

Klimaændringers konsekvenser for vandløbsafstrømningen

- Et modelstudie af Gerå

Line Bønnelycke Nørgaard (Anlæg & Miljø, SEGES)

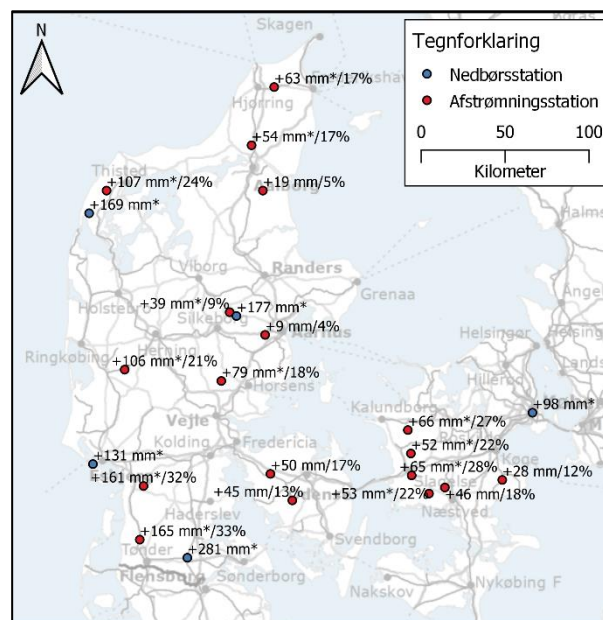
Afstrømningens udvikling i Gerå er blevet analyseret og sammenlignet for perioderne 1900-1929, 1989-2018 og 2041-2070 via hydrogeologisk modellering med en model repræsenterende vandløbet under regulativmæssige forhold. Målet med undersøgelseerne er at generere viden om udviklingen i et vandløbs afvanding, da denne viden er vigtig i det videre arbejde med at finde løsninger på håndtering af de stigende vandmængder i vandløbene, således udbyttetab grundet vandlidende jorde kan reduceres, samtidig med at miljøkrav og vandløbsregulativer overholdes.

De seneste år er vejr- og klimamæssige rekorder blevet slået på stribet. År 2019 har ikke været en undtagelse, hvor Danmark oplevede det vådeste efterår nogensinde (Brandt, 2019). I alt faldt der 349 mm nedbør i løbet af de tre efterårsmåneder. Dermed er rekorden på 327 mm fra 1967 slået med 22 mm (DMI, 2019). Dette har resulteret i, at mange af de danske vandløb er gået over deres bredder. Vandløbene har dermed ikke været i stand til at afvande oplandet tilstrækkeligt, givet de store nedbørsmængder, hvilket har ført til vandlidende jorder og store oversvømmede arealer i det åbne land (Hansen, 2019).

Historisk udvikling i vandløbsafstrømningen

Den gennemsnitlige årsnedbør i Danmark er siden 1870'erne steget med ca. 100 mm (Olesen *et al.*, 2014). Dette har resulteret i en ændring af afledningsbehovet i mange danske vandløb. Det viser en analyse af 80 års vandføringsdata fra perioden 1935 til 2015, hvor afstrømningen i de danske vandløb er steget med ca. 24% henover den analyserede periode. I flere af vandløbene er stigningen observeret i både minimums- og maksimums-afstrømningen (Poulsen *et al.*, 2017). Det er specielt efterårs- og vintermånedene (september - marts) samt juni, som er blevet vådere, mens april, juli og august viser en tendens til at være blevet tørrere.

Den stigende nedbør har medført større grundvandsdannelse i vinterperioden, som via det øvre grundvand, infiltrerer til vandløbene om foråret og sommeren. Dermed er der en øget afstrømning hele året, trods en tendens til mindre sommernedbør (Larsen *et al.*, 2005). Ændringerne i både nedbør og afstrømning udviser store regionale forskelle (figur 1). Generelt er de største stigninger i nedbør og afstrømning observeret i Vest- og Sønderjylland (Poulsen *et al.*, 2017).



