fra refleksioner fra stationære objekter omkring radarerne. I VeVa er pCAPPI-højden implementeret med en parameter, som dermed let kan ændres, hvis fremtidigt behov måtte opstå.
- I denne forbindelse er det også relevant at nævne, at Aalborg Universitet arbejder på en radardataprodukt-metode dedikeret afløbsteknisk og hydrologisk anvendelse. Metoden baserer sig generelt på at analysere de aktuelle støj- og clutter-forhold i radarens data, for at identificere de (i atmosfæren) laveste radarmålinger, som er troværdige og anvendelige – Lowest Available Altitude Plan Position Indicator (LAAPPI).
- LAAPPI-Metoden er ikke færdigudviklet, og er ikke implementeret i VeVa, men kan vise sig relevant i VeVa's fremtidige udvikling.

Gridding til Det Danske Kvadratnet:

- Det vurderes, at VeVa's beslutning om at gridding af radardata foretages i et standardiseret kvadratnet, er yderst fornuftigt, da VeVa herigennem reelt forøger radardatens anvendelighed, sammenlignelighed og overførbarehed.

- Det anbefales, at gridding til grove opløsninger foretages på baggrund af simple interpolationsmetoder (IDW eller Lineær interpolation), da de mere avancerede interpolationsmetoder kræver væsentligt længere processeringstid, uden at resultatet er påviseligt bedre. Ved grove opløsninger menes $>500\text{m}$ for C-bånds-radardata og $>250\text{m}$ for X-bånds-radardata. I denne sammenhæng er det vigtigt at nævne, at interpolationsmetodens betydning ikke er undersøgt for cellestørrelser større end 2km . Det kan derfor ikke afvises, at de mest avancerede interpolationsmetoder kan have værdi ved gridding til endnu grovere opløsninger.
- Ved gridding til fine opløsninger dvs. $\leq 500\text{m}$ for C-bånd og $\leq 250\text{m}$ for X-bånd, anbefales det at anvende Nearest Neighbour, da selv de simple interpolationsmetoder bliver meget beregningstunge ved de fine opløsninger. Nearest Neighbour betyder reelt set at den geografisk nærmeste registrerede radarobservation tilskrives cellen, hvilket er en fornuftig tilgang for fine opløsninger, hvor de polære radardata over-samples i dele af kvadratnettet. En væsentlig fordel ved Nearest Neighbour gridding, er at denne metode som den eneste, ikke medfører numerisk dispersion (power-loss) af radarens målinger i griddingsprocessen.

Tidslig interpolation af C-bånds-radardata:

- Da tidslig interpolation forbedrer radardataenes generelle kvalitet, anbefales det, at C-bånds-radardata interpoleres til 1-minuts-data, uanset om C-bånds-radardataene skal integreres med X-bånds-radardata eller ej.
- Hvis flere C-bånds-radardata skal kombineres i samme dataprodukt, anbefales det, at C-bånds-radardataene først kombineres i den samlede Data Mosaik (med 10 minutters opløsning), inden tidslig interpolation til 1-minuts-data foretages. Dette giver et større og mere stabilt vektorfelt, som er grundlaget for interpolationen, samt en mere effektiv dataprocesseringsalgoritme, hvorfor dette også er måden hvorpå den tidslige interpolation er implementeret i VeVa's radardata processering.

Trin 3 – Data Mosaik

Kombination af C-bånds-radardata:

- Det anbefales, at VeVa's C-bånds-dataprojekter som udgangspunkt udgøres af en data-mosaik af radardata fra samtlige fem Danske C-bånds-radarer. Ved at anvende data fra alle fem C-bånds-radarer samtidigt, sikres 1) en større redundans/datasikkerhed, da radar udfald, automatisk erstattes af data fra de andre radarer, samt 2) en højere data-kvalitet i områder, hvor den enkelte radar kan have lokale udfordringer med måleforhold.
- I konkrete situationer, hvor radardata med meget høj spatial opløsning ønskes anvendt i kombination med X-bånds-data, kan det dog være fornuftigt at reducere antallet af C-bånds-radarer i Data Mosaikken, da den høje opløsning kan gøre Data Mosaikken uforholdsmæssigt beregningstung.
- Det anbefales, at C-bånds-data kombineres i data mosaikken ved hjælp af 'kraftigste signal', da denne metode kompenserer for underestimering, reducerer numerisk dæmpning samt giver en sømløs Data Mosaik med minimale randeffekter mellem radarerne. DMI foretager i dag kalibrering og interkalibrering af C-bånds radarerne, hvilket er forudsætning for denne strategi.

Fusion af C- og X-bånds-radardata:

- Det anbefales generelt, at C- og X-bånds-radardata kombineres og fusioneres, da den samlede Data Mosaik, har bedre egenskaber end radardataene hver for sig.

- Det er af stor vigtighed for en anvendelig datafusion, at C- og X-bånds-radardataene interkalibreres, samt at C-bånds-radardata tidlige opløsning øges ved hjælp advektions-baseret interpolation, inden de to datatyper kombineres.
- Der gøres opmærksom på, at ønskes X-bånds-radarens høje spatiale opløsning bibeholdt i det kombinerede dataprodukt, er det nødvendigt at generere Data Mosaikken med samme høje opløsning.
- Hvorvidt det er afgørende for en specifik anvendelse hos en forsyning, at data mosaikken indeholder højopløselige radar data for hele Danmark, er dog tvivlsomt. Derfor anbefales det VeVa at overveje, om fusionering af C- og X-bånds mosaik, med fordel kan tilbydes VeVa medlemmer med egen X-bånds radar, hvor X-bånds-radardata er kombineret med de mest relevante C-bånds-radar.
- I situationer, hvor radardata skal anvendes i områder uden X-bånds-dækning, anbefales det at VeVa leverer Data Mosaik alene bestående af tidlig interpolerede C-bånds-radar-data i 500m kvadratcelle opløsning, da dette tilnærmelsesvis repræsenterer den reelle stedlige opløsning, når der ikke er X-bånds-dækning.

Trin 4 - Justering ift. jordobservationer

Transformation til regnintensitet:

- Det anbefales, at transformationen til regnintensitet foretages vha. Marshall Palmer standard z-R relation. Transformationen er dog implementeret således, at z-R relationens parametre kan justeres, hvis fremtidige behov måtte opstå.
- Der gøres opmærksom på, at transformationen giver et 'gennemsnitlig' bud på regnens intensitet. Dette kan være fuldt tilstrækkelig til anvendelser, hvor nedbørens relative spatiale fordeling ønskes belyst. Men i situationer, hvor den absolutte nedbørsmængde er af afgørende betydning, bør transformationen som udgangspunkt ikke stå alene uden efterfølgende bias justering.

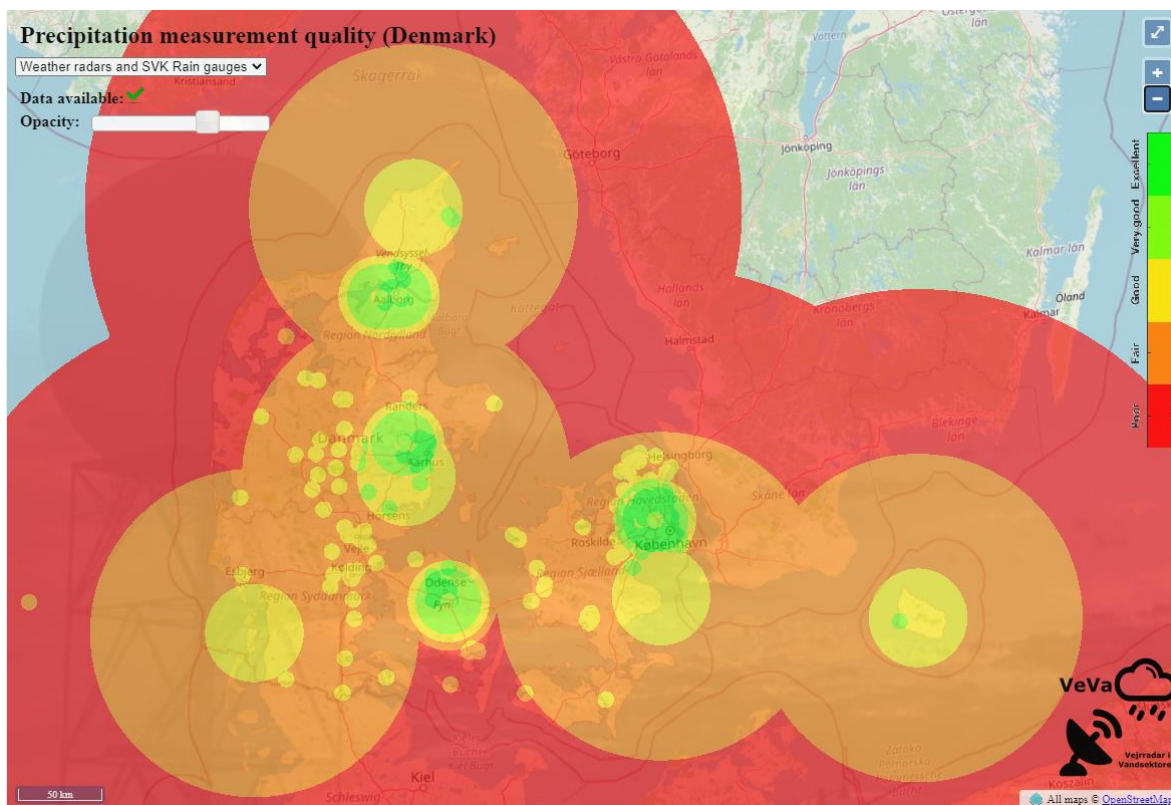
Radar-regnmåler celle identifikation:

- Det er Aalborg Universitets erfaring, at placeringen af SVK-netværkets regnmålere kendes med høj præcision. Men hvis VeVa i fremtiden ønsker at inkludere andre regnmålere, anbefales det VeVa at udforme og indføre procedurer, som sikrer kvaliteten af regnmålerens geografiske placering, inden de indgår i datajusteringen.

