

Ørredhabitater og klimaforandringer

Undersøgelse af klimaforandringers påvirkning
på egnede ørred habitatarealer i Kastbjerg Å, ved Mariager Fjord



Speciale i naturgeografi, Aalborg Universitet

Af Mette Nymann Pedersen

DATABLAD

Titel:	Ørredhabitater og klimaforandringer
Forfatter:	Mette Nymann Pedersen
Projekt:	Kandidatspeciale
Uddannelse:	Naturgeografi, Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg Universitet
Projekt periode:	1. juni 2015 til 5. januar 2016
Vejleder:	Morten Lauge Pedersen
ECTS:	37,5
Emneord:	Klimaforandringer, kalibrering, NAM, vandløb, ørredhabitat, habitatmodellering, CASiMiR.
Fotos:	Alle fotos er taget af forfatteren eller hjælpere medmindre andet er angivet.

Gengivelse og brug af rapportens indhold er tilladt med tydelig kildeangivelse.

RESUMÉ

I Danmark findes omkring 65.000 km vandløb. Hvorvidt et vandløb har en god tilstand kan blandt andet afgøres på baggrund af dyrelivet i vandløbet. I dette projekt undersøges ørred, på grund af deres meget specifikke krav til levested. En selvreproducerende ørredbestand er en indikation på god økologisk tilstand i vandløbet. I Danmark er man i gang med at forbedre vores vandløb, men viden om hvordan forandringer i klimaet vil påvirke de enkelte vandløb, og deres tilstand er begrænset.

Dette projekt tager udgangspunkt i vandløbet Kastbjerg Å, der har udløb i Mariager Fjord. Det undersøges først, hvorvidt der vil ske klimaforandringer omkring Kastbjerg Å, og i så fald hvordan forandringerne vil påvirke ørredhabitaterne. Undersøgelsen foretages med udgangspunkt i følgende hypotese: *Ændringer i klimaet vil resultere i mindre gunstige fysiske betingelser for ørred i fremtiden.*

Hypotesen undersøges ved at benytte en nedbørs-afstrømnings model (NAM), der er bias korrigeret med delta change metoden, til at simulere fremtidens klima på baggrund af historiske data. Der udføres en række klimasimuleringer, der gennemføres med forskellige klimamodeller, således at variationen i fremtidsestimeringerne undersøges. Fremtidsestimeraterne analyseres i forhold til historiske data fra Kastbjerg Å. For at estimere om fremtidens klima vil betyde mindre ørredhabitater, benyttes habitatmodellen CASiMiR, til at vurdere hvordan ørredhabitaterne ændres ved forskellige vandføringer, i en delstrækning af vandløbet nær udløbet.

Klimaestimeringerne udarbejdet på baggrund af 11 klimamodeller viste en stor variation, og der er således stor usikkerhed om hvordan det fremtidige klima forventes at blive, og dermed også hvorvidt de egnede ørredhabitater vil blive mindre i fremtiden. Hvis fremtiden bliver som projekteret af klimamodel ARPEGE-RM5.1, vil ændringerne i middelvandføringen betyde mindre habitatarealer for yngel og voksen ørred, og lidt større arealer for juvenil. Skulle fremtiden til gengæld følge ECHAM5-REMO eller ECHAM5-HIRHAM4 vil det betyde mindre habitatarealer ved middelvandføringen for juvenil ørred og større habitatarealer for yngel og voksen ørred.

ABSTRACT

In Denmark there are approximately 65,000 km of rivers. Whether a river has a good condition is among other things determined on basis of the fauna in the river. In this project trout is being investigated, because of its very specific requirements for their habitat. A self-reproducing trout population indicates a good ecological state in the river. In Denmark work is being made to improve the rivers but knowledge about how climate changes will affect the individual rivers and their condition is limited.

This project is based on the river Kastbjerg Å that has its outlet in Mariager Fjord. Firstly it is investigated whether or not the climate will change around Kastbjerg Å and if so how the changes will affect the trout habitats. The study is made based on the following hypothesis: *Changes in the climate will result in less favorable physical conditions for trout in the future.*

The hypothesis is investigated using a rainfall-runoff model (NAM), which is bias corrected with the delta change method to simulate future climate based on historical data. A series of climate simulations made with different climate models so that the variation in estimations of the future is examined. The estimates of the future are analyzed in relation to historical data from Kastbjerg Å. In order to estimate if the future climate will result in smaller trout habitats the habitat model CASiMiR is used to assess how the trout habitats will be altered at different discharges in a section of the river near the outlet.

Climate estimations made based on 11 climate models showed a great variation and thus there is a great uncertainty regarding, how the future climate is expected to be and thereby also whether the suitable trout habitats will be smaller in the future. If the future will become as projected by climate model ARPEGE-RM5.1 the changes in mean discharge will mean smaller habitat areas for trout fry and adults and slightly larger areas for juvenile. If the future on the other hand follows ECHAM5-REMO or ECHAM5-HIRHAM4 it will mean smaller habitat areas at mean discharge for juvenile trout and larger habitat areas for fry and adult trout.

FORORD

Dette speciale er afslutningen på kandidatuddannelsen i geografi med specialisering i naturgeografi, ved Aalborg Universitet. Rapporten er udarbejdet i samarbejde med vejleder Morten Lauge Pedersen fra Institut for Byggeri og Anlæg, der skal have stort tak for konstruktiv vejledning undervejs i specialet. Tak til Ronni Fjordvald Søe for en hjælpende hånd undervejs i projektet. Samt tak til Henrik Ozol, der har været en stor hjælp i forbindelse med prøvetagning og motivation undervejs i projektet.

Oplysninger, som findes supplerende i forhold til rapportens indhold er vedlagt som bilag. Bilag, der refereres til som tal, er vedlagt bagerst i rapporten, mens bilag refereret til som bogstaver, er at finde på vedlagte cd-rom. Bagerst i rapporten er der udformet en litteraturliste med anvendte kilder, disse er skrevet efter Harvard metoden.

Mette Nymann Pedersen

Oplagstal: 3

Sideantal: 62

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	Introduktion	3
2	Hypotese	5
3	Case område: Kastbjerg Å	6
4	Fremtids projektering.....	11
4.1	NAM kalibrering.....	11
4.2	Fremtidsestimering	13
4.3	Tidsserieanalyse	15
4.3.1	Data	15
4.3.2	Trend analyse	16
4.3.3	Ekstrem værdi analyse	17
4.4	Habitatmodellering	18
4.4.1	Præferenceværdier for ørred	20
4.4.2	Input CASiMiR	22
5	Præsentation af resultater	24
5.1	Fremtidsestimering	24
5.2	Tidsserieanalyse	36
5.2.1	Trend analyse	36
5.2.2	Statistiske værdier	37
5.2.3	Ekstremmaksimum og -minimum.....	40
5.3	Habitatmodellering	41
6	Analyse og evaluering af resultater og metode.....	46
7	Konklusion.....	51
8	Videre Forskning.....	53
9	Litteraturliste	54
BILAG 1	NAM model.....	57
BILAG 2	Kalibrering	58
BILAG 3	Delta Change Faktorer	59
BILAG A-F	Oversigt CD.....	61

1 INTRODUKTION

I Danmark findes der omkring 65.000 km vandløb, ca. 90 % af disse er regulerede, hvilket har reduceret den fysiske variation, der naturligt findes i vandløbene i form af meandering, høller og stryg. (Naturstyrelsen u.d.b) I et naturligt vandløb, vil der være en interaktion mellem vandløb og de omkringliggende arealer, således at vandløbet i de tørre sommerperioder får vand fra de omkringliggende arealer, og i våde perioder optager disse arealer vand ved at blive oversvømmet, denne dynamik er mindsket eller fjernet helt, i de regulerede vandløb. Når denne mindskede naturlige dynamik kobles sammen med dræning af landbrugsarealer og udledning af spildevand til vandløbet. Betyder det at nedbøren meget hurtigt kommer ned i vandløbet, hvilket får risikoen for store vandføringsbegivenheder til at stige markant. (Sand-Jensen, Lindegaard 2004)

Regulering af vandløb har en negativ indflydelse på vandløbets dyr og planter. (Brookes 1990) Siden 1970'erne har vi i Danmark været opmærksomme på, hvad der er den laveste acceptable vandføring i vandløb, (Clausen et al. 1993) men der har ikke været samme fokus på den højeste acceptable vandføring, og hvilke konsekvenser de høje vandføringer har for livet i vandløbet. (Naturstyrelsen 2012b)

I Danmark er det EU's vandrammedirektiv, der fastsætter rammerne for hvilken tilstand vandløbene skal have. (Miljøstyrelsen 2001) Hvor formålet bl.a. er *"at forebygge yderligere forringelse og beskytte og forbedre vandøkosystemernes tilstand"* (Miljøstyrelsen 2001: 8). Ifølge Vandrammedirektivet skal omkring 19.000 km af de danske vandløb mindst opnå god økologisk tilstand eller god økologisk potentiale senest i 2021. (Naturstyrelsen 2014)

Vandrammedirektivet 2000 angiver bl.a. fisk som en nøgleart til bestemmelse af et vandløbs økologiske tilstand, pga. fiskenes høje krav til levesteder. (Europaparlamentet, Europarådet 2000, Søndergaard et al. 2013) Heriblandt er ørred en god indikatorart, da ørred stiller store krav til vandløbene: mange fødedyr, stor variation, skal være forholdsvis køligt, samt have en lav forureningsgrad. Så hvis der er en naturlig bestand af ørred, anses vandløbet, for at have en god økologisk tilstand. (Sand-Jensen, Lindegaard 2004, Nielsen 1995, Søndergaard et al. 2013) Selvom ørreden eksisterer i en del vandløb, er fisken truet i Europa. (Nielsen 1995)

Det forudsiges at Danmark i fremtiden vil blive varmere og mere våd, samtidig med at nedbør og temperatur ekstremere vil blive mere ekstreme. Hvordan dette præcis vil foregå lokalt er ikke kendt, og heller ikke hvilken betydning det vil have for de enkelte vandløb, og dermed for målene der er opsat for disse. (Naturstyrelsen 2012b) Med udgangspunkt heri vil dette projekt undersøge,

hvordan fremtidens klima vil påvirke livet i vandløbene. Dette gøres ved at undersøge, hvordan fremtidens klima vil påvirke egnede habitatarealer for indikatorarten ørred, med udgangspunkt i en delstrækning af Kastbjerg Å, der udmunder i Mariager Fjord.