Figur 1. Oversigt over ændring i vandløbsafstrømning [mm/%] og nedbør [mm] i perioden 1935 – 2015. Signifikante trends ($p < 0,05$) er markeret med en stjerne (*). Modifieret efter (Poulsen *et al.*, 2017).

Andre årsager til øget afledningsbehov

De stigende vandløbsafstrømninger kan også tilskrives andre faktorer. Dette er bl.a. ændringer i arealanvendelse (mere befæstet areal; færre vådområder, moser og enge) og ændrede afvandringsforhold (Larsen *et al.*, 2005). For eksempel vurderes det, at andelen af drænedede landbrugsarealer er steget fra 22% til 50% fra år 1900 til 2015 (Poulsen *et al.*, 2017).

Konsekvenserne ved stigende vandløbsafstrømninger er først og fremmest, at vandløbenes kapacitet kommer under pres, og vandløbsnære arealer bliver vandlidende og oftere oversvømmes. Desuden ændres afvandings dynamik. Dette kan medføre, at vandløbenes dimensioner vil ændres, stoftransporten øges og afvandingen forringes (Larsen *et al.*, 2003; Larsen *et al.*, 2005).

Når vandløbets kapacitet er under pres, kan dette resultere i neddykkede drænledninger, hvorved markerne ikke kan drænes. Konsekvensen af dette er udbyttetab, idet afgrøderne drukner og maskiner ikke kan køre på marken. Ved kørsel med tunge maskiner på fugtig jord, risikeres der at opstå uoprettelige skader på jordstrukturen, som fører til yderligere hydrauliske udfordringer på marken (Filsø *et al.*, 2018).

I forbindelse med industrialiseringen af landbruget og de store dræningsperioder (1860-1900 og 1930-1970) blev mere end 90% af vandløbene rettet ud, omlagt eller nyanlagt og nedgravede i dimensionering med de systematiserede drænanlæg på markerne og tilpasset de daværende hydrologiske forhold for at sikre en god og effektiv afvanding (Gertz *et al.*, 2012; Lindegaard-Petersen & Sand-Jensen, 2004).

I dag restaureres flere vandløb for at vende tilbage til de naturlige mæandrerende forløb, og tendensen er i højere grad, at naturværdi og miljøhensyn har fået større betydning i samfundet. Disse hensyn er indarbejdet i vandløbsregulativerne, som fastsætter et vandløbs skikkelse eller vandførings-ejne, herunder regulativvandstande samt vandløbets vedligeholdelse.

Dræningen og afvandingen blev for mere end 50 år siden dimensioneret til at passe til de daværende hydrologiske forhold. Disse har nu ændret sig (Olesen *et al.*, 2014; Poulsen *et al.*, 2017). Samtidig er fokus ændret fra rent afvandingsmæssige hensyn til også at inkludere natur- og miljøværdier, hvilket regulativerne gerne skulle tage hensyn til. Dette har haft en konsekvens for landbruget og flere og flere landmænd oplever problemer med

vandlidende vandløbsnære arealer og hyppigere oversvømmelser.

Klimasikring i fremtidens vandløbsforvaltning

Samtidig antyder prognoserne for fremtidens klimaforandringer at årsmiddelnedbøren forøges, specielt vinterne nedbøren øges markant mod slutningen af det 21. århundrede (Olesen, 2015). Dette betyder, at fremtiden kan byde på endnu større afvandingsbehov, og at opretholde god afvanding i vandløbene er således afgørende for at sikre land og byer mod, at der ikke opstår flere afvandingsproblemer i form af kortvarige oversvømmelser og/eller længerevarende vandlidende jorder.