Bias Justering:

- Det anbefales, at VeVa's radardata generelt justeres med daglig bias justering. Data justeringerne er dog implementeret således, at justeringen kan foretages på andre tidskalaer, hvis ønske herom skulle opstå.
- Mean Field Bias justering bør kun anvendes til justering af enkeltstående X- og C-bånds-radar eller af mosaik data for specifikke områder.
- Til justering af større data mosaikker anbefales det at anvende Distribueret Bias Justering, da denne metode kan tage højde for spatiale variationer i dråbestørrelsesfordelingen og implicit korrigerer for atmosfærisk dæmpning af radarsignalet.
- Til realtids-anvendelser er det nødvendigt, at dataene justeres dynamisk i realtid, men det forventes, at den dynamiske justering resulterer i en usikkerhed i den vejrradar estimerede nedbør, som er større end for dagligt justerede data.
- Mere væsentligt er dog, at SVK-netværkets regnmålerdata kun er tilgængelige med en betydelig forsinkelse, som gør det problematisk at foretage realtidsjustering radar data i VeVa. Det anbefales derfor VeVa at arbejde på, hvordan denne forsinkelse kan reduceres.

- SVK-netværkets regnmålere er meget ujævnt fordelt i Danmark, og er koncentreret omkring de største danske byer. Konsekvensen heraf er, at det i dag ikke er muligt at justere radardata til samme kvalitet for hele landet. Dette vurderes ikke problematisk for VeVa's nuværende medlemmer, men det anbefales VeVa at tage forbehold for dette ift. optagelse af nye medlemmer. Dette kan evt. gøres visuelt ved at opdatere "nedbørskvalitet-skortet" på www.veva.dk til at inkludere de seneste datakilder (se Figur 9 for eksempel). Desuden kan det overvejes, om dette kort skal gøres dynamisk, så det genberegnes automatisk med jævne mellemrum baseret på de tilgængelige datakilder i VeVa.
- Sidst men ikke mindst anbefales det VeVa, at der i den videre udvikling af VeVa's service arbejdes på automatiseret overvågning, monitorering og dokumentation for VeVa's rarnedbør aktuelle og historiske kvalitet og præcision.



Figur 9: Udklip fra www.veva.dk, som viser en illustration af en teoretisk mulige nedbørskvalitet defineret i en relative skala fra poor, fair, good, very good to excellent.

Bilag 3 – Implementering af processeringskæde og VeVa Web

Målet med dette bilag er at beskrive, hvordan VeVa processeringskæden er implementeret i Amazon Cloud (AWS), så den kan afvikles effektivt og operationelt, og har mulighed for at skalere til flere brugere og flere datakilder over tid. Desuden beskriver dette bilag en af de tre operationelle tjenester; VeVa Web, som er udviklet i projektet.

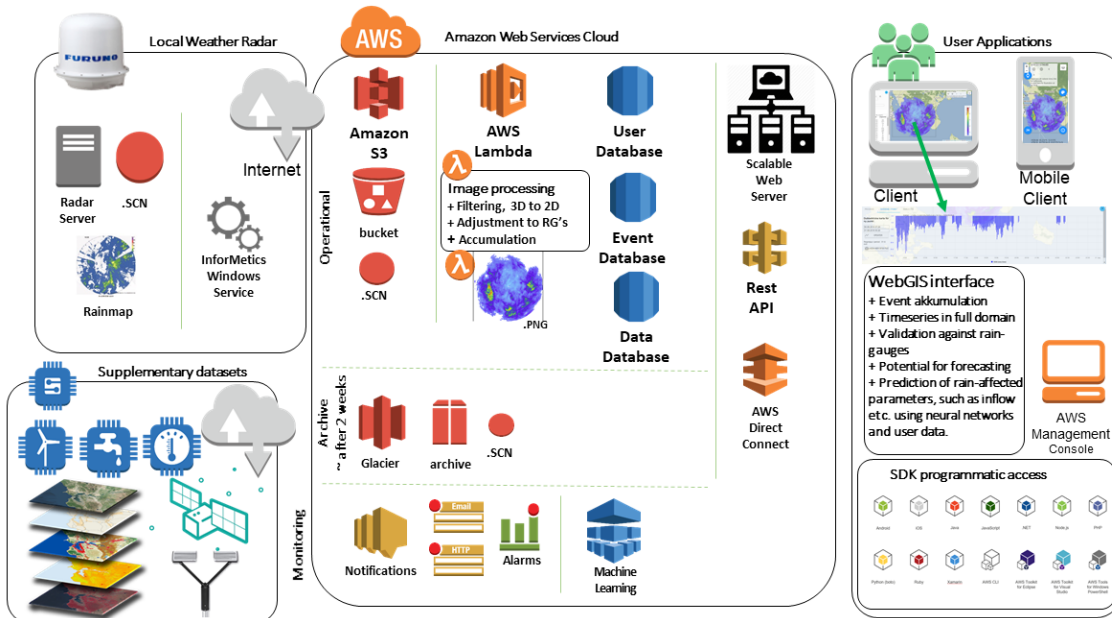
En central del af processeringskæden er VeVa API'et der gør, at de enkelte skridt fleksibelt kan sættes sammen og anvendes serielt eller parallelt. Desuden gives en introduktion til de websider, der har til formål at skabe et overblik over de forskellige datakilder og produkter, og som giver VeVa foreningens medlemmer mulighed for at downloade data.

Ved valg af arkitektur har der været fokus på skalerbarhed, fleksibilitet og transparens. Derfor er VeVa processeringskæden og opbevaringen af data implementeret i et cloudmiljø i en separat konto tilhørende VeVa.

Systemet består af følgende komponenter fra de rå radar data der genereres på radaren og sendes via internettet til bruger interaktionen:

1. FTP, input API, fil-deling
2. Integration med andre data kilder – EC2
 - a. Download periodisk fra online kilder
 - b. Opkobling til data API'er og online databaser
3. Processing af de rå radar filer – EC2 og Lambda
 - a. Databaser – AWS RDS
 - b. Midlertidige filer – AWS S3
4. Operationelle processer
 - a. Databaser – AWS RDS
 - b. Midlertidige filer – AWS S3
5. Overvågning af systemet
 - a. Monitorering af komponenter – Cloudwatch
 - b. Alarmer og beskeder – SNS
6. Data interaktion
 - a. Adgang til databaser og datafiler
 - b. Funktioner til alternative filformater – Lambda, EC2
7. Opbevaring af VeVa komponent kode - Git-hub repository
8. Bruger interaktion VeVa API – en programmatisk grænseflade
 - a. Standardiseret og åben maskine-til-maskine data adgang – Swagger
 - b. Oversigt over funktioner
 - c. Anvendelse af API
9. Bruger interaktion - VeVa-Web applikationen

Det gør forbruget transparent og sikrer, at det er muligt at skifte operatør eller overføre systemet til andre infrastruktur i fremtiden. Figur 10 viser den overordnede infrastruktur, og efterfølgende beskrives infrastrukturen i overordnede termer iht. listen ovenfor.



Figur 10: Overordnet IT-infrastruktur. Input til venstre, AWS-komponenterne i midten, og output til højre.

Uddybet arkitektur og data-flow

1. FTP, input API og fil-delning

Dataopsamling foregår naturligvis på den enkelte radar. C-bånd's data processeres af DMI og overføres med en mindre forsinkelse til filsystemet **AWS S3** via et map'et FTP drev. X-bånd's data er sat op lidt forskelligt, og sender enten direkte eller tilsvarende via FTP. VeVa har således sin egen FTP service med tilknyttet online drev.

AWS S3 har sit eget SDK der kan tilgås programmatisk fra diverse programmeringssprog, ligesom en lang række 3. parts fil-håndteringsværktøjer integrerer S3 såsom FileZilla, Filestash, CloudBerry, CyberDuck, S3 Browser, og DragonDisk.

Alle data opbevares således i deres rå form og er fuldt tilgængelige. Dog bliver de høj opløselige radar data i rå form efter 2 uger arkiveret på **AWS Glacier**. Det betyder i praksis, at data kan hentes helt som før, men at det kan tage op til 12 timer at få dem "tøet op" medmindre der skal løbe ekstra håndteringsomkostninger på.

2. Integration med andre data kilder

Data fra regnmålere opsamles fra deres primære kilder hos forsyninger, DMI og andre leverandører. Det sker typisk med små programmer der henter periodisk, men kan også være sat op så de henter data når de skal bruges. Det sidste er at fortrække, hvis data bliver opdateret og vedligeholdt ved kilden. Omvendt kan det være en fordel at have en kopi opbevaret i andre sammenhænge, hvor VeVa laver egen kvalitetskontrol og krydskorrelering. Uanset hvordan er data tilgængelige i AWS.

3. Processering af de rå radar filer

De i projektet udviklede og forfinede processerings algoritmer og processer kan aktiveres på forskellig vis, men arbejdet starter i alle tilfælde med de rå radar filer i S3.

AWS Lambda er en række operationelle (serverless) funktioner, der udfører en proces på enten de rå eller processerede data. De er i praksis suppleret af tilsvarende funktioner, der ligger på dedikerede servere (**EC2**), hvor de operationelle processer kører.

De forskellige led i processeringskæden gemmes typisk i nogle midlertidige filer, men er i visse tilfælde suppleret med opbevaring i forskellige serverless databaser (**RDS**). Fordelen ved databaser er at det hurtigere at tilgå data på tværs af tid og rum, og således også at krydskorrelere forskellige radar produkter med hinanden og med observationer.

4. Operationelle processer

De operationelle processer understøtter dels data flowet, som beskrevet ovenfor, og dels den radardataprocesseringskæde, som er beskrevet i bilag 1.

For de enkelte rå radarkilder er det således muligt at have flere modsvarende radar produkter, hvor data kan være processeret forskelligt. Tilsvarende er det muligt at kombinere flere radarprodukter til mosaikker.

I praksis betyder det, at der skal holdes styr på de enkelte produkters opsætning for at sikre transparens i data processeringen, hvilket er et af hovedformålene i VeVa samarbejdet. Opsætningerne af de enkelte operationelle scripts er derfor gemt i databasen sammen med det enkelte produkt. Det er muligt at optimere de parametre, filtre og konstanter der indgår i processeringen over tid for de enkelte produkter. Disse ændring arkiveres således at det er transparent, hvordan historiske data er processeret.

De operationelle processer kan opdeles i tre under processer;

1. **Processering af rå data.** Polær databehandling og kartesisk databehandling (se bilag 1, Figur 8).
2. **Kombination af data.** Justering ift. jordobservationer og data mosaik (se bilag 1, Figur 8).
3. **Formatering af data.** Udtræk og/eller aggregering af data til det formål bruger har behov for, baseret på et valg af geografisk punkt eller område, tidsperiode og radar-produkt.

Proces 1 kører for alle rå data der sendes til systemet, og således typisk en eller flere gange per minut for den enkelte radar kilde.