2 HYPOTESE

På baggrund af det ovenstående vil dette projekt først undersøge, om der vil ske klimaforandringer omkring et bestemt vandløb, og i så fald, hvordan forandringerne vil påvirke de egnede ørredhabita-ter. Dette gøres med udgangspunkt i følgende hypotese:

*Ændringer i klimaet vil resultere i mindre gunstige fysiske betingelser
for ørred i fremtiden.*

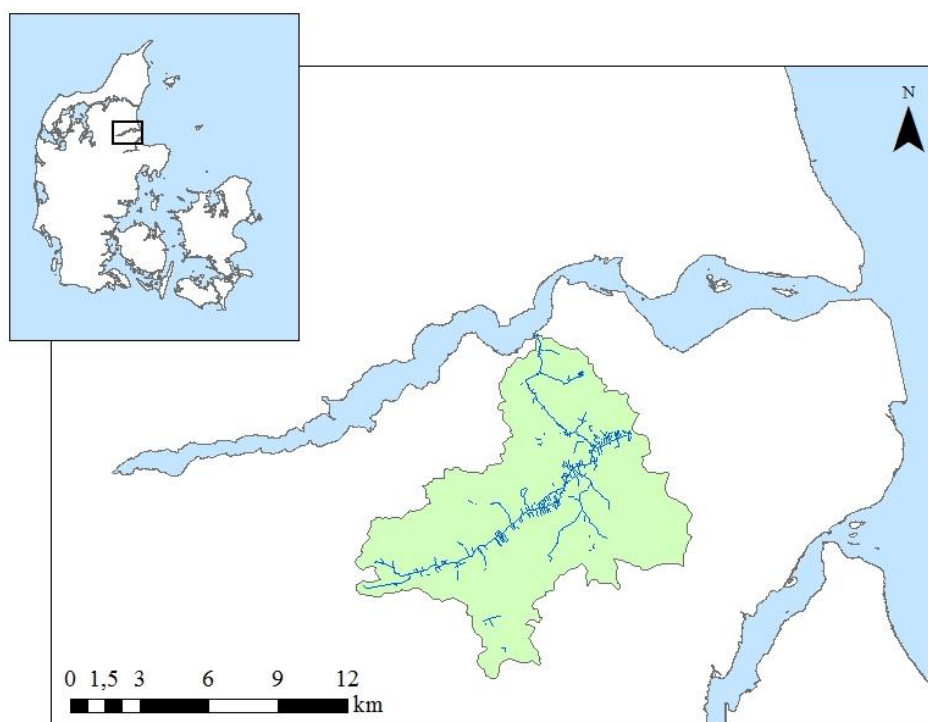
For at kunne af- eller bekræfte hypotesen, undersøges det først, om fremtidens klima vil blive anderledes end i dag. Dette gøres ved at estimere fremtidens klima på baggrund af historiske data. Efterfølgende sammenlignes de historiske tidsserier med de fremtidige, og det vil herefter være muligt at afgøre, om der vil ske en ændring i klimaet.

Hvis dette er tilfældet, analyseres det herefter om de klimatiske ændringer vil betyde, at ørreden vil få dårligere fysiske betingelser. Dette undersøges ved at beregne det egnede habitatareal for ørred ved forskellige vandføringer, hvilket gør det muligt at estimere om de vandføringer, der forventes i fremtiden vil betyde en forøgelse eller en forringelse i egnede habitatarealer, i forhold til de historiske vandføringer.

Til at undersøge dette er et case-område valgt: Kastbjerg Å, med udløb i Mariager Fjord. Vandløbet er forholdsvis stort, med data tilgængelig fra 1976 frem til 2014. Samtidig har vandløbet en naturlig ørredbestand, og er beliggende i et område med naturtypen rigkær, der er fundet særlig bevaringsværdig. (Mariagerfjord Kommune 2013, Jørgensen et al. 2008)

3 CASE OMRÅDE: KASTBJERG Å

Kastbjerg Å udspringer ved Brokhede Plantage og udmunder i Mariager Fjord, nær Assens, og er således beliggende i både Mariagerfjord Kommune og Randers Kommune. (Naturstyrelsen et al. 2012, Jørgensen et al. 2008) Kastbjerg Å og vandløbsoplandet er vist på Figur 3.1. Vandløbet er 19,5 km langt og udspringer af en række kilder, vandløbet er derfor primært grundvandsfødt, men med et oplandsareal på 96 km² er vandløbet også præget af overfladeafstrømning. (Naturstyrelsen et al. 2012, Ovesen et al. 2000) Hovedparten af Kastbjerg Å er kraftigt reguleret, og grødeskæringen i vandløbet har i mange år været hård og omfattende, med negative konsekvenser for livet i vandløbet. (Naturstyrelsen et al. 2012, Naturstyrelsen 2012a)

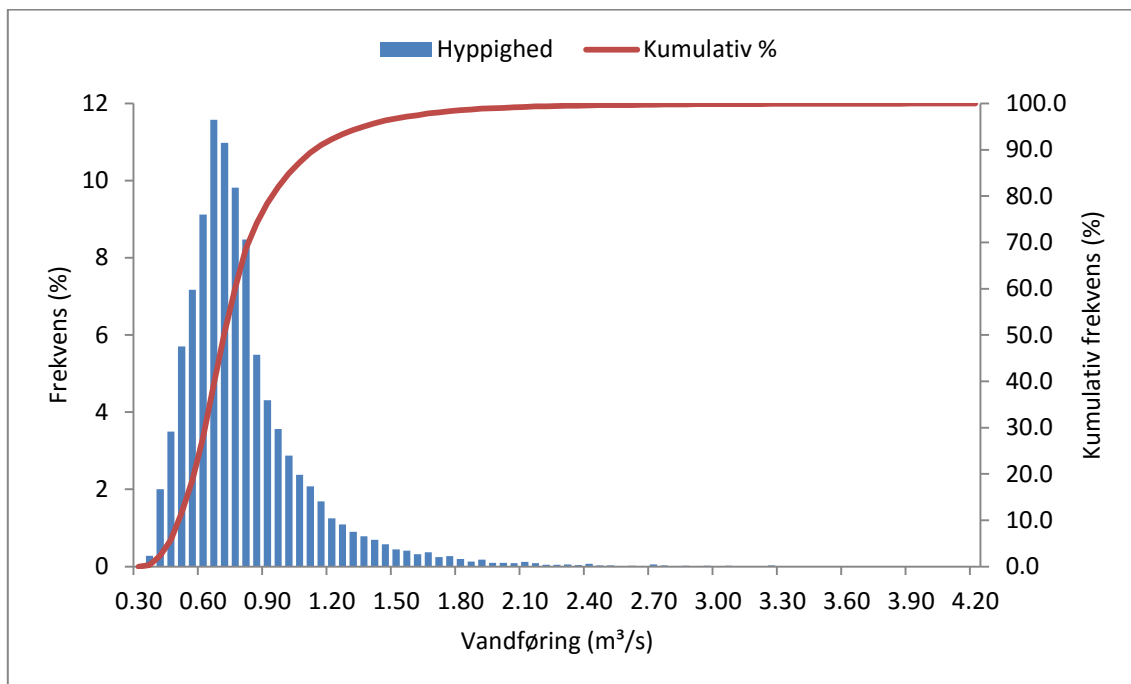


Figur 3.1: Vandløbsopland for Kastbjerg Å. (Copyright (Geodatastyrelsen 2015))

Kastbjerg Å er beliggende i et landskab skabt af Weichel istiden og vandløbet ligger hovedsagligt i tunneldale, der er omgivet af morænelandskab. Området består af en blanding af ler, sand, grus, sten og kalk. Ismasserne skubbede aflejringer med ler og kalk fra kridttid, palæogen og neogen op mod overfladen, samtidig afsatte gletsjerne store mængder sten, grus, ler og sand i området. (Århus Amt, GEUS 2005)

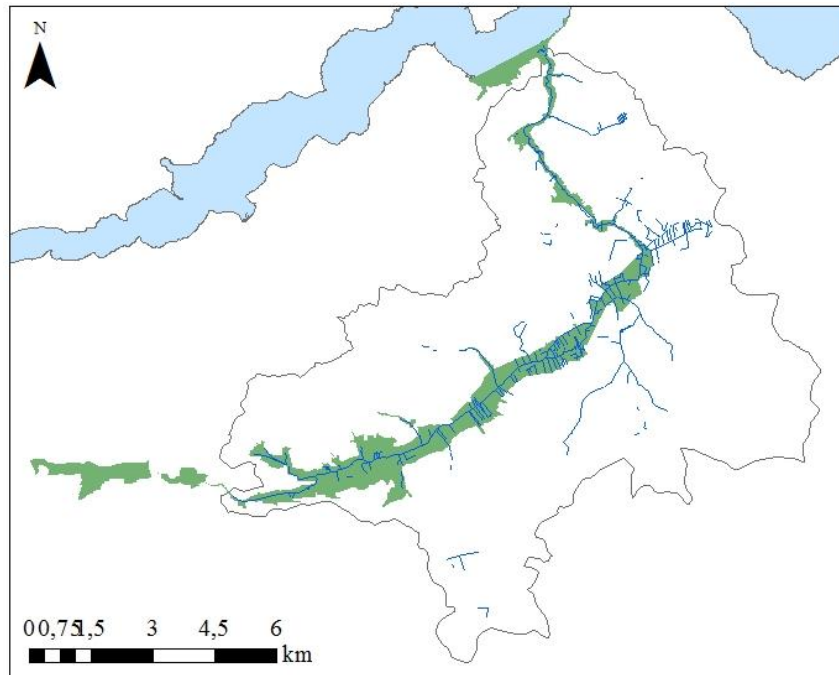
Den laveste døgnmiddelvandføring observeret ved målestation: Kastbjerg Å, Ådalsvej, nr. 15000043, fra 1976 til 2014 var 0,30 m³/s (september 2006), mens den højeste var 4,18 m³/s (okto-

ber 1999), og middelværdien var $0,77 \text{ m}^3/\text{s}$. Figur 3.2 viser histogram og kumuleret frekvens for Kastbjerg Å, der viser fordelingen af de observerede vandføringer. Det ses af figuren at observationerne er skævt fordelt mod højre. 10% fraktilen findes ved $0,49 \text{ m}^3/\text{s}$ og 90% fraktilen ved $1,12 \text{ m}^3/\text{s}$. Den mest hyppige vandføring er mellem $0,6$ og $0,65 \text{ m}^3/\text{s}$, og 50% af de observerede vandføringer er mindre end $0,70 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figur 3.2: Histogram med kumulativ frekvens for Kastbjerg Å, 1976-2010.