Det står klart, at Danmark har udfordringer med øget nedbør, og det tyder på, at der er en manglende sammenhæng mellem afvandingsbehovet og vandløbenes afvandingsevne. Dette skal håndteres, og således har et ekspertudvalg nedsat i 2016 haft til formål, at komme med forslag til hvordan den danske vandløbsforvaltning kan ændres, så afvandingskapaciteten opretholdes under ændrede klimaforhold, samtidig med at der værnes om natur og miljø. I ekspertudvalgets endelige rapport foreslås, at fremtidens vandløbsforvaltning tager højde for fremtidens klima, da det står klart, at vi både nu og i fremtiden skal håndtere større vandmængder (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017).

SEGES har derfor undersøgt og sammenlignet afvandings udvikling i perioderne 1900-1929, 1989-2018 og 2041-2070 i et udvalgt projektområde bestående af vandløbet Gerå og dets hydrologiske opland, som er beliggende i Nordjylland.

Modellering af afvandingsbehovet i Gerå

Gerå er 27 km lang, og systemet består i alt af 91 km vandløbsstrækninger, som afvander 154 km². Projektområdet er udvalgt grundet en historik med et stort afvandingsbesvær af vandløbsnære landbrugsarealer samt store arealer med vandlidende jorde i hele området. Af figur 2 (Figur 2 ses et eksempel på vandlidende jorde fra projektområdet).

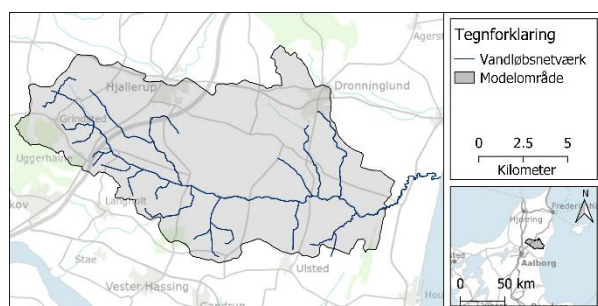


Figur 2. Oversvømmede markarealer langs Gerå d. 29/1 2020.

Vandføringen i Gerå undersøges for et fortids-, nutids- og fremtidsscenario. Herudfra belyses udviklingen samt effekten af fremtidens klimaforandringer.

Model opsætning

Til modelleringen benyttes en dynamisk koblet grundvands- og overfladevandsmodel (MIKE SHE og MIKE HYDRO River). Modellen af Gerå, som der arbejdes med i projektet, er opstillet af DHI i 2008. Her er der opstillet to forskellige vandløbsmodeller i MIKE HYDRO River, en model der afspejler virkeligheden og en regulativmodel. Den model, som skal repræsentere de virkelige forhold, indeholder de seneste opmålte tværsnit (opmålt mellem 1995 og 2017) og er i dette projekt tilpasset de nuværende forhold og opdateret med nyeste datainputs. Regulativmodellen indeholder de tværsnit og koter, som er angivet i hvert enkelt vandløbsregulativ for vandløbene i modelområdet. Modelområdet og Gerå's vandløbsnetværk fremgår af figur 3.



Figur 3. Modelområde og Gerå vandløbsnetværk.

Den regulativtro vandløbsmodel danner baggrund for analysen af systemets respons under regulativmæssige betingelser, hvor den virkelighedstro model er benyttet til kalibrering og validering af modellen. For at belyse effekten af observerede og

Promilleafgiftsfonden for landbrug

forventede fremtidige klimaændringer på afstrømningen er følgende tre scenarier simuleret:

- Fortid: Simuleret for perioden 1900-1929
- Nutid: Simuleret for perioden 1989-2018
- Fremtid: Simuleret for perioden 2041-2070

I grundvandsmodellen fastholdes inputs bestående af; arealanvendelse, topografi, dræning og geologi for alle tre tidsperioder. Disse inputs vil variere i tid, men der findes ikke et tilstrækkeligt datagrundlag for variationerne, og derfor er disse fastholdt scenarierne imellem. Specielt ændringer i arealanvendelse og dræning kan have betydning for afstrømningen og grundvandsstanden, hvilket bør inddrages i vurderingen af resultaterne og sammenligningen af afvandingsudviklingen i vandløbet m.m.