Proces 2 afventer typisk at flere data er tilgængelige. Det kan være flere elevationer, overlappende radarer, eller regnmålere inden for det givne geografiske område. Disse processer kører typisk også flere gange i minuttet og producerer potentielt flere produkter ved hver kørsel.

For hver radar datakilde gemmes der en tidsserie, der viser, hvornår dataene har gennemgået hver proces. På den måde er det muligt senere at genprocessere evt. manglende data-processering. F.eks. i forbindelse med forsinkelser eller afbrydelser af data – ligesom det er muligt at skelne mellem manglende data, tørvejr og manglende processering.

Proces 3 kører typisk kun, når en bruger efterspørger det. Dvs. disse processer er relativt korte og er ikke tilstrækkeligt efterspurgt til at køre for alle produkter. Disse processer startes typisk igennem API'et.

Processeringen kan producere forskellige niveauer af kvalitet, primært som funktion af tid og tilgængelige in-situ observationer til bias-justering. Information om den givne processering og kvalitetsniveau for et givent radarprodukt og for et givent tidsskridt opbevares også i databaserne, så der er fuld sporbarhed og transparens for det enkelte produkt.

5. Overvågning af systemet

Der er implementeret en række **monitorerings** systemer, der holder øje med servere, programmer, databaser og dataflow. Disse er baseret på AWS Cloud Watch, der kommunikerer via simple notifikation service (**SNS**) og kan sende videre til E-mail, SMS og telefon, og som har sit eget abonnements system hvor brugere kan melde sig til og fra efter behov.

6. Data interaktion

Når programmer og grænseflader interagerer med data er det en fordel, hvis det kan ske på en homogen måde – uanset om de underliggende data, filer og databaser ændrer sig. Udstilling af data foregår derfor igennem et dedikeret **REST API**, der af hensyn til scalability kører i AWS Elastic Beanstalk (**EB**). Derved er det muligt også at interagere med data fra diverse Web servere som VeVa klienten og andre klienter. VeVa API'ets funktioner er nærmere beskrevet i næste afsnit.

Udover VeVa API'et kan data tilgås via de af AWS udstillede interfaces. Det kræver, at man som bruger er oprettet i **AWS IAM**, og har fået tildelt rettigheder. I praksis kunne det være relevant for forsynings IT-afdelinger, der har behov for speciel funktionalitet, der ikke er generelt implementeret i API'et. Værktøjer til rådighed her er **AWS Management console** og diverse software development kits (**SDK's**), som understøtter gængse sprog.

Der er flere eksempler (primært skrevet i Python) på, hvordan data kan tilgås, primært via API'et, men også via SDK'erne.

7. Opbevaring af VeVa komponent kode - Git-hub repository

Koden til alle komponenter i systemet er ligesom diverse eksempler gemt i et **GIT** versionerings system hosted i **AWS Code Commit**. Det betyder, at det er relativt simpelt at arbejde videre med koden, samt at samarbejde om dette ved at tjekke koden ind i GIT repository igen – uden at det går udover den grundlæggende funktionalitet.

Når der foretages opdateringer og fejlrettelser i koden til de enkelte komponenter, gennem disse ændringer i et versionerings system. Udover en sikkerhed i at kunne spore hvornår nye fejl og funktionaliteter evt. er opstået – så giver denne versionering fremtidige programmører et indblik i historik og baggrund for hvorfor forskellige valg er foretaget.

Endelig gør versioneringen det muligt at flere uafhængigt af hinanden arbejder på de samme komponenter, ligesom det er væsentligt lettere at arbejde med test, udvikling og drifts versioner parallelt.

8. Bruger interaktion VeVa API – en programmatisk grænseflade

Formålet med VeVa er at gøre radar- og nedbørsdata mere tilgængelige. Derfor er der arbejdet med at gøre det forholdsvis let at integrere data i de værktøjer, der allerede bruges i forsyninger og kommuner. Selvom det kræver medlemskab af foreningen at få adgang til data, så kan man stadig forberede sig på anvendelsen i mellemtiden. Bemærk også, at forsyninger kan give adgang til rådgivere og andre, så længe data bruges til forsynings formål.

VeVa API'et er et Web Rest API, og er dermed et grænselag mellem maskiner. Det kan betragtes som en samling funktioner, der bor på en fælles web-adresse og som returnerer enten data eller filer.

For at lette integrationen med andre værktøjer er interfacet standardiseret og så vidt muligt er koden selvdokumenterende. Det betyder, at der sammen med selve API'et automatisk bliver genereret dokumentation, som forklarer hvilke funktioner der er tilgængelige, hvordan de kaldes, og hvad der kan returneres fra dem.

API adresse: <http://apiveva.waterinfo.io>

Dokumentation: <http://apiveva.waterinfo.io/swagger>

Oversigt over funktioner

Funktionerne i API'et giver adgang både til de rå data filer, til billeder, til de processerede data i forskellige formater og behandlinger, samt en række funktioner, der giver et overblik over, hvad der er tilgængeligt.

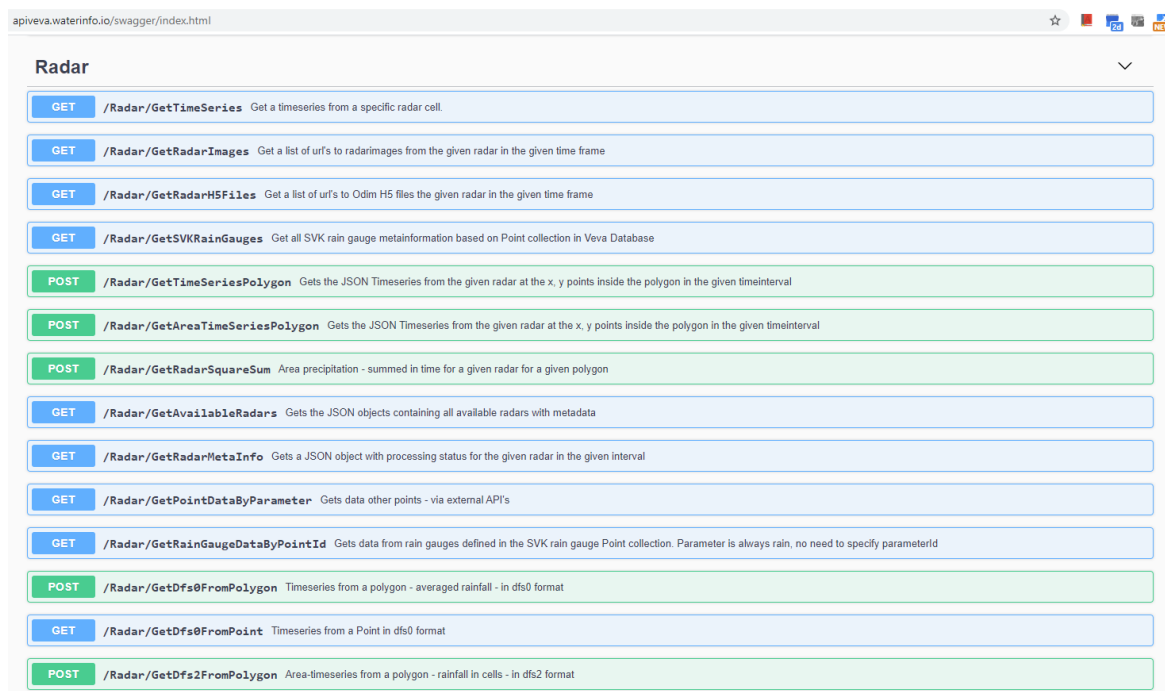
Som ny bruger af API'et vil man derfor typisk kalde /Radar/GetAvailableRadars som returnerer de radar-produkter der er tilgængelige for den bruger, man er logget ind som.

Man vælger et radar-produkt ved at notere sig dets "radarId", som man så identificerer det med i de andre kald.

De resterende kald vil udover radarId'et samtidig skulle bruge;

- En geografisk placering, i form af et punkt eller en polygon
- Et tidsinterval givet fra et tidspunkt (fromUTC) til et andet tidspunkt (toUTC)
- Forskellige tilvalg der typisk er valgfrie, som f.eks. hvorvidt man kun ønsker data i de tidsskridt der er nedbør, eller man ønsker 0 for tørvejr og "null" hvis der mangler data.
- Formatet på de returnerede data vælges igennem valg af funktion og ligger således i beskrivelsen.

Funktionerne i API'et bliver automatisk dokumenteret i koden, og der bygges derfor ved hver opdatering et json dokument der beskriver de enkelte funktioner. Ved bygning udgives samtidig et såkaldt Swagger dokument som vist i Figur 11 herunder.



Figur 11: Swagger indgang til API'et med en liste over de mest relevante funktioner.

Anvendelse af API

API'et overholder den åbne og generiske OpenAPI Specification (OAS). Der findes til stort set alle sprog en importer, der kan læse swagger.json filen, fortolke den og klargøre API kaldene, så de kan bruges fra koden.

Der er i projektet bygget en række eksempler til at hente, plote og arbejde med data i sproget Python. Et generelt eksempel er vist herunder i Figur 12, hvor bruger henter en tidsserie (/radar/GetTimeSeries funktionen), fra en position angivet i geografiske koordinater (defineret med epsg=4326), punktet latitude=55.4, longitude=10.2 (x=10.2 og y=55.4), i tidsintervallet mellem fromUTC og toUTC, fra DMI-komposittet (radarId=8), og hvor der angivet at der kun ønskes data når det regner (addZero=false).