Hovedløbet af Kastbjerg Å er en del af EF-habitat/Natura2000 område nr. 223, og derfor omfattet af Naturbeskyttelseslovens §3. (Naturstyrelsen u.d.a) Hele Natura2000 området er illustreret på Figur 3.3. Kastbjerg Å er udpeget til at være et vandløb med vandplanter (Naturtype 3260), og skal derfor have et naturligt, varieret dække med vandplanter, for at opnå gunstig bevaringsstatus. Derudover er det bestemt at Kastbjerg Å senest i 2015, skal have opnået god kemisk og økologisk tilstand. (Mariagerfjord Kommune 2007) Samtidig er det meste af vandløbet målsat til at være gyde og opvækstvand for laksefisk (B1) og dele af tilløbet som særligt naturvidenskabeligt interesseområde. (Mariagerfjord Kommune 2013)



Figur 3.3: Kastbjerg Ådal, habitat nr. 223 vist med grøn. (Copyright (Geodatastyrelsen 2015))

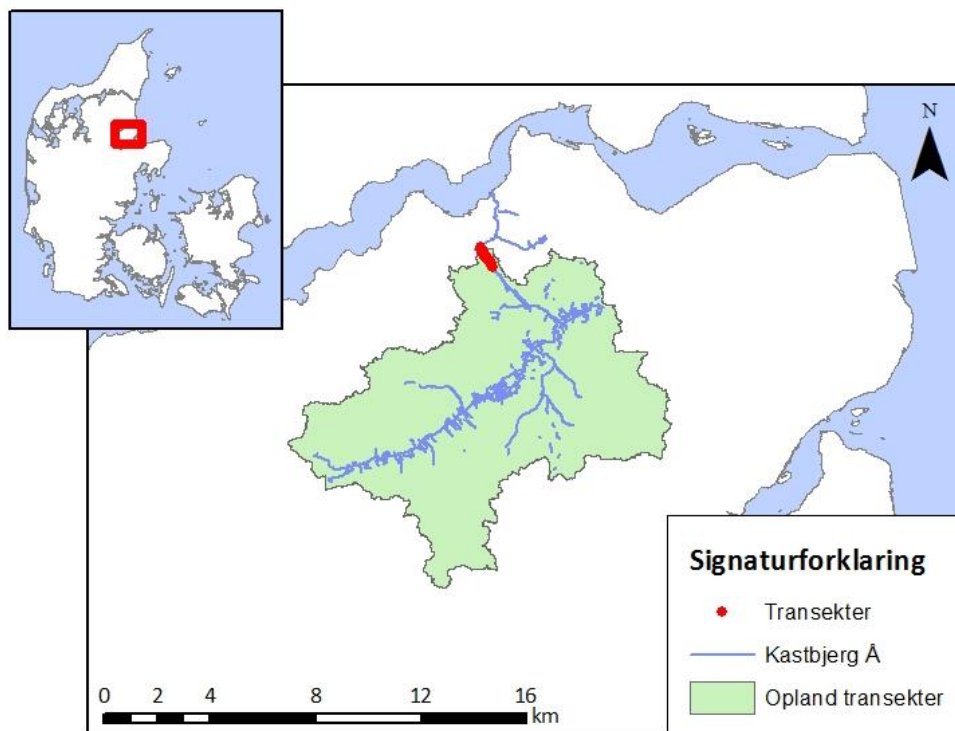
Flere steder op gennem vandløbet findes vanskelige passageforhold, og dele af vandløbet er præget af sandvandring. Ifølge Jørgensen et al. (2008) består substratet opstrøms (i forhold til Amtsvejen) overvejende af sand, mens der nedstrøms findes bedre fysiske forhold med substrat bestående af grus og sten. I Kastbjerg Å findes en selvreproducerende ørredbestand, med en stor yngeltæthed samt flere havørreder, i flere af tilløbene til Kastbjerg Å findes også bestande af ørred. Der er desuden også registreret aborrer og gedder i Kastbjerg Å. På grund af det stærkt regulerede forløb, anses det som vigtigt at grøden skæres skånsomt; tidligere er der dog konstateret unødvendig hårdhændet grødeskæring på delstrækninger. (Naturstyrelsen 2012a, Jørgensen et al. 2008)

Siden 2006 har der været flere projekter i gang for at forbedre naturen i Kastbjerg Ådal, for at sikre Danmarks længste rigkær. En del af projektet består af forbedring af den fysiske tilstand i Kastbjerg Å, samtidig ønskes det at etablere våde enge i et mindre område omkring vandløbet. Forbedringerne af de fysiske forhold i Kastbjerg Å består af genslyngning på kortere strækninger, ophævelse af en spærring, udlægning af gydegrus. Det primære værktøj er dog at ændre praksis for grødeskæring, så den bliver mere skånsom. (Naturstyrelsen 2012a, Naturstyrelsen et al. 2012)

Delstrækning

I dette projekt fokuseres på en delstrækning på ca. 1 km, der er placeret knap 2 km fra udløbet i Mariager Fjord. Denne delstrækning er valgt, da den er placeret nær målestationen i Kastbjerg Å,

hvorfra tidsserier for vandføring og vandstand benyttes i kalibrering, samt til udregning af sammenhæng mellem vandføring og vandstand. Strækningen er beliggende nær rigkæret i området. Dels-trækningen ses på Figur 3.4, angivet som de 20 transekter der er undersøgt, på figuren ses også vandløbsoplandet for denne delstrækning, der er 88,2 km².



Figur 3.4: Delstrækningen, der undersøges nærmere i den videre analyse (rød), samt dennes opland. (Copyright (Geodastystyrelsen 2015))

Det ses i Tabel 3.1, at ca. 77% af delstrækningen består af sand under 2 mm, ca. 20% er mudder, mens delstrækningen består af omkring 3% silt. Fordelingen ændrer sig lidt afhængigt af vandføringen, men sand forbliver det primære substrat. En del af vandløbet har desuden vandplanter, disse er afbilledet på Figur 3.5, flere fotos fra delstrækninger er at finde i bilag A.

Vandføring (m³/s)	0,15	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Mudder	753	844	857	862	862	862	862
Silt	131	131	131	131	131	131	131
Sand < 2 mm	3230	3302	3348	3397	3399	3399	3399
Grus 2-6 mm	0	0	0	0	0	0	0
Grus 6-20 mm	0	0	0	0	0	0	0
Grus 2-6 cm	0	0	0	0	0	0	0
Sten 6-12 cm	0	0	0	0	0	0	0
Sten 12-20 cm	0	0	0	0	0	0	0
Sten > 20 cm	0	0	0	0	0	0	0
Klippe	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 3.1: Substrat areal ved forskellige vandføringer, angivet i m².



Figur 3.5: Grøde i delstrækningen af Kastbjerg Å.

4 FREMTIDS PROJEKTERING

Dette afsnit gennemgår den metodiske fremgangsmåde af projektet, der kombinerer primærdata fra feltarbejde med sekundære data fra litterære kilder. Disse data kombineres i programmerne NAM og CASiMiR. NAM benyttes til en kalibrering af de historiske data, og efterfølgende til simulering af vandføring på baggrund af fremtidig data, frembragt med forskellige klimamodeller. CASiMiR anvendes til at modellere det habitategnede areal for ørred, og hvordan dette ændres ved forskellige vandføringer.

4.1 NAM KALIBRERING

For at være i stand til at estimere hvordan temperatur, nedbør, fordampning og vandføring vil være i fremtiden, kalibreres disse parametre ved hjælp af en nedbørs-afstrømnings model (NAM). Først er det dog de historiske data, der kalibreres. Hvordan denne kalibrering er udført er beskrevet i dette afsnit, der er baseret på NAM (1999) medmindre andet er angivet.

Nedbør-Afstrømnings-Model (NAM) er en hydrologisk model, der simulerer processerne i forhold til vandbalancen på oplands niveau. NAM benyttes til at simulere hydrologiske processer, der foregår i et opland over tid. Dette gøres ved at forsimple den hydrauliske cyklus over land, ved at beskrive vandindholdet i fire magasiner hhv. snemagasinet (snow storage), overflademagasinet (surface storage), jordvandsmagasinet (lower or root zone storage), grundvandsmagasinet (groundwater storage). Se illustration af NAM modellen på Bilag 1.

De fire magasiner er forbundne, så når det maksimale vandindhold nås i overflade magasiner (U) vil det overskydende vand komme til vandløbet som overfladeafstrømning, mens vandet fra overflade magasinet vil sive ned til rodzone magasinet (L), og senere til grundvandsmagasinet (G). Der modelleres med 11 forskellige modelparametre, der ændres til at passe til det analyserede vandløbsopland. NAM behandler oplandet som en samlet enhed, og derfor skal de værdier, der til at starte med findes, tilpasses så de passer til hele oplandet ved at kalibrere, så simulering passer bedst muligt med en observeret tidsserie med vandføring.

For at køre NAM modellen benyttes meteorologiske data (tidsserier for nedbør, temperatur og fordampning), hydrologiske data (tidsserier for vandføring) samt begyndelsesbetingelser. Begyndel-

sesbetingelserne der fastsættes inden kalibrering er: vandindhold i hhv. overflade ($U/U_{\max}$) og rodzone ($L/L_{\max}$) magasiner, værdier for overfladisk afstrømning (overland flow (OF)), afstrømning gennem den umættede zone, intermediær (inter flow (IF)), grundvandsafstrømning (base flow (BF)). (Madsen 2000)

Følsomhedsanalyse

Først udføres en følsomhedsanalyse, da det er mest fordelagtigt kun at ændre på ca. 5 parametre, da det betyder lavere risiko for fejl. Følsomhedsanalysen udføres ved at ændre hver parameter med 25 % i forhold til begyndelsesværdierne. De 5 parametre, der ændrer mest benyttes efterfølgende i kalibreringen, da fejlene fra de mindre følsomme parametre nemmere kan accepteres.

De værdier, der benyttes til at se ændringer mellem observeret og simuleret vandføringer er WBL og Nash-sutcliffe koefficienten (R^2). Vandbalance forskellen (water balance difference (WBL)) er standardafvigelsen ($s(x)$) angivet som procent af de observerede data:

$$s(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})$$

Hvor Q_{obs} , og Q_{sim} , er hhv. den observerede og simulerede vandføring ved tiden i , og n er antallet af observationer.

Nash-sutcliffe koefficienten (R^2) udtrykker hvorvidt den overordnede form på den simulerede hydrograf stemmer overens med hydrografen for de observerede data. Den udregnes med formlen:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [Q_{obs,i} - Q_{sim,i}]^2}{\sum_{i=1}^N [Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}}]^2}$$

Hvor $\overline{Q_{obs}}$ er gennemsnittet af de observerede vandføringer.

Kalibrering

Det er vanskeligt at få en perfekt overensstemmelse mellem simuleret og observeret vandføring, pga. forskellige fejlkilder: i observationer, input data, parameterværdier, fejl eller simplificeringer i modellen. Målet med kalibreringen er at minimere fejlkilderne fra parametrene mest muligt, ved at få en så høj værdi for Nash-sutcliffe koefficienten ($R^2=1$), og en så lav forskel mellem simuleret og observeret vandbalance ($WBL=0$).