Tidsvarierende inputdata

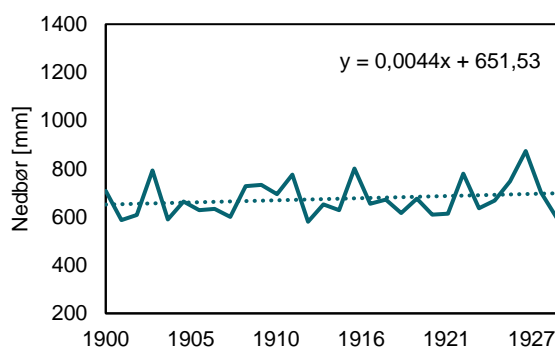
Klimadata, i form af nedbør, fordampning og temperatur, er tidsvarierende i de tre scenarier imellem, det samme er gældende for havvandstanden. En oversigt over inputdatene for hvert scenario, fremgår af tabel 1.

Tabel 1. Oversigt over tidsvarierende inputdata i modellen for både fortids- (1900-1929), nutids- (1989-2018) og fremtidsscenarioet (2041-2070).

	Klima	Havvandstand
Fortid	Stedlig korrigerede historiske data	Stedlig korrigeret tidsserie fra Frederikshavn
Nutid	DMI Klimagrid	Historisk data fra hals havn og stedlig korrigeret data fra Frederikshavn
Fremtid	Simuleret klimadata på baggrund af klimamodeller	Opskaleret historisk data baseret på DMI klimaAtlas

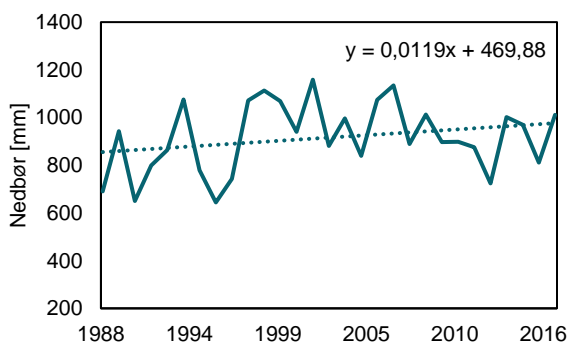
Analyse af klimadata

Det stedlig korrigerede årsnedbørsdata for fortids-scenariet (1900-1929) fremgår af figur 4. Gennem denne 30-årige periode er årsnedbøren steget med ca. 7%.



Figur 4. Udvikling i årsnedbør for perioden 1900-1929 i projektområdet, data baseret på DMI's historiske målinger (Chappelen, 2019).

Årsmiddelnedbøren i perioden 1900-1929 er 675 mm, hvor den for perioden 1989-2018 er 916 mm. Dermed er årsnedbøren 26% højere i dag end i starten af det 20. århundrede. I det fremtidige scenarie, som dækker over 2041-2070, benyttes data svarende til FN's klimascenarie RCP8.5, som er det højeste udledningsscenario af klimapanelets fire scenarier. For denne periode er årsmiddelnedbøren 1078 mm, dermed forventes nedbøren at stige med yderligere 16% frem mod midten af det 21. århundrede. Udviklingen i årsnedbøren for perioden 1989-2018 fremgår af figur 5, gennem denne periode er der sket en stigning på 15% svarende til 126 mm.