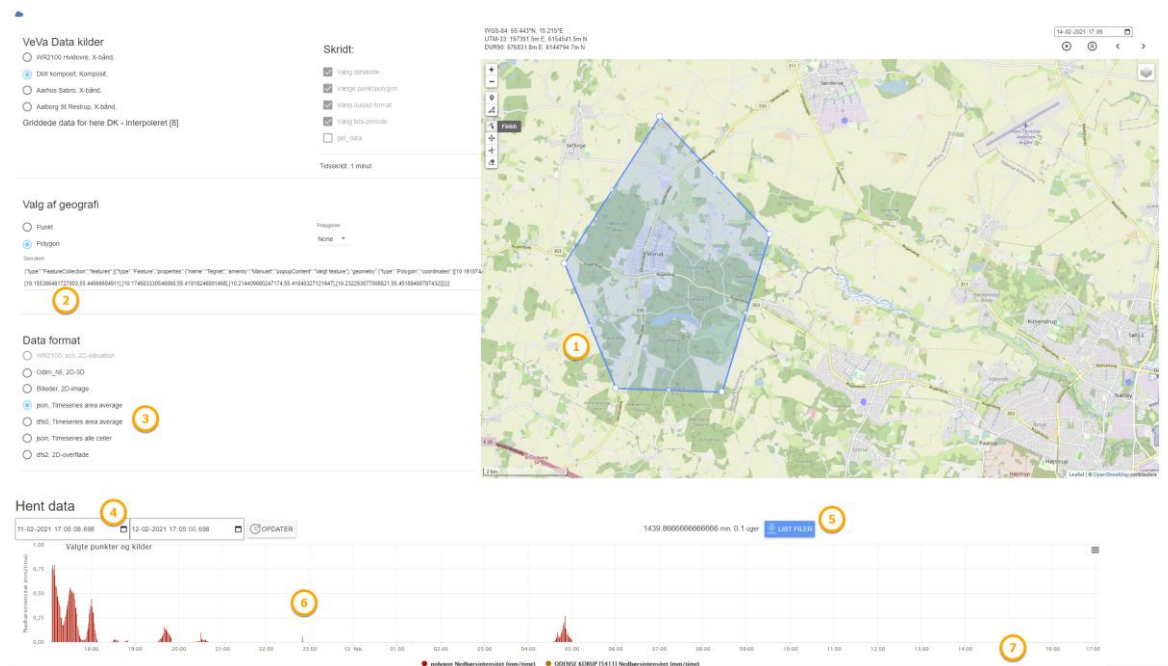
```
Generated code for Python - Requests Contribute on GitHub ⚙ Settings  
1 import requests  
2  
3 url = "http://apiveva.waterinfo.io/Radar/GetTimeSeries?x=10.2&y=55.4&fromUtc=2020-10-04T06:00&  
    toUtc=2020-10-04T12:00&radarId=8&addZero=false&epsg=4326"  
4  
5 payload={}  
6 headers = {}  
7  
8 response = requests.request("GET", url, headers=headers, data=payload)  
9  
10 print(response.text)  
11
```

Figur 12: Eksempel på automatisk genereret kode eksempel (dette via Postman applikationen, der har læst swagger.json)

9. VeVa Web – Applikation for data adgang

Igennem webapplikationen gives der adgang til de forskellige VeVa-produkter og -datasæt. Det er primært tænkt som, at adgangen her skal give et overblik og hjælpe med at vælge det rigtige produkt til den givne opgave. Forsyninger eller rådgivere kan herudfra indarbejde data i de forskellige plan- og driftsværktøjer, der allerede benyttes.

På overblikssiden, vist i Figur 13, er det muligt at få et overblik over de radarprodukter, der er tilgængelige for et givent område og en given tidsperiode. Efterhånden som værktøjerne og datakilderne processeres vil alle produkter blive tilgængelige i alle formater. I begyndelsen vil der dog være visse begrænsninger.



Figur 13: Overblikssiden, hvor det er muligt at vælge datakilde, tegne et polygon (1), se polygon-definitionen (2), eller vælge et punkt, vælge dataformat (3) og tidsperiode (4), generere filer/data (5), se tidsserie (6) – og så arbejde videre med filen i det relevante program som f.eks. MIKE Zero (7).

Det er her muligt at hente data som filer, i punkter og i polygoner (som gennemsnit i rum eller i 2D). Dataformater inkluderer:

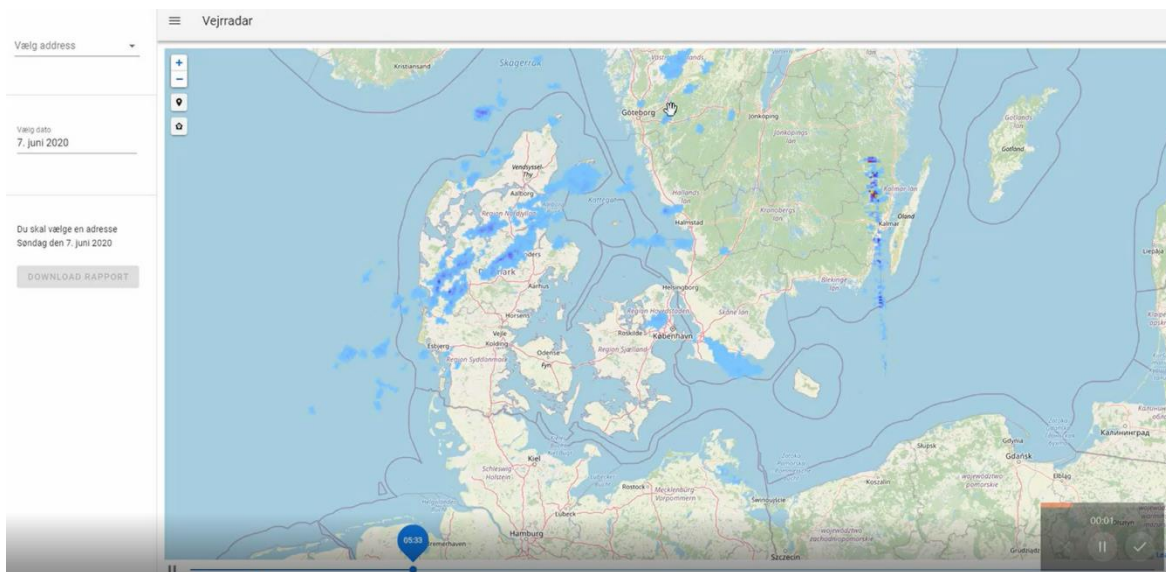
- JSON - anvendes typisk til udveksling og i forbindelse med web-værktøjer. Anvendes programmatisk, eller i værktøjer som Excel, Matlab, python mv.
- Hdf5 - eller h5 - er et filformat og en aktiv brugergruppe. Vi anbefaler at hente en viewer som f.eks. HDFView til at se filerne.
- DFS0 og DFS2 anvendes i DHI's MIKE produkter som MIKE Flood og MIKE Urban.

Bilag 4 – Borgerrettet app (EnviDan)

Dette bilag beskriver en af de tre operationelle tjenester; Envidan's Borgerrettede skybrudsløsning, som også sikrer en værdiskabelse for forsyningernes kunder. Skybrudsløsningen er oprindeligt udviklet i samarbejde med Aalborg Forsyning & Aalborg Universitet og er i nærværende projekt udbredt til projektets forsyningspartnere samt implementeret til at anvende VeVa's nye API snitflade for processeret radardata.

Formålet med den borgerrettede skybrudsløsning er todelt:

1. At levere et *Nedbørstjek*, der udstiller både realtids streaming af radardata samt historiske radardata gående 3 måneder tilbage i tid. For hele perioden er det muligt at få en detaljeret graf med nedbøren som funktion af tid på alle adresser & radar pixels inden for forsyningsområdet. Se Figur 14.
2. At levere et *Skybrudstjek*, der giver en beregning af, hvorvidt der har været skybrud eller ej på en adresse. Hertil kan downloades en dokumentation for skybruddet, der kan anvendes i juridiske sager om forsikring af skader relateret til oversvømmelse. Se Figur 15.



Figur 14: Screenshot fra Skybrudsløsningen under *Nedbørstjek*.

Definitionen på et skybrud følger DMI's retningslinjer om 15 mm nedbør på 30 min. I Danmark er det sådan, at hvis der har været dokumenteret et skybrud og der har været skadevoldende oversvømmelser på privat ejendom, så er det forsikringsselskaberne, der skal dække for skaderne. Derimod, hvis et skybrud ikke kan dokumenteres og der har været skadevoldende oversvømmelser, så er det borgerens eget ansvar at bevise, at forsynings-selskaberne ikke har levet op til deres forpligtede serviceniveau. I dag hjælper forsynings-selskaberne deres borgere med at dokumentere, hvorvidt der har været skybrud eller ej samt foretage analyser af serviceniveau. Skybrudsløsningen giver en præcis beregning af, hvorvidt der har været skybrud eller ej og herigennem både nedbringer tidsforbruget ved forsyning samt leverer en bedre service for deres kunder.

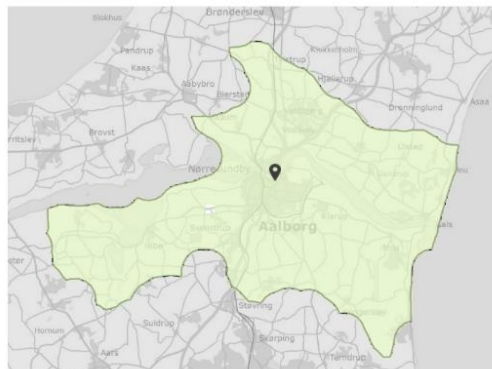
I dag findes én anden løsning til dokumentation af skybrud. Udfordringen ved denne dokumentation er, at beregningerne er baseret på regnmålere. En regnmåler er kun repræsentativ for nedbøren indenfor en kort radius. Tages det yderligere i betragtning, at den spatiale udstrækning af nedbør i højere grad bliver mere lokal jo kraftigere nedbørsintensitet, så vil

frekvensen af skybrud naturligt blive underestimeret, da flere skybrud simpelthen ikke registreres, da de forekommer i hullerne mellem regnmålerne. Derfor, hvis man ikke bor meget tæt på en regnmåler, vil der kunne forekomme skybrud, som ikke dokumenteres. Skybruds-løsningen, der anvender højopløselige distribuerede nedbør (radardata) til beregningerne af skybrud, giver derfor et bedre estimat på skybrud også for dem, der ikke bor meget tæt på en regnmåler.

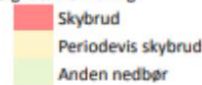
Undersøgelse af nedbørshændelse i forhold til skybrudskriteriet

Adresse:

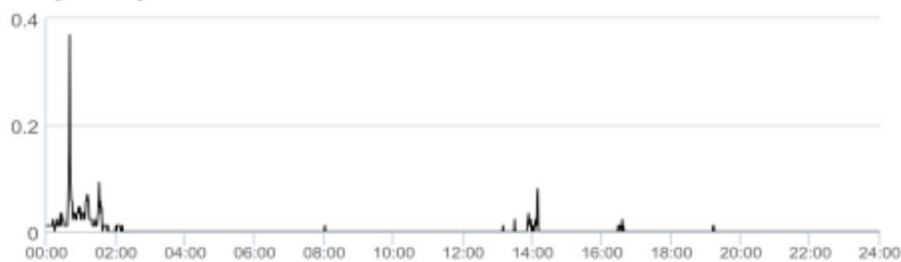
Tidspunkt: 16-11-2020



Signaturforklaring:



Intensitet [mm/min]



Nedbørsinformationer:

Største nedbørsmængde over 30 min:	1,7 mm i perioden 0:37 - 1:07
Periode(r) med nedbørsintensitet svarende til skybrud (15 mm på 30 min) med en varighed på mellem 5-30 min:	
Samlet nedbørsmængde over 24 timer:	4 mm
Samlet nedbørsvarighed over 24 timer:	139 min.