For at opnå en perfekt simulering skal der være god overensstemmelse af simuleret og observeret vandføring i forhold til: Middel vandføring, overordnet form på hydrograferne, maksimum vandføring, minimum vandføring. Det er dog vanskeligt at opnå alle fire, og derfor vil der skulle prioriteres. Eftersom det forventes at det særligt er ekstremerne der vil påvirke mængden af egnede ørredarealer, blev det prioriteret at ekstremerne havde god overensstemmelse med de reelle.

Først udføres en manuel kalibrering på en tidsperiode på 10 år, hvor den bedst mulige overensstemmelse mellem observeret og simuleret vandføring findes. Dette foregår ved at tilpasse de 5 parametre fundet i følsomhedsanalysen, et ad gangen, indtil det findes at der er en god overensstemmelse mellem simuleret og observeret vandføring. Herefter efterprøves denne kalibrering ved at køre en simulering på en reference periode, tilsvarende på 10 år. Hvis der igen er god overensstemmelse mellem observeret og simuleret vandføring, er den manuelle kalibrering færdig, ellers kalibreres der videre på første tidsperiode, indtil det opnås en god overensstemmelse i begge perioder.

Efter at have lavet en god manuel kalibrering forsøges det at lave en god autokalibrering, da denne er mere objektiv end den manuelle, samtidig er den også meget hurtig. Autokalibreringen udføres dog fortsat på baggrund af de fundne begyndelsesparametre hvilket gør kalibreringen mere subjektiv, dette minimeres dog ved at fjerne de første del af de simulerede værdier, NAM (1999) anbefaler de første 3-6 måneder. Eftersom den videre analyse særligt analyserer årsværdierne, vælges det at fjerne hele det første år. Det er dog en fordel at have lavet en manuel kalibrering inden, da autokalibreringen godt kan skabe nogle urealistiske estimer af parametrene. (Madsen 2000)

4.2 FREMTIDSESTIMERING

Effekten på ørredhabitaterne i Kastbjerg Å blev analyseret ved at undersøge forandringerne i vandføringen, når nedbør, temperatur og fordampning blev fremskrevet til 2074/75-2099. Fremskrivningen foregår ved at bruge observerede data fra 1989 til 2014; pga. usikkerheder forbundet med klimamodeller anvendes 11 forskellige klimamodeller. Resultaterne af fremskrivningen for de forskellige klimamodeller sammenlignes herefter med hinanden, samt med resultaterne for de observerede tidsserier fra 1989-2014.

Til at fremskrive klimaet benyttes globale cirkulationsmodeller, der er baseret på forskellige IPCC scenarier for menneskeskabte påvirkninger, ved nedskalering (downscaling) er det muligt at generere en regional model ved at tilføje den regionale dynamik til den globale cirkulationsmodel. (Stocker et al. 2013, Seaby et al. 2013)

Der er forskellige usikkerheder forbundet med at udføre en fremtidsestimering, der bl.a. stammer fra modellen, klimascenariet samt fra naturlig variation. (Hawkins, Sutton 2011) Så at forudsige, fremtidens nedbørsmængde, temperatur, fordampning og vandføring i det relativt lille Kastbjerg Å, medfører en høj grad af usikkerhed.

For at kunne bruge en klimamodel, der er lavet til et større område end Kastbjerg Å, er det nødvendigt at nedskalere klimamodellen. Det gøres ved at konvertere fra en regional klimamodel (25 km²) til et 10 km grid. Der findes forskellige metoder til at gøre dette, og det er svært at forudsige, hvilken der giver den bedste bias korrektion. I dette projekt benyttes en simpel bias korrektion og nedskaleringsmetode, delta change metoden, der ofte anvendes. Denne fungerer ved at tilføje en faktor til den observerede tidsserie data. Faktoren for hhv. nedbør, temperatur og fordampning er fundet ved at sammenligne observerede data med klimamodellen. Korrektionen foretages på månedsbasis. Ved at benytte delta change metoden bevares dynamikken i variableerne, der er dog også den kritiske antagelse at fremtidens dynamik vil blive magen til den nuværende dynamik, og fremtidige ændringer i variation og varighed vil derfor ikke fremgå i fremskrivningen. (Seaby et al. 2013, Seaby 2013) I fremtiden forventes det dog at ekstreme vil blive mere ekstreme og perioder med tørke vil blive mere udbredt. (Naturstyrelsen 2012b) Det vil derfor være mere optimalt at bruge en anden metode f.eks. distribution correction method. Eftersom valget af klimamodel er fundet til at være grund til næsten al usikkerheden i resultaterne, (Seaby et al. 2013, Seaby 2013, Hawkins, Sutton 2011) er det valgt at benytte forskellige globale og regionale klimamodeller, på bekostning af at benytte delta change metoden til korrektion.

For at have mere stabile og tydelige signaler for klimaforandringer anbefales det at bruge en tidsserie på 20-30 år, til delta change metoden. (Seaby et al., 2013) I Kastbjerg Å er der observeret data fra 1989 til og med 2014, altså 26 år.

Det vælges at benyttes 11 klimamodeller, der alle følger IPCC klima scenarie A1B, til at fremskrive nedbør, temperatur og fordampning for perioden 2074-2099. Disse fremtidige tidsserier benyttes herefter til at simulere Kastbjerg Ås vandføring i perioden vha. parametrene fundet i kalibreringen for perioden 1989-2014. Brugen af perioden fra 2074-2099 (far future) gør at den naturlige variation burde være minimeret, mens signaler på ændringer i klimaet bør være stærke. (Seaby et al. 2013)

Resultaterne af fremskrivningen analyseres, og udvalgte klimamodeller, der viser variationen i resultaterne, sammenlignes med de observerede tidsserier.

4.3 TIDSSERIEANALYSE

For at kunne undersøge forskellen mellem tidsserien for de observerede data og den estimerede fremtidig tidsserie, er der udført en tidsserie analyse, af hhv. nedbør, luft temperatur, fordampning og vandføring. Tidsserierne undersøges i forhold til histogram, ekstremværdier og trends. I det følgende afsnit vil det blive beskrevet hvordan tidsserieanalysen er udført.

Til at sammenligne tidsserierne med observationer med fremtidens tidsserier udregnes: forskellige statistiske værdier (absolut, median minimum og maksimum, gennemsnit m.m.) trendanalyse, ekstrem værdianalyse. Hvordan trendanalysen og ekstremværdianalysen udarbejdes vil blive beskrevet i de følgende afsnit, mens de statistiske værdi-udregninger ikke er nærmere beskrevet. I stedet henvises til Birkens, van Geer (u.d.).

4.3.1 Data

Tidsserier for nedbør, lufttemperatur, fordampning og vandføring, kommer fra hhv. målestationer og grids ved Kastbjerg Å og består af døgn middelværdier. Vandføringstidsserien stammer fra den ene målestation, der er lokaliseret i Kastbjerg Å, ved Ådalsvej og har stations nr. 15000043. Da der kun findes denne ene målestation i vandløbet har det ikke været muligt at tjekke homogeniteten af tidsserien.

Tidsserierne med nedbør, lufttemperatur og fordampning stammer fra DMI. Både fordampning og lufttemperatur er fra et 20x20 km grid (nr. 20088), mens nedbøren er fra et 10x10 km grid (nr. 10308) (se placeringen af grid i Scharling (2012)). Disse grids blev valgt, da hovedparten af Kastbjerg Å, var beliggende i disse. Pedersen & Kronvang (1998) bekræfter at data fra 10x10 km grid er acceptabel til modellering i NAM, og ligeledes med 40x40 km for fordampning, disse var dog tilgængelige i et 20x20 grid. De eneste tilgængelige lufttemperaturer i nærheden af Kastbjerg Å var også fra grid. Tidsserierne for hhv. fordampning, lufttemperatur og nedbør starter den 02.01.1989 og går til og med den 30.06.2015, mens tidsserien for vandføringen er fra 01.01.1976 til 31.12.2014.

Disse historiske tidserier, med observerede data sammenlignes med de fremtidige serier, fundet vha. kalibreringen beskrevet i afsnit 4.

4.3.2 Trend analyse

Mann-Kendall trend test benyttes til at undersøge, om der er allerede er en synlig opadgående eller nedadgående tendens i variablerne over tid, i form af ændringer fra de ældre observationer i forhold til de nyere. (Meals et al. 2011) Beskrevet i følgende ligning:

$$z = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(y_j - y_i)$$

Hvor $(y_j - y_i)$ er forskellen mellem de ældre og de nyere observationer, resultatet fortolkes som:

$$\text{sgn}(y_j - y_i) = \begin{cases} \text{positiv, } x_j > x_i, \text{ indikerer en opadgående trend} \\ 0, x_j = x_i, \text{ indikerer ingen trend} \\ \text{negativ, } x_j < x_i, \text{ indikerer en nedadgående trend} \end{cases}$$

Det større en værdi, desto stærkere indikerer det en trend. Hvis der er indikation på en trend, undersøges trenden ved brug af 'Sen slope estimator':

$$\beta_1 = \text{median}\left(\frac{y_j - y_i}{x_j - x_i}\right)$$

Hvor $i < j$, $i = 1, 2, \dots, n - 1$ og $j = 2, 3, \dots, n$. (Meals et al. 2011)

Samtidig undersøges det også, hvor signifikant trenden er: Trenden kan have en signifikans på 0,999, 0,99, 0,95, 0,9 eller under 0,9. Jo nærmere værdien er på 1 jo mere signifikant er tendensen. Til at udføre trend-testen bruges en Excel skabelon (MAKENS), som beskrevet i Salmi et al. (2002).

Trend testen analyserer dermed, hvorvidt der er sket monotone ændringer, og der tages ikke forbehold for variationer f.eks. sæsonvariationer, men disse kan også undersøges ved at udføre samme test, men i stedet for at se på forskellen mellem ældre og nyere observationer, ses der på ændringer fra en måned til en anden. Ved også at undersøge dette kan det ikke blot analyseres, om der er sket ændringer i hvor meget (f.eks.) nedbør, der falder hen over året, men også om der er ændringer i hvornår på året nedbøren falder. (Meals et al. 2011, Salmi et al. 2002)

4.3.3 Ekstrem værdi analyse

Ekstrem værdi analysen udarbejdes med årlige maksimum- og minimumværdier for vandføringen, både for de observerede data, samt for udvalgte klimamodeller, der viser variationen i projektionerne. Ekstrem værdi analysen bruges til at estimere størrelsesordenen af en T-års begivenhed (f.eks. 50-års). Begivenheden sker ikke præcis hvert T-år, men er et statistisk værktøj for en begivenhed, der i gennemsnit sker hvert T-år. Det er Gumbels ekstrem værdi analyse, der benyttes til at estimere størrelsesordenen af de ekstreme begivenheder. (Jensen u.d.)

Det følgende afsnit er baseret på Jensen (u.d.).