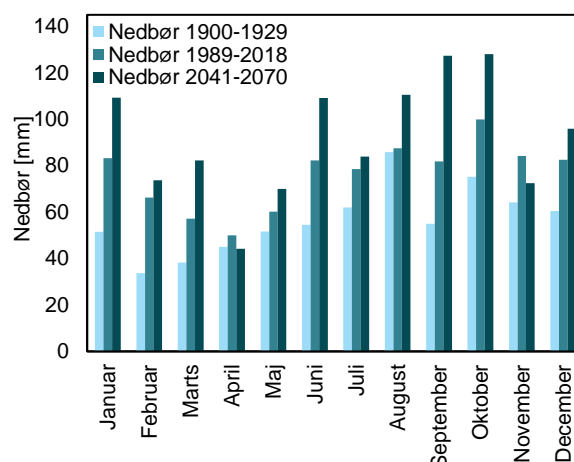


Figur 5. Udvikling i årsnedbør for perioden 1989-2018 i projektområdet, data baseret på DMI's klimagrid (Wang & Scharling, 2010).

Dette viser en klar stigning i årsmiddelnedbøren i området, samt en forventet stigning i fremtiden. Ydermere er den maksimale observerede døgnnedbør i perioden 1989-2018 på 92 mm, og for perioden 2041-2070 er den maksimale simulerede døgnnedbør 159 mm. Dermed forventes det, at der i fremtiden vil falde mere nedbør og dermed forekomme større nedbørshændelser. Af figur 6

Promilleafgiftsfonden for landbrug

fremgår den gennemsnitlige nedbør på månedsbasis for de tre perioder.



Figur 6. Gennemsnitlig månedsnedbør for de tre udvalgte tidsperioder.

Figur 6 viser, at der mellem fortid- og nutidssceneriet generelt er sket en stigning i nedbørsmængderne. Dette specielt i vinter- og efterårsperioden, hvor den største stigning er sket i september (49%), januar (62%), februar (96%) og marts (50%). Yderligere er nedbøren steget meget i juni (51%).

I fremtiden forventes den største stigning i månedlig nedbør sammenlignet med nutidssceneriet at ske i januar (31%), marts (44%), juni (32%) samt august (26%), september (56%) og oktober (28%). I både april og november forventes nedbøren at falde med henholdsvis 12% og 14% i fremtiden. Dette tyder på, at vi i fremtiden ikke kun vil opleve generelt mere nedbør og mere intens nedbør, men også et andet nedbørsmønster henover året.

Resultaterne for det ændrede nedbørsmønster stemmer overens med lignende studier på området, som også finder frem til, at det specielt er i efterårs- og vintermånederne samt juni, som er blevet, og fortsat vil blive, vådere. Modsat viser mange studier, at sommerperioden i fremtiden forventes at blive tørrere. Dette stemmer ikke overens med resultaterne i dette projekt, som viser, at projektområdet vil blive vådere om sommeren. Dette kan skyldes, at dette projekt er områdespecifikt for Gerå oplandet, hvor andre studier er foretaget på landsplan samt andre steder i Danmark.

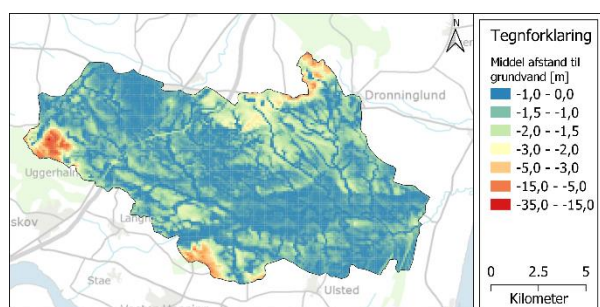
Kalibrering og validering af modellen

Modellen er kalibreret og valideret op mod vandløbsdata fra en målestation placeret hvor Gerå løber ud af modelområdet samt syv pejlingstidsserier fra borerer fordelt i området. Modellen overholder nøjagtighedskriteriet for en overslagsberegning (Sonnenborg & Henriksen, 2005). Dette er et acceptabelt nøjagtighedsniveau i den givne sammenhæng, idet formålet med modellen er at sammenligne tendenser for forskellige scenarier.