Der er sandsynligvis ikke forekommet skybrud denne dag på den konkrete lokalitet.

Anvendte definitioner:

Skybrud defineres som nedbørshændelser, hvor der registreres mere end 15 mm på 30 minutter.

Periodevis skybrud defineres som nedbørshændelser, hvor der registreres en intensitet svarende til 15 mm på 30 minutter, blot over en kortere periode (5-30 minutter).

Bemærk venligst:

Omstændige vurdering er foretaget på baggrund af registreringer foretaget med Aalborg Vejrradar, der er placeret i St. Restrup umiddelbart vest for Aalborg. Vejrradaren kan registrere alle typer faldende nedbør i en afstand på op til 50 km fra vejrradarens placering.

Registreringerne omregnes til nedbør i felter på 300 x 300 meter ud fra samtidige registreringer på de 9 regnmålere, Aalborg Kloak A/S har i det landsdækkende regnmålersystem. Der er derfor en vis usikkerhed forbundet med de registrerede data.

Tidsangivelsen er dansk tid inkl. sommertid – altså svarende til tiden på vores armbåndsur.

Aalborg Vejrradar er et fælles projekt mellem Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg Universitet (AAU) og Aalborg Kloak A/S. Radaren bruges til forsknings- og udredningsprojekter samt indgår i driften af Aalborg Kloak A/S' kloaksystem.

Udskrevet fra: aalborgforsyning.dk/vejrradar den 3. december 2020 kl. 13.58.

Figur 15: Et eksempel på hvordan skybruds-dokumentations-rapporten ser ud.

Centrale applikation features

Download af dokumentation for skybrud på en given adresse.

- enten til dit forsyningsselskab eller forsikring

Se Figur 15, der viser et eksempel på de detaljerede informationer, som skybruds-dokumentationen giver mængder, tidspunkt mm. Dette er essentiel information, som dokumentation til forsikringsselskabet eller forsyningsselskab.

Se højopløselig animation af radar-data i realtid.

- kan du komme tørskoet hjem?

I nedbørstjekket kan du se detaljeret, hvor meget, hvor hurtigt og hvornår regnen er faldet – helt ned på enkelte adresser eller ved at klikke et specifikt sted i kortvisningen. Dette overblik bruges forskelligt såsom kan jeg cykle hjem nu uden at blive våd, eller skal jeg køre til mit sommerhus for at vande mine blomsterbede osv.

Få detaljeret overblik over nedbøren på minutbasis.

For regn-nørder kan man endda få så detaljerede data for nedbøren, at det er muligt at se variationen af intensiteten på minutbasis.

Gense historiske hændelser og få et hurtigt overblik over, hvilke dage det har regnet tilbage i tid.

Alle features er tilgængelige 3 mdr. tilbage i tid. Derudover kan man i en kalenderfunktion hurtigt få et overblik over, hvilke dage det har regnet samt været skybrud, da disse er markeret med symboler. Denne feature bruges både af borgere, men også af forsyningerne til at danne sig et hurtigt overblik og genfinde interessante nedbørshændelser.

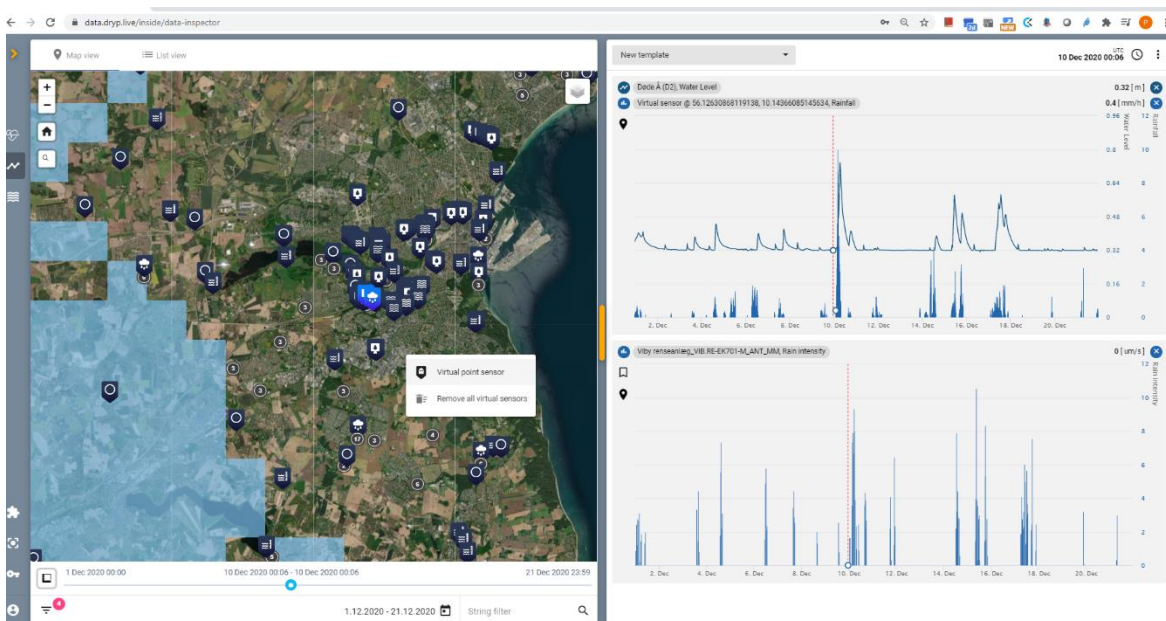
Bilag 5 – Forsyningsrettet app (InforMetics)

Dette bilag beskriver en af de tre operationelle tjenester; InforMetics forsyningsrettede applikation, som har til formål at gøre radar data tilgængelige sammen med andre målinger, model resultater og analyser af relevans for den enkelte forsyning.

Funktionaliteten i applikationen bygger oven på VeVa API'et og letter således blot integrationen med andre data.

Applikationen er den samme, som bruges til Dryp IoT sensorer, åbne datakilder og SRO-data. Den kan således umiddelbart sættes op for et nyt område og nye VeVa medlemmer uden videre. Et eksempel på interfacet med visning af radar data er vist i Figur 16.

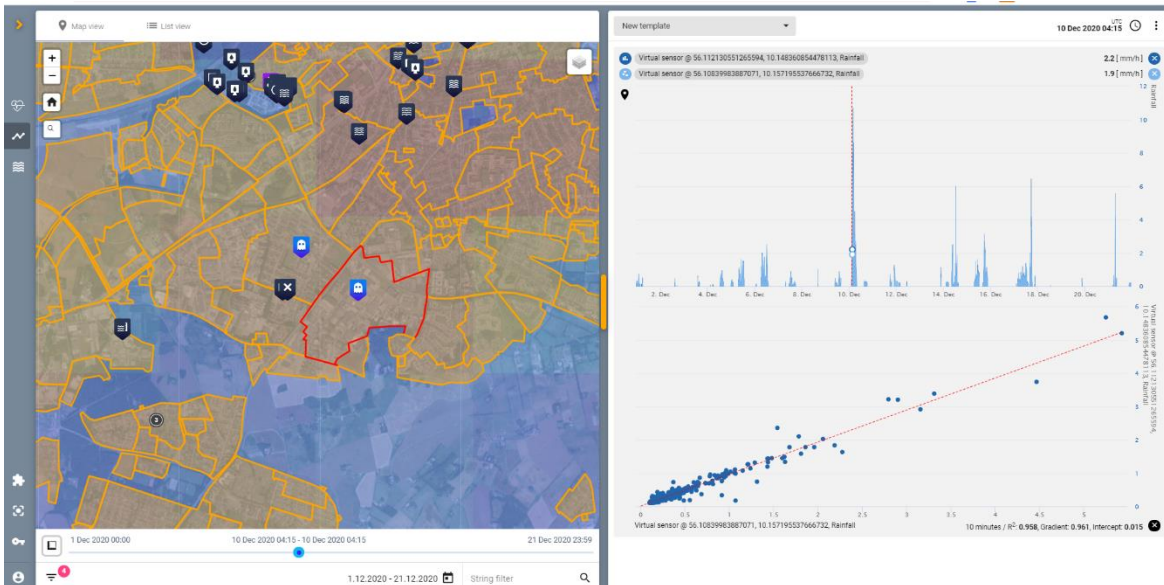
Adgang til data er forsøgt integreret så intuitivt som muligt i den generelle anvendelse af applikationen. Fra diverse kort er det således muligt at vælge radar data som et ekstra lag, der er tidsafhængigt. Det kan afspilles som en animation som vist i eksemplet herunder, og visningen kan opdateres, når tidspunktet skifter i tidsserierne på højre side.



Figur 16: Dryp applikationen med visning af nedbørs felt fra radaren, samtidig med data fra et virtuelt punkt - sammenlignet med vandstand i et punkt og en regnmåler i nærheden.

Udtræk fra radaren i enkelte punkter oprettes som virtuelle punkter ved højre klik på kortet, og det er muligt at trække nedbørs intensitet eller akkumuleret nedbør fra den valgte radar.

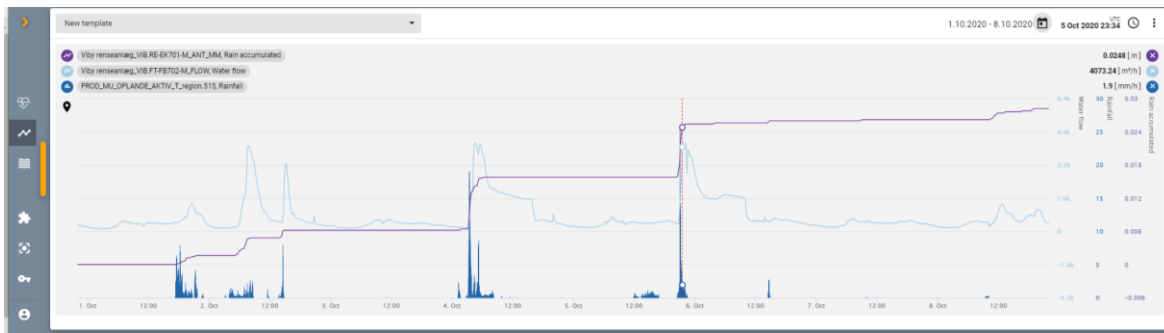
Tilsvarende er det muligt at anvende de af forsyningen definerede oplande som polygoner og derfra udtrække den arealvægtet nedbør for det givne opland.