Maksimum ekstrem analyse

Maksimum værdier følger ofte en såkaldt Gumbel fordeling, da sandsynlighedsfordelingen er eksponentiel faldende og ubegrænset (unbounded):

$$F_x(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Tilpasningen af data kan gøres på flere forskellige måder, her er valgt den matematiske method of moments, der er mere objektiv end eksempelvis at bruge sandsynligheds papir. Ligeledes er konfidensgrænserne også udregnet. Hvor α og β er:

$$\alpha = \frac{1,28}{S_x}, \beta = \bar{x} - 0,45 \cdot S_x$$

Hvor S_x er standard afvigelsen, og $\bar{x}$ er middelværdien af de årlige maksimum værdier.

Til at udregne størrelsen af en bestemt T-års maksimums begivenhed bruges følgende ligning:

$$X_T = \bar{x} + 0,78 \cdot S_x \left[-\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right) - 0,577 \right]$$

Idet at det antages at ekstrem værdierne vil følge den statistiske fordeling, er der tilknyttet en usikkerhed, derfor udregnes standard afvigelsen. Dette gøres ved først at udregne frekvensfaktoren (K_T), der kun er afhængig af T-år:

$$K_T = 0,76 \left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right) - 0,577 \right]$$

Standard afvigelsen for den specifikke T-års periode udregnes ved:

$$S_T = \frac{S_x}{\sqrt{n}} [1 + 1,14K_T + 1,1K_T^2]^{1/2}$$

Afslutningsvis udregnes den øvre og nedre 68% konfidensgrænse ved:

$$X_T \pm S_T$$

Minimum ekstrem analyse

Ekstrem analysen for minimum begivenhederne udregnes på samme måde som maksimum begivenhederne. Det er dog en simpel måde at udregne dette på, hvilket kan give nogle usikkerheder, da vandføringen har en nedre grænse. Dette kan resultere i negative vandføringsresultater, og det er derfor nødvendigt at være opmærksom på begrænsningerne.

De årlige minimums værdier falder eksponentielt, og de antages at være ubegrænset, derfor følger fordelingen:

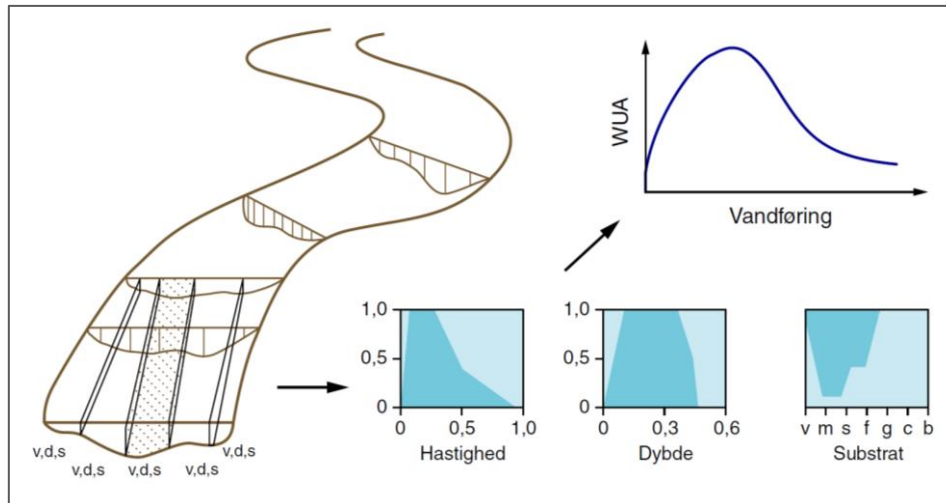
$$F_x(x) = 1 - e^{-e^{\alpha(x-\beta)}}$$

Størrelsesordenen af T-års begivenhederne, frekvensfaktoren, standard afvigelsen samt konfidensgrænserne udregnes på samme måde som i maksimum ekstrem analysen.

4.4 HABITATMODELLERING

Til at finde frem til hvorvidt ørredbestanden i Kastbjerg Å bliver påvirket af ændringer i klimaet, analyseres det hvad ændringer i vandføringen betyder for egnede ørredhabitater i en delstrækning af vandløbet. Ved at sammenholde disse med de analyserede klimaforandringer kan det så vurderes, hvorvidt mængden af egnede ørredhabitater vil være anderledes i fremtiden.

Til at gøre dette benyttes en hydraulisk habitatmodel kaldet CASiMiR (Computer Aided Simulation System for Instream Flow Requirements), der er et fysisk modellerings værktøj, der kombinerer en hydraulisk og biologisk model til at estimere habitategnetheden for en bestemt art. CASiMiR gør det muligt at analysere effekten forårsaget af ændrede vandføringer, ved at fastslå mængden af egnet plads for ørreder ved forskellige vandføringer. Det egnede habitatareal udregnes på baggrund af strømhastighed, dybde og substrat (se Figur 4.1). (Schneider et al. 2010)



Figur 4.1: Illustration af udregningen af det tilgængelige habitatareal. (Clausen et al. 2006)

CASiMiR beregner det såkaldte vægtede habitatareal (Weighted Usable Area (WUA)), der er en værdi for egnetheden som habitat ved en bestemt vandføring. Dette beregnes ved at modellere hhv. strømhastighed, vanddybde og substrat sammen med arealet i vandløbet. Disse kobles så med præferencer for hhv. yngel, juvenil og voksen. (Schneider et al. 2010) Tilstedeværelsen af vandplanter, rødder o.lign., der også har betydning for ørred præferencer, kan desværre ikke inkluderes i udregningen af det egnede habitatareal. (Schneider et al. 2010, Nielsen 1995)

Til at beregne det vægtede habitatareal benyttes tre forskellige præferencekurver, for hhv. yngel, juvenil og voksen ørred. Præferencekurver beror på præferenceværdier, der indikere hvor ørreder præfererer at opholde sig, altså en indikator for hvor sandsynligt det er at finde en ørred på en bestemt dybde, vandføring eller substrat. Værdierne er sat mellem 0 og 1, hvor 1 er det mest optimale, og 0 er områder ørreder vil undgå. Igennem vandløbet blev der på baggrund af disse præferenceværdier, beregnet en habitategnethedsværdi (habitat suitability (SI)) for hhv. dybde, substrat og strømhastighed ved forskellige vandføringer, som illustreret på Figur 4.1. Dybde, substrat og strømhastighed vægtes ligeligt i udregningen af det vægtede habitatareal, der udregnes således:

$$WUA = \sum_{i=1}^n A_i \cdot SI_{i,dybde} \cdot SI_{i,hastighed} \cdot SI_{i,substrat}$$

Hvor SI_i er habitategnethedsværdien for celle i , og A_i er arealet af celle i . WUA er udtrykt som et areal, og kan derfor maksimalt få samme værdi som det totale våde areal i vandløbet. (Schneider et al. 2010)

4.4.1 Præferenceværdier for ørred

For at opnå en retvisende modellering af tilgængelige ørredhabitater er det vigtigt at de rette præferenceværdier benyttes, da disse værdier har stor indflydelse på resultaterne af modelleringen. (Clausen et al. 2006, Johnson et al. 1995) Ørred præferencer er forskellige fra vandløb til vandløb, så for at få en præcis præferencekurve bør der udføres stedsspecifikke præferencer. Dette gøres på baggrund af detaljerede observationer af de enkelte ørreders placering, i udvalgte transekter af vandløbet. Placeringen ses i forhold til de ønskede præference faktorer, eksempelvis vandløbsdybde, strømhastighed og substrat. På baggrund heraf opstilles præferenceværdierne. Det er omstændeligt og bekosteligt at opsætte stedsspecifikke præferenceværdier, og hvorvidt det er muligt at omsætte dem til andre vandløb er diskuterbart. Derfor benyttes ofte generelle præferencer, med antagelsen af at arter agerer ens i forskellige vandløb, med samme fysiske vilkår. (Clausen et al. 2006, Schneider et al. 2010, Johnson et al. 1995).

For Kastbjerg Å er der ikke detaljerede fiskeobservationer tilgængelige, og derfor benyttes generelle ørred præferencer i habitatmodelleringen. For at finde de bedst egnede præferencer i forhold til Kastbjerg Å, analyseres danske og udenlandske studier af ørred præferencer. Da ørred har forskellige præferencer gennem livsfaserne, (Clausen et al. 2006, Nielsen 1995) er det valgt at undersøge forskellige præferenceværdier for hhv. yngel, juvenil og voksen ørred.

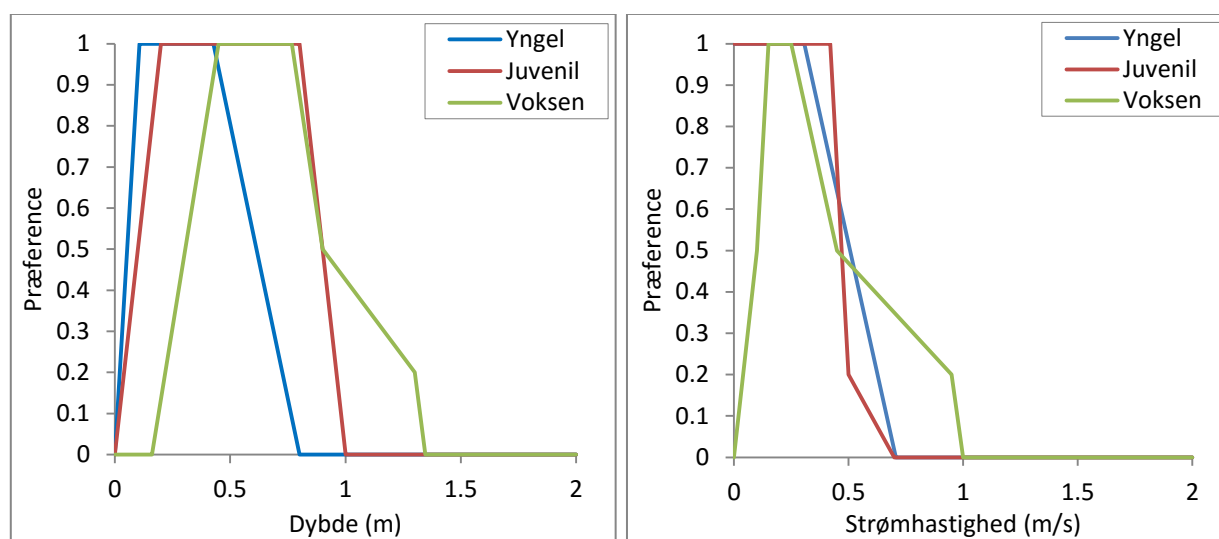
Forskellige studier har undersøgt hvad den/de vigtigste faktorer er i forhold til ørredens valg af habitat; der er dog ikke ubetinget enighed om hvorvidt vandløbsdybde, strømhastighed og/eller substrat er vigtigst. (Clausen et al. 2006) Derfor medtages alle tre faktorer i habitatmodelleringen.