Modelresultater

Modelresultater for fortidsscenariet 1900-1929 er ikke direkte sammenlignelige med de andre scenarier, idet nedbør, temperatur og fordampning ikke findes på daglig basis men er midlet på månedsbasis. Således kommenteres på tendensen for fortidsscenariets resultater, men konkrete værdier præsenteres ikke.

I modellen simuleres hele det hydrologiske kredsløb, herunder grundvandsstanden. Grundvandet er tættest på terræn langs vandløbsnetværket og områder med lavt terrænniveau. Langs kanten af modelområdet, mod både nord og syd, er afstanden fra terræn til grundvand størst. Dette hænger sammen med, at dette er de områder med højest terrænniveau. Den gennemsnitlige afstand fra terræn til grundvand for perioden 1989-2018 for hele modelområdet, fremgår af figur 7.



Figur 7. Middel afstand fra terræn til grundvand, på baggrund af MIKE SHE-simulering i perioden 1989-2018.

For alle tidsperioder beregnes den gennemsnitlige afstand fra terræn til grundvandsspejl samt gennemsnittet af den største og mindste afstand, for hele området. Resultaterne for dette fremgår af tabel 2.

Tabel 2. Gennemsnitlig middel, minimum og maksimum afstand fra terræn til grundvandsspejl for hele modelområdet.

	1989-2018	2041-2070
Middel [m]	2,26	2,18
Min. [m]	1,05	0,99
Maks. [m]	2,85	2,72

Resultaterne viser, at der i fremtiden generelt vil være en højere grundvandsstand i modelområdet. Middel, minimum og maksimum grundvandsstanden vil i gennemsnit over hele modelområdet ligge hhv. 8 cm, 6 cm og 13 cm tættere på terræn. Der er dog store lokale variationer. Enkelte steder i modelområdet vil det gennemsnitlige grundvandsniveau meget lokalt falde omtrent en meter i fremtiden, og andre steder vil grundvandsstanden lokalt stige med op til en meter. Dette grunder i en forskel i den lokale grundvandsindvinding mellem scenarierne. Men i størstedelen af projektområdet vil niveauet stige med 2-15 centimeter.

Stigende afstrømning i vandløbet

Resultaterne på baggrund af de simulerede tidsperioder viser, at afstrømningen i vandløbet stiger i fremtiden. I forhold til nutidsscenariet viser tendensen for fortidsscenariet en lavere vandføring, formentlig grundet at der generelt er en lavere årsnedbør i denne periode. Resultaterne for den gennemsnitlige middel-, minimum- og maksimumvandføring, for nutids- og fremtidsscenariet, fremgår af tabel 3, hvoraf det ses, at vandføringen forventes at stige.

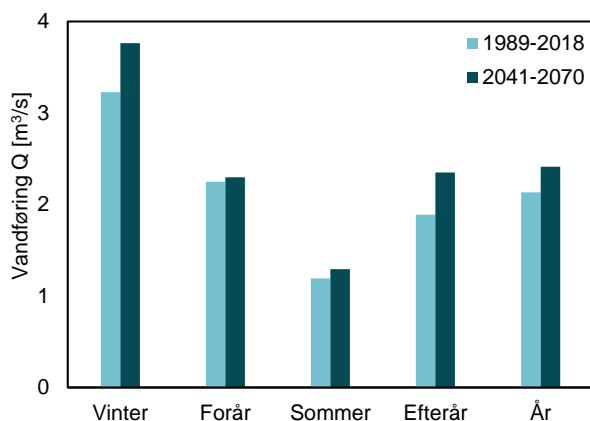
Tabel 3. Gennemsnitlig middel-, maks- og minimumvandføring for det simulerede nutids- og fremtidsscenario.