Figur 17: Eksempel på udtræk af areal-midlet nedbør for to nabo polygoner. De to tidsserier overlapper overvejende, men på korrelations grafen nederst ses alligevel de små forskelle over tid i intensitet.

I applikationen er der integreret en række analyseværktøjer og softwaresensorer (se Figur 17). Grundtanken for de fleste analyser er, at de bygger på nedbør i et givent punkt eller område. Det vil således være muligt at vælge radar data som input til disse analyser på lige fod med regnmålere og andre nedbørskilder.

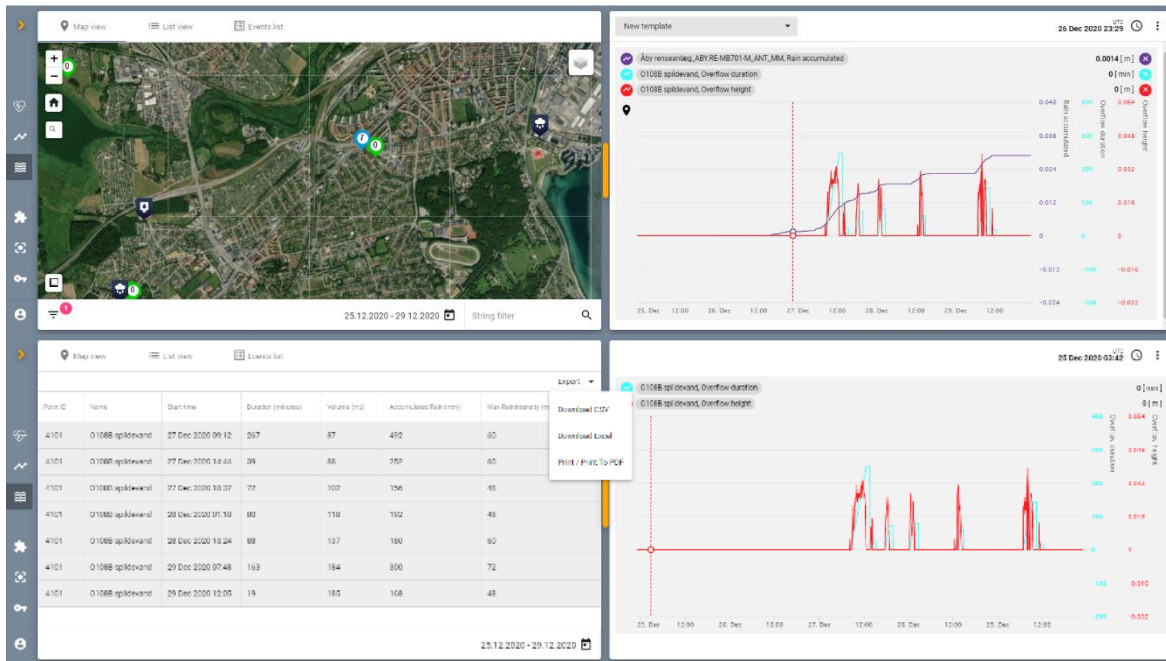
Et eksempel på anvendelse er sammenligning mellem regnmåler (SVK), areal-midlet nedbør fra radar og indløb til renseanlæg, der kan opsættes som en offentlig visning og deles med interessenter, dynamisk og om ønsket uden log-in, som vist i Figur 18.



Figur 18: Sammenstilling med regnmåler (akkumuleret), areal nedbør i polygon (hvert minut), og det associerede indløb til renseanlæg.

Et hovedformål med platformen har været at give et overblik over overløb fra bygværker, både som overvågning, til planlægning og prioritering, og som input til rapportering til miljømyndighederne. Et eksempel er vist herunder i Figur 19 fra et internt overløb.

Ved anvendelse af og i det videre arbejde har det været centralt at kunne arbejde med datakvalitet og -gennemsigtighed i de afledte beregninger. Den gennemsigtighed som radardata har givet, har ført til en række ekstra features – nogle af de centrale er vist i tabellen herunder.



Figur 19: Overløbs applikationen, der viser antallet af overløb (7) i en given periode, sammen med nedbør- som tidsserier eller i tabel format.

Applikationen er under løbende udvikling og radar-data forventes at spille en væsentlig rolle i dataanalysen og visualiseringen af det holistiske overblik.

Centrale applikation features

<p>Gennemspil regn-hændelsen i både rum og tid.</p> <p>Opret et eller flere virtuelle punkter.</p>	<p>Lokale forskelle i nedbøren kan være svære at gennemskue. Et layout som i Figur 16 sammenstiller tidsaksen på højreside med det billede, der vises på venstre side.</p> <p>Samtidig er det muligt at oprette flere virtuelle punkter, hvor tidsserier af nedbør trækkes ud fra radar produktet.</p>
<p>Area midlet nedbør i præ-definerede oplande. Sammenligning med punkt data.</p> <p>Gem som templates så de kan deles og anvendes på tværs af hændelser.</p>	<p>Det er ofte den areal-midlede nedbør over et givent område, der opleves nedstrøms. Forskellen mellem en punkt måling og det areal-midlede kan give et hurtigt indblik i de lokale forskelle, der opstår som i Figur 17.</p> <p>Sammenligningerne kan gemmes som templates og genbruges mellem hændelser – ligesom de kan deles med interessenter.</p>
<p>Sammenligning med andre målte og beregnede parametre.</p> <p>Forskydning i tid.</p>	<p>Afløbstiden mellem nedbør og flow eller vandstand nedstrøms er ofte en kilde til forståelse. Data af forskellig type kan sammenlignes direkte i figurerne ved at trække dem ovenpå hinanden.</p> <p>Forskydning i tid på de enkelte målinger kan foretages på menuen under den enkelte data beskrivelse.</p>

Download af data i forskellige formater til videre bearbejdning.	<p>Data kan down umiddelbart hentes ned som vist på skærmen i csv, excel og andre formater. Enten for den enkelte tidsserie eller sammenstillet med alle data valgt i figuren som individuelle kolonner.</p>
Kommenter og korriger nedbørs data. Uden at slette og med historik.	<p>Specielt med vippekars målere kan det være nødvendigt manuelt at korrigerer i perioder, hvor der har været serviceret, stoppet af blade eller andre problemer.</p> <p>Det er muligt både at slette fejlagtige data og endda indsætte manglende nedbør fra andre stationer eller radardata. I begge tilfælde flages data, og der kan kommenteres på operationerne, så kolleger senere kan trække både de rå-ukorrigerede data og det "bedste bud" med kommentarer ud.</p>
Offentlig deling af data. Til indsættelse på forsyningens egne hjemmesider, eller deling i e-mails og dokumenter.	<p>VeVa partnernes egne data, samt processe-rede data kan godt udstilles til 3. part. Under de aftaler med SVK og DMI som pt. gælder.</p> <p>En given analyse eller sammenstilling er derfor mulig at dele offentligt ved at generere et "public link". Dette giver adgang til at se de udvalgte data uden at logge på – og uden at kunne se andet end det, der er delt offentligt.</p>
Sammenstilling mellem overløb og nedbør. Er overløbet nedbørsbetings? Akkumuleret nedbør i et punkt eller opland 6 timer før overløbet startede og til det sluttede.	<p>I de tilfælde, hvor der opsat vandstandsmålere eller flowmålere i overløbs bygværker, er det muligt at overvåge løbende, og generere en rapport.</p> <p>I både overvågning og rapportering kan man tilknytte nedbørspunkter/oplande og sammen med overløbs mængder og varigheder få et akkumuleret nedbørsestimat for det tilknyttede opland.</p>
Nedbør i forbindelse med; Regnvandsbassiner, Infiltration, Vandkvalitet, Grundvand, osv.	<p>Der udvikles løbende nye softwaresensorer i applikationen, der kan anvendes til at overvåge og rapportere på flere forskellige hydrauliske strukturer med henblik på at give et holistisk overblik – specifikt med fokus på at følge nedbøren fra den lander på overfladen til den ender i recipienterne.</p>

Bilag 6 – Samling af VeVa behov og use cases

Formålet med dette bilag er at give et overblik over behov og user cases for anvendelse af vejrradardata i vandsektoren. Samlingen er baseret på erfaringer og input fra VeVaDaM projektet (2016-2017) og VeVa VUDP-projektet (2018-2020), samt tidligere udviklingsprojekter.

Bilaget tjener til dels som en opsamling ift. afslutningen af VUDP-projektet (2018-2020) og som et input til det fremadrettede arbejde i Foreningen VeVa (Vejrdata i Vandsektoren). Herunder udbredelse af anvendelsen af vejrradardata til vandsektoren i Danmark.

Overordnede behov og anvendelser

Gode og pålidelige nedbørsdata er essentielle for en lang række opgaver i vandsektoren. Vandsektoren har derfor brug for, at der automatisk genereres højkvalitets nedbørsdata til brug ved design, drift og styring af vores anlæg samt varsling af skybrud, oversvømmelse, samt f.eks. overløb og manglende badevandskvalitet.

Dette sikres bedst ved, at integreret data fra regnmålere, disdrometre, vejrradarer og vejrmodeller, hvorved der fås de bedst mulige nedbørsforudsigelser (0-48 timer) og de bedst mulige historiske data.

VeVaDaM projektet (2016-2017) og VeVa VUDP-projektet (2018-2020) har haft fokus på at operationalisere et framework for gode og pålidelige nedbørsdata ved at kombinere data fra regnmålere og vejrradarer via en fælles platform (VeVa platform). **I projekterne er der ikke arbejdet direkte med nowcast/forecast, men det er det næste naturlige skridt for samarbejdet i VeVa foreningen.**

Overordnet kan behovene for nedbørsdata inddeles i forskellige anvendelses kategorier og ift. forskellige tidsskalaer og funktionssituationer, som dermed resulterer forskellige krav til kvaliteten af nedbørsdataene.