Vandløbsdybde, strømhastighed og substrat

Ørredyngel foretrækker lavt vand. De forskellige undersøgelser finder dog værdierne lidt forskellige men primært under 30 cm dybde, mens voksne ørreder generelt fortrækker dybere vand (65 cm). (Nielsen 1995) Generelt er dybde præferencerne for yngel og juvenil højere i udenlandske studier, (Clausen et al. 2006) end hvad der fremgår af Nielsen (1995). Derfor vælges det at benytte præferenceværdier fra et dansk studie lignende Kastbjerg Å, af Lund (1996). For voksne ørreder benyttes præferenceværdier fra Johnson et al. (1995), da disse er udarbejdet for et opland i England, der i størrelse minder om danske forhold, og præferencerne svarer til præferencerne i Nielsen (1995), mens de i modsætning til Lund (1996) har en øvre grænse for vanddybde. Præferencekurverne for hhv. yngel-, juvenil og voksen ørred er illustreret på Figur 4.2

Overordnet set gælder det at jo større strømhastighed i et vandløb jo flere fisk, dog vil meget store hastigheder kunne skylle især mindre fisk væk. Det skyldes både at ørreder lever af drift, og at høje hastigheder betyder bedre skjul. (Sand-Jensen, Lindegaard 2004, Nielsen 1995) Ørreden foretrækker ifølge Nielsen (1995) særligt hastigheder på 0,25-0,40 m/s. Mange udenlandske undersøgelser har præferenceværdier nær disse hastigheder. Det vælges dog at benytte præferencerne opstillet i Lund (1996) igen, hvor også lavere strømhastigheder ses som foretrukket. Dette vælges da ørredyngel og juvenil foretrækker at være nær bredden af vandløbet, det er dog ikke muligt at inkludere i CASiMiR, men da de lave hastigheder ofte er at finde der, inkluderes det indirekte ved at sætte deres præferencer lavere. (Schneider et al. 2010, Nielsen 1995)

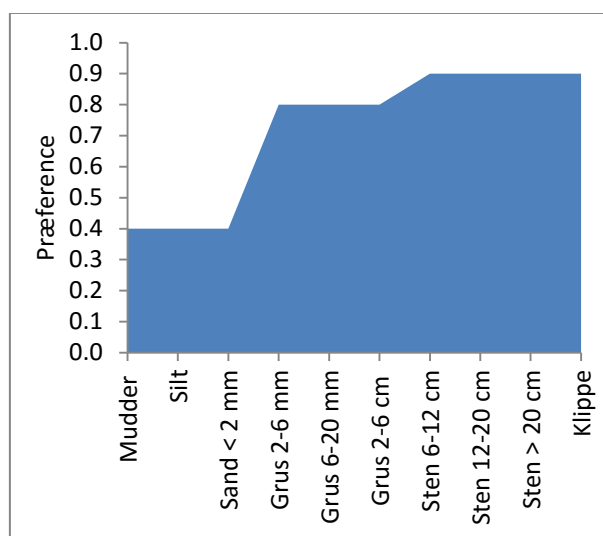
For voksne ørreder vælges det igen at benytte præferenceværdier fra Johnson et al. (1995), der også har et optimum omkring værdierne fundet i Nielsen (1995) Samtidig er der i modsætning til Lund (1996) og andre studier (Clausen et al. 2006) inkluderet en øvre grænse for strømhastigheden. Denne er vigtig at have, når ekstremerne senere skal undersøges. Præferencerne for de tre livsstadier er vist i Figur 4.2. Både yngel og juvenil har præferenceværdien 1 ved de helt lave strømhastigheder, hvilket er vanskeligt at se på figuren, da de ligger over hinanden.



Figur 4.2: Præferencekurve for vandløbsdybde og strømhastighed. (Lund 1996, Johnson et al. 1995)

For at der kan leve mange ørreder i et vandløb skal der være stor variation med blandt andet sten og forskelligt andet cover, der fungerer som skjul, da ørreder er et stærkt territoriale, og andelen af skjul, har derfor stor indflydelse på størrelsen af ørredbestanden. (Sand-Jensen, Lindegaard 2004, Nielsen 1995) Ørreder foretrækker groft bundsubstrat, som kan benyttes som skjul og strømlæ. På trods af at voksen ørreds præferencer er mindre specifikke end yngre ørreds, er præferencer for substrat overordnet set ens for alle tre livsstadier. (Clausen et al. 2006, Sand-Jensen, Lindegaard 2004,

Nielsen 1995) Det vælges derfor at opstille en fælles præferencekurve for de tre livsstadier, i forhold til substrat, efter Clausen et al. (2006), der er illustreret på Figur 4.3.



Figur 4.3: Præferencekurve for substrat, alle livsstadier. (Clausen et al. 2006).

4.4.2 Input CASiMiR

Til at udregne hvordan det egnede habitatareal for ørred ændrer sig i forhold til vandføring, skal der som beskrevet, undersøges en vandløbsstrækning, og herfra benyttes data for dybde, strømhastighed og substrat, samt sammenhæng mellem vandføring og vandstand i de enkelte transekter. I dette afsnit beskrives det, hvorledes disse data indhentes.

Til habitatanalysen af Kastbjerg Å, blev en delstrækning på ca. 1 km, beliggende knap 2 km fra udløbet i Mariager fjord valgt, denne er beskrevet nærmere i afsnit 3.

I delstrækningen blev der lavet 20 tværsnitsprofiler over knap 1000 m, med ca. 50 m mellem hver. Strømhastighed, dybde, substrat og cover type, blev fundet for hver 0,50 m. Resultaterne af dette kan ses i bilag B. Cover type blev registreret på trods af, at det ikke kan benyttes i CASiMiR, til beregning af det egnede habitatareal. Da tilstedeværelsen af forskelligt cover har en betydning for egnede ørred habitater, og vil kunne benyttes til analyse af variation i vandløbet. (Schneider et al. 2010, Clausen et al. 2006, Nielsen 1995) Substrat og covertime blev inddelt i hhv. 9 og 10 kategorier, konvertible med CASiMiR. Kategorierne er beskrevet i Tabel 4.1.

Indeks	Substrat	Cover
0	Mudder	Intet cover
1	Silt	Undervandsplanter
2	Sand < 2 mm	Sten og meget detritus
3	Grus 2-6 mm	Rødder
4	Grus 6-20 mm	Dødt træ
5	Grus 2-6 cm	Stakke af grene
6	Sten 6-12 cm	Tørre grene
7	Sten 12-20 cm	Flydende makrofyter
8	Sten > 20 cm	Turbulens
9	Klippe	Eroderet brink
10	-	Overhængende græs

Tabel 4.1: Inddelinger for hhv. substrat og cover type. (Schneider et al. 2010)

Tværsnittet af hvert transekt blev opmålt med en GPS, og strømhastigheden blev fundet ved hjælp af en propelmåler. I tværsnitsprofilet længst opstrøms blev der udarbejdet en fuld profil, således at vandføringen kunne udregnes (se bilag B).

For at kunne lave en habitatmodellering, der viser ændringer i egnet habitat som følge af vandføring, skal der findes en sammenhæng mellem vandføring og vandstand i hvert tværsnit (bilag B). Disse findes ved brug af Mike11; de opmålte tværsnit integreres som et netværk, og kombineres med tidsserier for vandføring og vandstand fra målestation Kastbjerg Å, Ådalsvej. På baggrund heraf er det muligt at simulere, hvilken vandstand, der er i hvert transekt ved forskellige vandføringer.

5 PRÆSENTATION AF RESULTATER

I dette afsnit præsenteres resultaterne af kalibreringen af tidsserierne, samt hvordan fremtidsestimeringen blev udført, og hvilke forskelle, der er i resultaterne afhængigt af hvilken klimamodel, som benyttes. Et par klimamodeller udvælges, som viser variationen i fremtidsestimeringerne, disse analyseres i forhold til hinanden, samt hvad betydning de forskellige klimamodeller vil have på det egnede habitatareal for de tre livsstadier af ørred.

5.1 FREMTIDSESTIMERING

Fastsættelse af parametre til kalibrering

Til at starte med skal der findes nogle begyndelsesværdier for de enkelte parametre. Til at finde ud af hvad det maksimale vandindhold i rodzonen er benyttes teksturpunkter, i oplandet fra teksturdata-basen (DLJ). Jordtypen i oplandet består primært af fin lerblandet sand. Efter sammenligning med jordtyperne beskrevet i Hansen (1976), fandtes jorden i oplandet at minde mest om jorden fra Boris (0-40 cm dybde). På baggrund heraf starter kalibreringen med en $L_{\max}$ værdi på 125,5 mm, mens $U_{\max}$ er sat til:

$$U_{\max} = 0,1 \cdot L_{\max} = 12,55$$

Kalibreringen startes i vinterhalvåret, og derfor antages det, at både overflade og rodzone magasinerne er næsten helt fyldt op, derfor sættes $U/U_{\max}$ og $L/L_{\max}$ til 0,9. Det topografiske og grundvandsoplandet estimeres til at være nogenlunde ens, da ændringer på Carea fra 1, gør simuleringen dårligere. Sneen sættes til at smelte ved 0°C, og smeltning af sne (C_{snow}) sættes til at starte med på 2 mm/dag/°C og dette viser sig at give den bedste kalibrering. De øvrige parametre sættes fra start af, inden for nogle intervaller hvori værdierne ofte findes, (Madsen 2000) disse kan ses sammen med begyndelsesværdierne på Bilag 2.

Følsomhedsanalyse

Efter at have udført følsomhedsanalysen, viste det sig, at hhv. $U_{\max}$, $L_{\max}$, CQOF, CKIF og CKBF er de 5 mest følsomme parametre. I den manuelle og autokalibreringen er det derfor disse

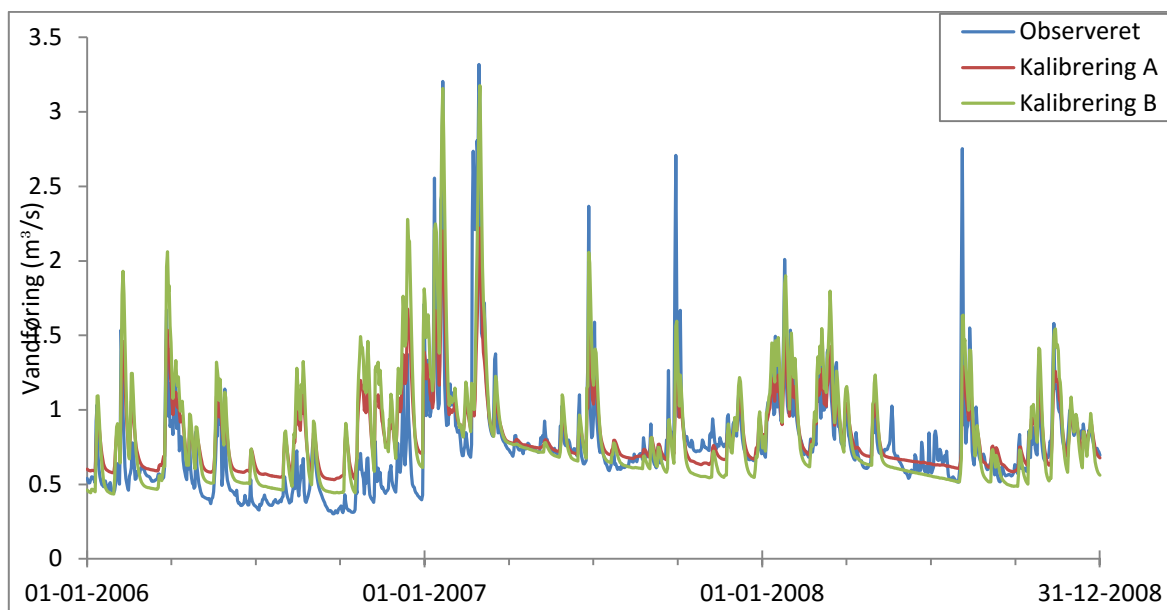
parametre, der kalibreres. Resultaterne af følsomhedsanalysen og kalibreringerne kan findes i bilag C.