	1989-2018	2041-2070
Middel [m ³ /s]	2,13	2,41
Min. [m ³ /s]	0,80	0,84
Maks. [m ³ /s]	7,87	8,77

Simuleringerne viser en stigning i vandføringen mellem nutids- og fremtidsscenariet, idet middel årsafstrømning for 2041-2070 er 13% højere end middel for nutidsscenariet. Dertil er den største simulerede vandføring også 12% højere i fremtidsscenarioet. Dette er i overensstemmelse med, at der

for det fremtidige klimascenarie forventes generelt mere nedbør samt større nedbørshændelser.

Af figur 8 fremgår sæson- og årsmiddelaflstrømningen for nutids- og fremtidsscenariet, beregnet på baggrund af modelsimuleringerne.



Figur 8. Simuleret sæson- og årsmiddelaflstrømning for de simulerede perioder.

Resultaterne viser, at det især er i efterårs- og vinterperioden, at der i fremtiden vil forekomme en højere afstrømning i vandløbet. Årsagen til, at der især ses en stigning i vinterafstrømningen er, at der som tidligere konstateret vil falde mere nedbør i denne periode, men også at en stor del af nedbøren om vinteren falder som overskudsnedbør. Dette, kombineret med en dertil højere grundvandsstand i fremtidsscenariet, resulterer i en højere afstrømning i vandløbet over hele året.

For vandstanden ses samme tendenser som for vandføringen, hvor vandstanden generelt er lavere i nutidsscenariet og højest i fremtidsscenariet. Gennemsnitlige vandstande for de simulerede perioder fremgår af tabel 4. Det skal bemærkes, at vandstanden bl.a. er afhængig af grøden i vandløbet. For begge scenarier simuleres med samme vedligeholdelse af vandløbet.

Tabel 4. Gennemsnitlig middel-, minimum- og maksimumvandstand for den simulerede nutids- og fremtidsperiode.

	1989-2018	2041-2070
Middel [m]	1,01	1,08
Min. [m]	0,71	0,73
Maks. [m]	1,96	2,13

Både den årlige middel vandstand samt gennemsnittet af den årlige minimale og maksimale vandstand stiger i fremtiden. Disse tendenser betyder i sidste ende, at vandstanden vil stå over dræn- og brinkkote oftere end det hidtil er set, hvis vandløbs skikkelse fastholdes i scenarierne.

Konklusion

Ud fra de modelbaserede undersøgelser, kan det konkluderes, at fremtidens klima er præget af større nedbørsmængder samt større og hyppigere ekstremhændelser. Desuden vil der i fremtiden være større sæsonmæssige udsving i nedbøren. Dette resulterer i højere vandstande og vandføringer i vandløbsnetværket i fremtiden, hvilket betyder at afvandingsbehovet øges.

Den øgede mængde nedbør og resulterende højere vandstand vil sandsynligvis føre til hyppigere og længerevarende oversvømmelser af vandløbsnære jorder. Da det især er i høstperioden (august – oktober), at nedbøren stiger i fremtiden, giver dette større risiko for, at landbrugsmaskiner i denne periode ikke kan køre på marken. Generelt set vil der opleves dårligere afvandingsforhold under fremtidens klima, givet at vandløbsforholdene fastholdes svarende til nuværende regulativmæssige forhold.

En konsekvens af fremtidens klima er også større risiko for sedimenttransport og brinkerosion i systemet, givet hyppigere og voldsommere ekstremnedbørshændelser. Dette udfordrer afvandingen yderligere, idet der ved erosion kan ske en forringelse af afvandingsforholdene. Dette stiller høje krav til fremtidens vandløbsvedligeholdelse.