- Realtidsstyring (samstyring af renseanlæg og afløbssystem mv.)
- Realtidsmodellering (varsling, badevandskvalitet, system evaluering mv.)
- Kundesupport (Varsling af borgere ifm. kraftigt nedbør samt afklaring af reelle nedbørmængder mv.)
- Forretningssupport (Understøttelse af drifts- og anlægsopgaver mv.)
- Planlægning (dimensionering, analyse af afløbssystemer mv.)
- Dokumentation (fungere vores systemer som antaget under en given belastning)

Ved at se på behovet for nedbørsforudsigelser ift. de fem ovennævnte kategorier ift. funktionssituationer kan følgende behovstabel opstilles. Værdi: **Høj**, **Mellem**, **Lav**.

	Tørvejr	Daglig regn	Kraftig regn	Ekstrem regn under kontrol	Ekstrem regn udenfor kontrol
Realtidsstyring	L	M	H	H	M
Realtidsmodellering	M	H	H	H	H
Kundesupport	M	L	M	H	H
Forretningssupport	H	M	H	H	H
Planlægning	L	L	H	H	M
Dokumentation	M	H	H	H	M

Datakilder samt deres overordnede fordele og ulemper

– Vippekars regnmålere:

- Fordel: Måling af nedbøren ved overfladen. Kendt og simpelt måleprincip, hvilket historisk set har givet regnmålere høj tillid.
- Ulempe: Punktmåling, som kun er repræsentativ for en afstand af 1-2,5 km (afhængig af nedbørssituation og -type). Kan kun måle flydende nedbør. Kan underestimere nedbørsmængderne kraftigt pga. vindpåvirkning, hvis regnmålere ikke er placeret korrekt i forhold bygninger og bevoksning.

– Disdrometre:

- Fordel: Måling af nedbøren ved overfladen. Måler principielt hver dråbes størrelse, form og faldhastighed, hvilket kan bruges til at bestemme nedbørstypen samt forholdet mellem nedbørsintensitet og radar refleksivitet (det signal en vejrradar måler). Kan måle både fast og flydende nedbør.
- Ulempe: Punktmåling, som kun er repræsentativ for en afstand af 1-2,5 km (afhængig af vejrtypen). Avanceret måleprincip, hvilket gør instrumentet dyrere end en regnmåler og sværere at forholde sig til i forhold til en vippekars regnmåler.

– Vejrradar (X-bånd (forsyning) og C-bånd (DMI)):

- Fordel: En enkelt vejrradar kan foretage en 3D måling af nedbørs spatiotemporale fordeling i et større område. Effektivt "værktøj" til at interpolere i tid og sted mellem gode punktobservationer ved jordoverfladen. Gør det muligt at fremskrive nedbøren på baggrund af nedbørssystemets bevægelsesmønster en halv til to timer frem.
- Ulempe: Indirekte måling af nedbøren i atmosfæren. Vandselskaber mv. har brug for at kende nedbøren ved jordoverfladen. Fremskrivningen er baseret på observationer og indeholder ikke ændringer af nedbøren udover selve bevægelsen. Der forsøges i at kunne implementere udviklingen af nedbørssystemet i fremskrivningen.
- *Note: Den spatiotemporal opløsning og fremskrivningshorisonten afhænger af vejrradartypen.*

– Numerisk vejrmudel (NWP) fra DMI:

- Fordel: 3D estimat af vejrets spatiotemporale fordeling over hele Danmark. Gør det muligt at estimere vejret flere dage frem i tiden. Modelberegning er baseret på fysiske parametre.
- Ulempe: Grov spatiotemporal opløsning med høj usikkerhed på nedbøren. Specielt ved kraftig nedbør og skybrud.
- *Note: Den spatiotemporal opløsning afhænger af modeltypen og den tilgængelige beregningskraft.*

Kombination af datakilder

VeVaDaM projektet (2016-2017) og VeVa VUDP-projektet (2018-2020) har haft fokus på at operationalisere et framework for gode og pålidelige nedbørsdata ved at kombinere data fra regnmålere og vejrradarer via en fælles platform (VeVa platform). **I projekterne er der ikke arbejdet direkte med nowcast/forecast, men det er det næste naturlige skridt for samarbejdet i VeVa foreningen.**

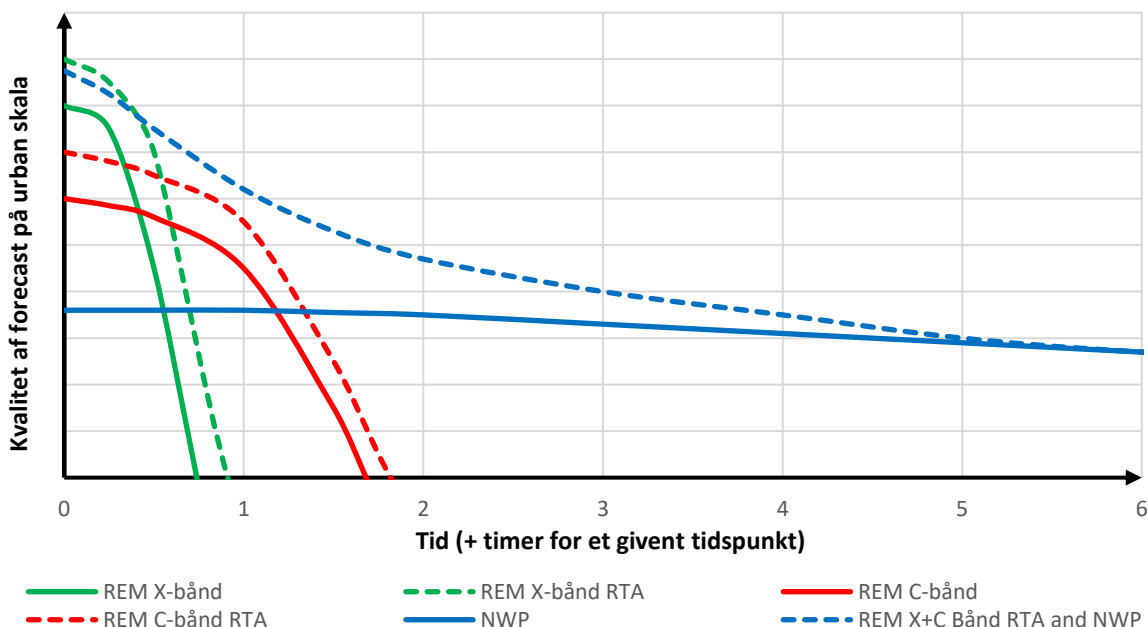
På sigt vil det derfor være fordelagtigt at kombinere alle fire ovenstående datakilder for både at opnå gode historiske data, præcise øjeblikkelige observation samt pålidelige estimater af nedbøren i den næste fremtid.

Gode historiske data og præcise øjeblikkelige observation opnås, i skrivende stund, bedst ved at kombinere højopløselige vejrradar observation med jordobservationer af en høj kvalitet (både regnmålere og disdrometre).

Ift. de pålidelige estimater af fremtidig nedbør afhænger mulighederne af hvilken tidshorisont, der er vigtig. Figur 20 viser en konceptuel illustration af forholdet mellem forecast metoder, kvalitet og tidshorisont (+6 t.).

Figur 20 viser, at den højeste forecast kvalitet ved en kort tidshorisont kan opnås ved at benytte en højopløselig vejrradar justeret til jordobservation af høj kvalitet (både regnmålere og disdrometre). Figuren viser også, at på tidshorisonter mere end 1-2 timer er det nødvendigt at bruge numeriske vejrmødelles.

Figur 20 viser også, at der er et stort potentiale i af kombinere både x-bånds og c-bånds vejrradarer med numeriske vejrmødelles. Forskellige metoder eksisterer til dette. Det Britiske Meteorologiske Institut (MET Office) har god succes med at anvende metoden STEPS (Short Term Ensemble Prediction System) og Seamless Blending til at kombinere vejrradar forecast med numeriske vejrmødelles.



Figur 20: Konceptuel illustration af forholdet mellem forecast metoder, kvalitet og tidshorisont. De fuldt optrykkende linjer illustrerer eksisterende forecast muligheder ved brug af Radar Ekstrapolation Modeller (REM) og numeriske vejrmødelles (NWP). De stiplede linjer illustrerer potentialet i at implementere realtids justering (RTA) baseret på kvalitets jordobservationer (regnmålere og disdrometre) samt potentialet i at kombinere dette med numeriske vejrmødelles.

Figur 20 er afgrænset til en tidshorisont på seks timer. De numeriske vejrmødelles er relevante og brugbare ud til en tidshorisont på 36-48 timer. Erfaringerne indtil nu viser, at vejrmødelles kvalitet udover de seks timer ikke kan forbedres væsentligt ved at assimilere vejrradardata. På denne tidshorisont er det dog heller ikke nødvendigt at vide præcist, hvor meget nedbør der kommer. Det er nok at kunne estimere risikoen for, hvor kraftig nedbør, der kan forventes, samt hvornår det kan forventes. Det er også vigtigt at kunne forudsige tørvejs perioder i forhold til drift og vedligehold af ledninger og anlæg.

Det er vigtigt at understrege, at det er praktisk umuligt at forudsige skybrud præcist. Ved brug af numeriske vejrmødelles er det muligt at estimere om de atmosfæriske tilstande, som kan skabe skybrud, er til stede eller ej, og dermed om der er risiko for skybrud eller ej i et større område (landsdel/region). Ved brug af c-bånds vejrradarer er det muligt at observere skybrud med større udbredelse, når de er i gang. Ved brug af højopløselige x-bånds vejrradarer er det muligt at observere selv mindre skybrud når de opstår. Derved er det muligt at estimere deres bevægelsesbaner tidligt i forløbet, og dermed er det muligt at reagere, inden en potentiel oversvømmelse opstår. F.eks. ved at målrette beredskabets indsat og lukke for spjæld, som leder vandet videre til kritisk infrastruktur.

Kraftigt nedbør, f.eks. fronter, hvor der er et stort potentiel for at optimere driften af renseanlæg og afløbssystem er væsentligt nemmere at forudsige end skybrud. Kombination af vejrradarer og vejrmødelles vil give ekstra god mening i disse tilfælde, da alle tre metoder/systemer vil kunne forudsige nedbøren med forskellige tidshorisonter, spatiotemporale opløsninger og usikkerheder.

VeVa user cases

I VeVa foreningen er founder forsyningerne ved at udarbejde et antal user cases, hvis formål er at have specifikke eksempler til sig selv og nye medlemmer med anvendelsesmuligheder med nedbørsdata fra vejrradarer. I den nedenstående tabel er de user cases, som vil blive arbejdet med i 2021 angivet ift. applikation kategori og case ejer, samt status på arbejdet.