Manuel og autokalibrering

Generelt ved kalibrering er det vanskeligt at opnå fuld overensstemmelse mellem både middel, min. og maks. vandføringer, som beskrevet i afsnit 4.1. I kalibreringen for Kastbjerg Å var det dog yderst vanskeligt at få en god overensstemmelse mellem observerede og simulerede vandføringer, særligt ved værdier over 1,75 m³/s. Det vidste sig, at ved at ændre på værdierne for C_qlow og C_klow blev kalibreringen lidt bedre. Disse to parametre beskriver et dybere grundvandsmagasin, med en større tidskonstant end det andet grundvandsmagasin; hvor C_qlow beskriver procentdel af det totale magasin, og C_klow er en tidskonstant for grundvandsafstrømning.

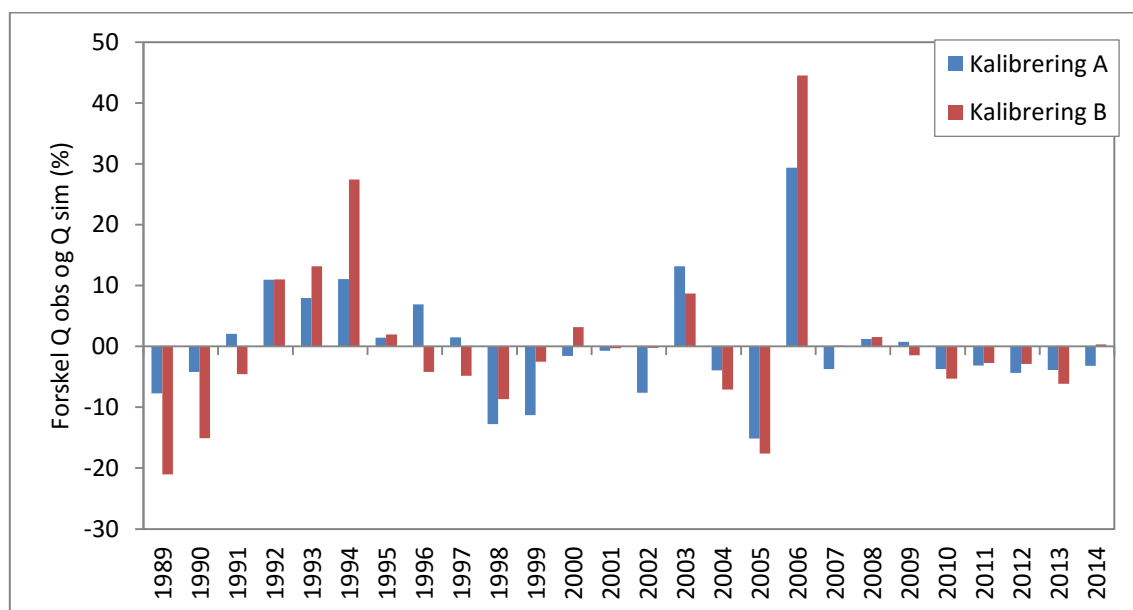
På trods af mange manuelle og auto kalibreringer blev overensstemmelsen mellem den observerede og simulerede vandføring aldrig rigtig god. Det valgtes derfor at lave en kalibrering med højst mulig overensstemmelse mellem hydrograferne (kalibrering A) og en kalibrering med fokus på maksimum begivenhederne (kalibrering B). Kalibrering A havde således en R² på 0,65, mens den for kalibrering B blot var 0,43. de forskellige parameterværdier for de to kalibreringer kan findes på Bilag 2.

Figur 5.1 viser vandføringen fra 2006 til 2008, for de observerede data som for kalibrering A og B, herpå er det tydeligt, at ingen af de to kalibreringer rammer hverken middel eller ekstremerne præcist, dog er kalibrering B bedre i forhold til ekstremerne end A. Overraskende kommer kalibrering B, flere gange nærmere middelværdierne for observationerne end kalibrering A. Observeret vandføring samt vandføringen i kalibrering A og B kan ses sammen med de andre tidsserier i bilag D.



Figur 5.1: Hydrograf for observeret data samt kalibrering A og B (2006-2008).

Figur 5.2 viser forskellen mellem observeret og simuleret vandføring for de enkelte år i simuleringen. For selvom der kun er hhv. 0,001 og 0,000 m³/s forskel i den samlede vandføring, er det ikke tilfældet for de enkelte år, her er det igen interessant, at kalibrering B er nærmere observationerne i 10 af de 26 år.



Figur 5.2: Forskel mellem observeret og simuleret vandføring hvert år af simuleringen, angivet i %.

Pedersen & Kronvang (1998) undersøgte 25 danske vandløbsoplande med forskellig størrelse en studie, der laver oplandsanalyser med NAM. Studiet viste at særlig størrelsen af oplande har betydning på hvor god overensstemmelse, der kan være i en simulering af vandføringen, i forhold til observationer. Konklusionen var at den bedste overensstemmelse findes ved oplande over 40 km²,

men også oplande over 20 km² har en god modellering. (Pedersen, Kronvang 1998) Kastbjerg Å har dog et opland på 88,2 km², det bør derfor ikke være årsag til den dårlige kalibrering. Samtidig er der en tendens til over og underestimering af grundvandstilførslen i hhv. sommer og vinter, disse menes at skyldes hhv. sænkning af grundvandsmagasinet og at mængden af nedbør, der falder som sne blev estimeret for lille. Generelt blev det estimeret, at forskellene i vandbalance var 1-5%, dog med årlige variationer, særligt i tørre å. (Pedersen, Kronvang 1998) For Kastbjerg Å var den årlige forskel i vandbalancen 0,7-29,3% for kalibrering A, og 0,1-44,5% for kalibrering B, altså meget store forskelle. Forklaring på den ringe overensstemmelse mellem simulering og observation er derfor ikke at finde i nogle af de typiske problematikker i forbindelse med NAM, men skyldes muligvis det meget grundvand, der kommer til vandløbet.

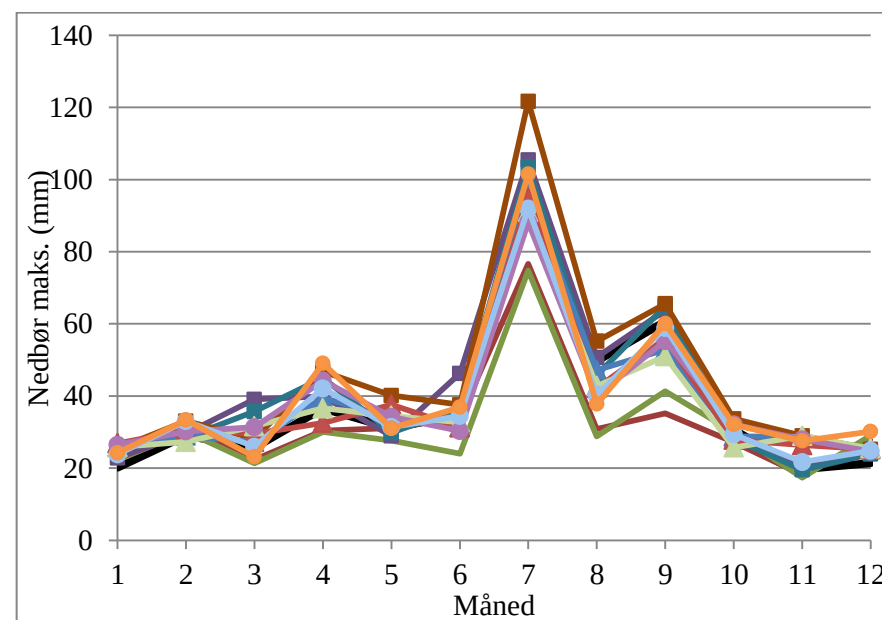
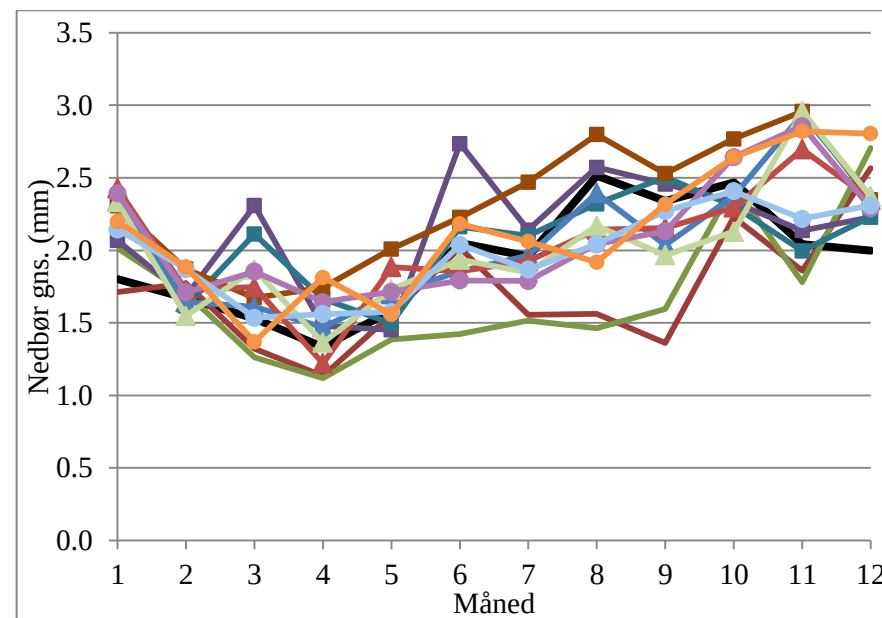
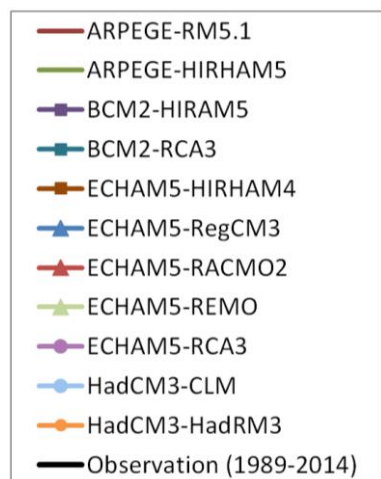
	Observeret	Kalibrering A	Kalibrering B
Absolut minimum	0,30	0,41	0,22
Median minimum	0,48	0,52	0,43
10% fraktil	0,50	0,53	0,43
Gennemsnit	0,78	0,78	0,78
90% fraktil	1,12	1,11	1,30
Median maksimum	2,33	1,69	2,31
Absolut maksimum	4,18	3,20	4,82