Både øget sedimenttransport, brinkerosion og oversvømmelser har en negativ effekt på miljøtilstanden i vandløb. Erosion og sedimenttransport er med til at ødelægge levestederne for vandløbs dyr og planter. Desuden øges næringsstofudvaskningen, idet de næringsstoffer, som er bundet til jorden, skylles med partiklerne ud i søer, fjorde og have. Længerevarende oversvømmelser resulterer i stillestående iltfattigt vand, som ved næste regnskyll bringes tilbage i vandløbssystemet og risikerer

at medføre akut fiskedød. Det er derfor vigtigt at tage stilling til fremtidens klima i forbindelse med fremtidens vandløbsforvaltning, som regeringens ekspertudvalg også påpeger i deres rapport i 2017 (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017). Der bør således tages højde for klimaforandringer ved at indarbejde disse i nye vandløbsregulativer. Herved vil fremtidens regulativer kunne imødekomme fremtidens klima.

Anerkendelse

Forfatteren takker GEUS og DMI for samarbejde og villighed til at stille data til rådighed.

Referencer

- Brandt, A. (2019). *Rekordvådt efterår – så meget vand er der faldet i din kommune*. Hentet fra vejr.tv2.dk: <https://vejr.tv2.dk/2019-12-02-rekordvaadt-efteraar-saa-meget-vander-der-faldet-i-din-kommune>
- Chappelen, J. (2019). Denmark - DMI Historical Climate Data Collection 1768-2018. Danish Meteorological Institute. Copenhagen: DMI.
- DMI. (2019). *Vejrarkiv*. Hentet fra dmi.dk/vejrarkiv/
- Filsø, S. S., Laursen, R. K., Gertz, F., Hvid, S. K. (2018) *kortlægning og undersøgelse af årsager til dårlig dræning og afvanding samt mulige løsninger*. SEGES
- Gertz, F., Hvid, S. K., & Nielsen, J. A. (2012). *Landbrugets behov for afvanding og markvanding*. Vand & Jord, Vand på landet, 19. årgang nr. 2, s. 49-52.
- Hansen, J. L. (2019). *Mættede jorde giver store oversvømmelser i Danmark*. Hentet 3. december 2019 fra [vejr.tv2.dk: https://vejr.tv2.dk/2019-10-28-maettede-jorde-giver-store-oversvoemmelse-i-danmark](https://vejr.tv2.dk/2019-10-28-maettede-jorde-giver-store-oversvoemmelse-i-danmark)
- Larsen, S. E., Kronvang, B., & Ovesen, N. B. (2003). *Udviklingen i vandafstrømningen og nedbøren i Danmark de seneste 85 år*. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser, Miljøministeriet.
- Larsen, S. E., Kronvang, B., Ovesen, N. B., & Christensen, O. B. (2005). *Afstrømningens udvikling i Danmark*. Vand & Jord. 12. årgang nr. 1, s. 8 – 13.
- Lindegaard-Petersen, C., & Sand-Jensen, K. (2004). *Ferskvandsøkologi, Vandløbenes form, strøm og temperatur*. Gyldendal.
- Miljø- og Fødevareministeriet. (2017). *Rapport fra ekspertudvalget til ændret vandløbsforvaltning*.
- Olesen, M. (2015). *Fremtidens nedbør*. Hentet 2. december 2019 fra <https://www.klimatilpasning.dk/viden-om/fremtidens-klima/klimaendringeridanmark/%C3%A6ndringer-i-nedboer/fremtidens-nedboer/>
- Olesen, M., Madsen, K. S., Ludwigsen, C. A., Boberg, F., Christensen, T., Cappelen, J., . . . Christensen, J. H. (2014). *Fremtidige klimaforandringer i Danmark*. Danmarks Klimacenter rapport, Danmarks Meteorologiske Institut.
- Poulsen, J. R., Thodsen, H., Larsen, S. E., Ovesen, N. B., Kronvang, B., Chrisensen, B. T., . . . Tornbjerg, H. (2017). *Estimation of Nitrogen Concentrations from root zone to marine areas around the year 1900*. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy ©.
- Sonnenborg, T. O., & Henriksen, H. J. (2005). *Håndbog i grundvandsmodellering*. GEUS.