Kategori	Title	Case ejer(e)	Status
Realtidsstyring	Driftssituationer	Aalborg forsyning Aarhus Vand	Idemodnet og formuleret.
Realtidsstyring	Omstilling til regnstyring på renseanlæg	BIOFOS HOFOR	Idemodnet og formuleret.
Realtidsstyring	Styring af å-forløb	HOFOR	Idemodnet og formuleret.
Realtidsmodellering	Overløbshydrografer	HOFOR	Idemodnet og formuleret.
Realtidsmodellering	Realtidssimulering	BIOFOS HOFOR	Idemodnet og formuleret.
Kundesupport Forretningssupport	Ansvarsafklaring Beredskabssituationer	Aalborg forsyning Aarhus Vand Aalborg forsyning	Udarbejdet Idemodnet og formuleret.
Planlægning	Brug af vejrradar, hvor der ikke er regnmålere	Vandcenter Syd	Idemodnet og formuleret.
Planlægning	Digital tvilling	Vandcenter Syd	Ikke udarbejdet
Planlægning	Kalibrering af hydrauliske modeller	Aarhus Vand HOFOR	Under udarbejdelse

Bilag 7 – Ordbog for VeVa termologi (anvendelses orienteret)

Dette bilag indeholder en opdateret ordbog (december 2020) for den termologi, der anvendes i Foreningen VeVa ift. anvendelsen af nedbørsdata i vandsektoren.

Navn [English equivalent]	VeVa definition [Reference til yderligere information hvis relevant]
Akkumuleret nedbørsobservation [Accumulated rainfall observation]	Akkumulering af nedbørsobservation (intensiteter) på forskellige tidsskalaer relevant for hydraulisk og hydrologiske applikationer i vandsektoren. Standard akkumuleringer hos VeVa til hvert tidsskridt; senest 30 min., 60 min., 2 timer, 3 timer, 6 timer, 12 timer, 24 timer, 48 timer, 1 uge, 2 uger og 4 uger.
Akkumuleret nedbørsprognose [Accumulated rainfall forecast]	Akkumulering af nedbørsprognoser (intensiteter) på forskellige tidsskalaer relevant for hydraulisk og hydrologiske applikationer i vandsektoren. Standard akkumuleringer hos VeVa til hvert tidsskridt baseret på vejrradar baserede prognoser; næste 30 min., 60 min. 90 min. og 120 min. i kombination med vejrmødel prognoser; 3 timer, 6 timer, 12 timer, 24 timer og 48 timer.
Historisk observation af nedbør [Historical precipitation estimate]	Bedst mulige nedbørsestimat (QPE, se bilag 8) på det givne tidspunkt ved at kombinere de tilgængelige nedbørsdata fra vejrradare og regnmålere via VeVa's processeringskæde. Justeringer er baseret på både forudgående og efterfølgende data ift. det givne tidspunkt fra radare og jordobservationer.
Spatiotemporal nedbørsfordeling [Spatiotemporal rainfall distribution]	Fordelingen af nedbør i tid og sted. Nedbørens variation på forskellige tidlige og stedlige skala (nedbørens variabilitet).
Radarbaseret flow prognose [Radar-based flow forecast]	En prognose af afstrømning (flow) i naturlige eller tekniske vandsystemer, f.eks. vandløb eller afløbssystemer, baseret på vejrradar baserede nedbørsprognoser (QPF, se bilag 8). Ergo, den vejrradar baserede nedbørsprognose er sammensat med en hydraulisk/hydrologisk model, hvorved den kommende hydrauliske/hydrologisk tilstand estimeres.
Radarbaseret nedbørsprognose [Radar-based precipitation forecast]	Bedst mulige estimat af kommende nedbør (QPF, se bilag 8) ved at kombinere vejrradare og regnmålere via VeVa's (kommende) nedbørsprognose processeringskæde. Prognosen er baseret ekstrapolering af forudgående reeltidsobservation (og historiske observationer) af nedbøren.
Reeltidsobservation af nedbør [Realtime precipitation estimate]	Bedst mulige nedbørsestimat (QPE, se bilag 8) på det givne tidspunkt ved at kombinere de tilgængelige nedbørsdata fra vejrradare og regnmålere via VeVa's processeringskæde. Justeringer er udelukkende baseret forudgående data fra radare og jordobservationer.

Processerede nedbørsdata [Processed precipitation data]	Justerede og kvalitetssikrede nedbørsdata som repræsenterer den spatiale og tidslige fordeling af nedbøren i et kartesisk grid iht. VeVaDaM definitionen klar til hydrauliske og hydrologiske anvendelser i vandsektoren.
--	---

Bilag 8 – Ordbog for VeVa termologi (radar orienteret)

Dette bilag indeholder en opdateret ordbog (december 2020) for den termologi, der anvendes i Foreningen VeVa ift. nedbørsdata fra vejrradarer.

Name [Danish equivalent]	VeVa definition [Reference for further info where relevant]
Adjustment of data. Bias adjustment. [Justering]	The process of adjusting the interpreted precipitation to ground observations, typically from rain gauges.
Attenuation [Attenuering]	The gradual loss of intensity in the radar reflection as it passes through the atmosphere. The amount of attenuation is a function of the amount of droplets reflecting the radar, the distance from the radar, but it can also be affected by other factors.
Azimuthal resolution/ /beam separation [Azimut opløsning]	Is a measure of the angular-distance between two radar beams, and thus also a measure of the total number of beams that are transmitted as the radar rotates a full revolution. Typical examples are 0.5° for specialized radars and more typically 1°.
Beam-blockage	Nearby high objects or topography may block entire beams of the radar – i.e.. certain subsections.
Beamwidth [Stråle bredde]	A single radar beam in meteorological applications is made as narrow as possible both horizontally and vertically, but it is transmitted as a cone rather than a line. The width of the cone is measured in degrees and is a result of the radar architecture but can in some instances be varied. Typical examples are between 1,0° and 3,0°.
Bright banding	Effect of frozen water particles in the atmosphere which due to their more reflective surface has a higher relative reflectivity.
Calibration of radar [Kalibrering]	The process of radar calibration is the tuning of the radar hardware and the electronic components.
CAPPI (Pseudo Capi)	Constant Altitude PPI [plan position indicator] is a derived product where rather than providing reflections in elevations the reflections are given in a constant height above ground. Pseudo CAPPI combines different heights to obtain a homogenous surface product.
Correction of reflectivity [Korrektion]	The process of correcting the reflectivity measured by the radar for atmospheric, topographic and other physical conditions that affects the signals. This includes attenuation, ground clutter, VPR, etc.
dBZ - decibels [dBZ]	A measurement unit used for measuring the energy in a wave, typically the amplitude of the wave. This is a logarithmic unit (dimensionless).

Elevations [Elevationer]	The angle relative to horizontal at which the radar beam is admitted. Ideally the elevation closest to horizontal [0°] is the best measure of the rainfall at the surface, but it is also the elevation most polluted by ground clutter and other non-rain related echoes.
Ground clutter [Overflade echoer]	Non-precipitation signals due to the radar beam being diverted or reflected by objects on or near the ground. Examples are tall building, bridges, wind farms, or even dust or pollution in the lower atmosphere. Ground clutter will not move in time, but small differences in the signal will still be seen due to atmospheric conditions changing over minutes and with seasons. Therefore, ground clutter is not constant, and some care must be taken to adjust for ground clutter. Sidelobe effects are also typically grouped with ground clutter.
HDF5	Hierarchical Data Format – version 5. Data format for storing and organizing large amounts of data. [https://support.hdfgroup.org/HDF5/]
OPERA	European O perational P rogram for E xchange of Weather RA -dar Information. European collaboration for operationally oriented weather radar issues, including development, distribution, and generation of high-quality pan-European radar data. [http://www.eumetnet.eu/opera]
Pixels/Bins/Gates [Pixler – opløsning]	The unit spatial area where the radar reflectivity is determined. This is a ring-segment with a height equal to the radial resolution [in meters] and a width in the azimuthal resolution [in degrees].
Plan position indicator (PPI)	Plan position indicator is a type of radar display with the radar in the center and a continuous update of the plot with the sweeping beam, drawn one elevation on top of the last.
Quantitative precipitation estimation (QPE) [Kvantitativ nedbørsestimering]	An estimation (approximation) of the amount of precipitation that has fallen at a specified location or a specified across a region.
Quantitative precipitation forecast (QPF) [Kvantitativ nedbørsprognose]	An estimation (approximation) of the expected amount of melted precipitation accumulated over a specified time at a specified location or across a specified area
Radial resolution [Radial opløsning]	The number of bins for a given distance that the beam travels away from the radar. This is linked to the frequency and shape of the radar pulse and varies with types of radar. Examples ranges from 50m for a high-resolution X-band radar to 2 km for a low-resolution C-band radar.
Radials [Radialer]	The center lines of the radar beams as they are emitted from the radar. The distance between two adjacent radials is the azimuthal resolution.

Reflectivity (Base reflectivity) [Reflektivitet]	The relative amount of power returned to the radar compared to the transmitted power. It is a function of the atmosphere, the system and other reflective surfaces and particles in the surroundings. Unit of reflectivity (Z) is mm^6/m^3 .
Sea clutter [Bølge echoer]	Effects of reflections of the water surface – typically from waves.
Sidelobes [Sidereflektans]	Unlike laser beams, radar beams are not perfectly straight beams, but rather imperfect cones of energy. The implication is that some of the energy transmitted will be received at other frequencies and from other directions than the intended. These effects appear as contamination along with ground clutter.
Sub and Super-refraction Anomalous propagation [Refraktion]	Bending of the radar beam due to changes in the density of the air through which it travels. Often this is simplified into a vertical description of the variability (i.e., constant over the area) as a VPR.
Sun flares External emitters [Falske echoer]	Signals received from transmitters sending on or near the same frequencies as the radar signal. Can be other radars, certain wireless networks. Named as sun flares because they appear on the map as a sun beam.
Vertical Profile of Reflectivity (VPR) [Vertikalt reflektivitet profil]	Precipitation is 3-dimensional in space. The vertical distribution of precipitation (and thus reflectivity) is typically non-uniform. As the height of the radar beam increases with the distance from the radar location (beam elevation, earth curvature), one sweep samples from different heights. The effects of the non-uniform VPR and the different sampling heights need to be accounted for to accurately estimate the precipitation near the ground or at a defined height.