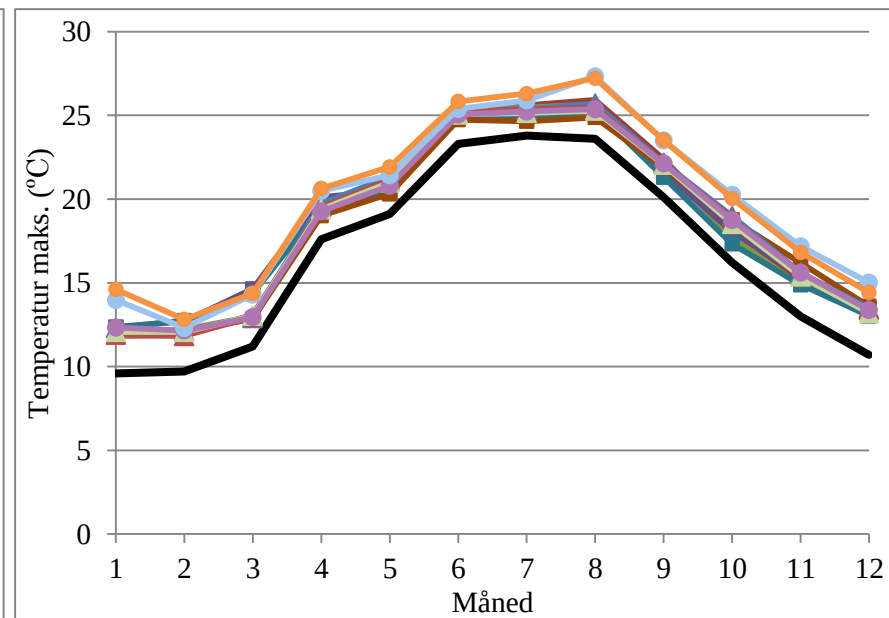
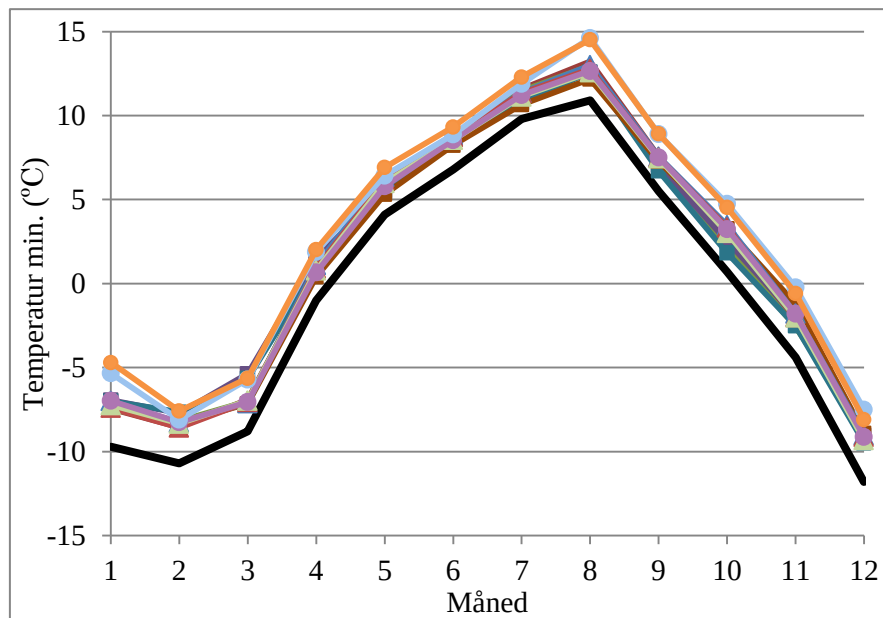
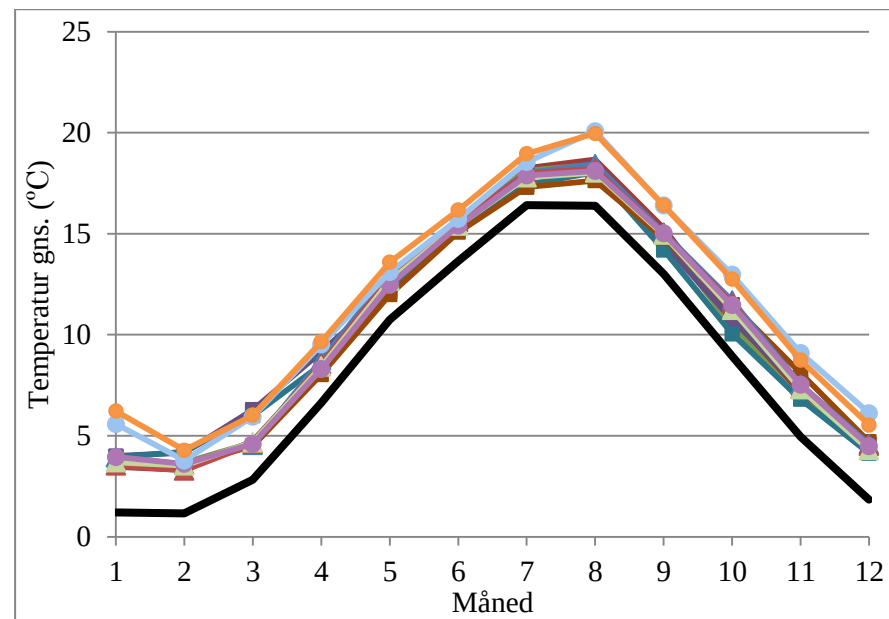
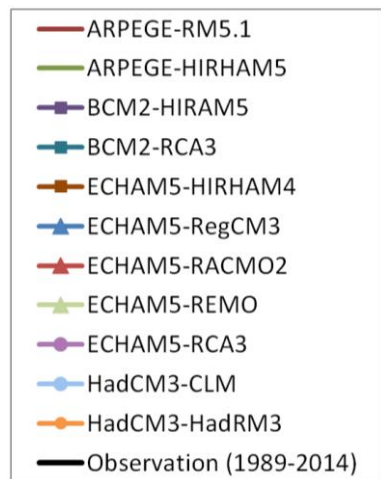
Tabel 5.1: Statistiske værdier, for observerede data, kalibrering A og B, angivet i m³/s.

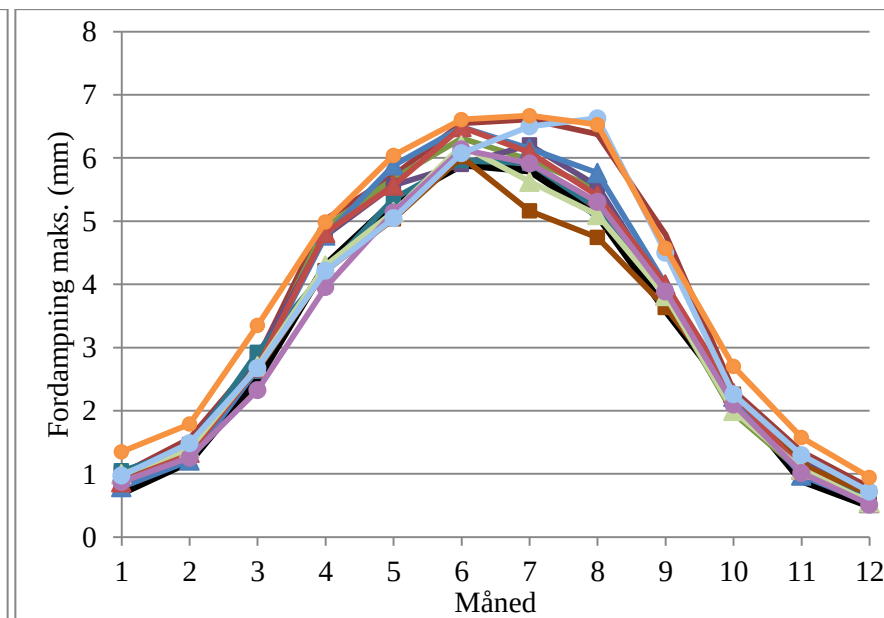
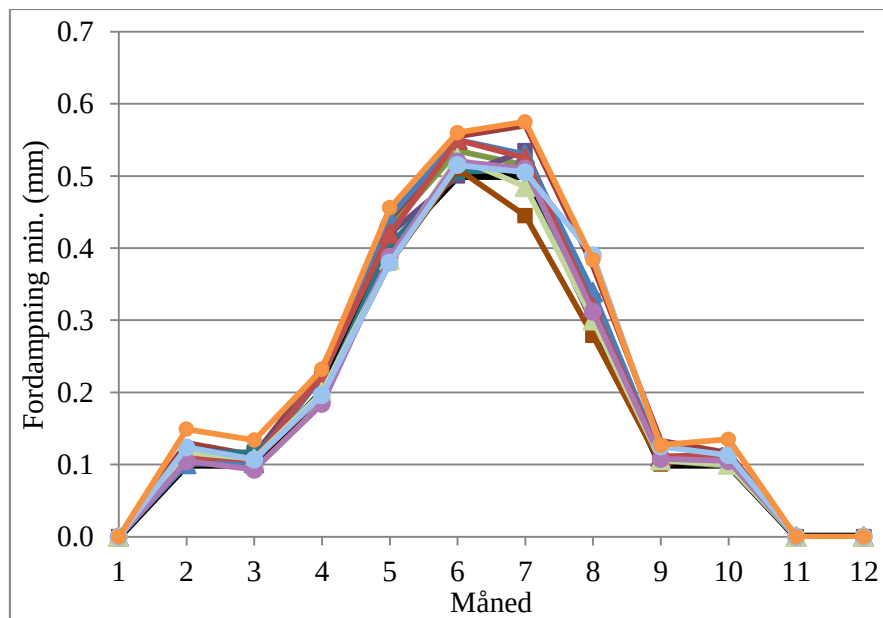
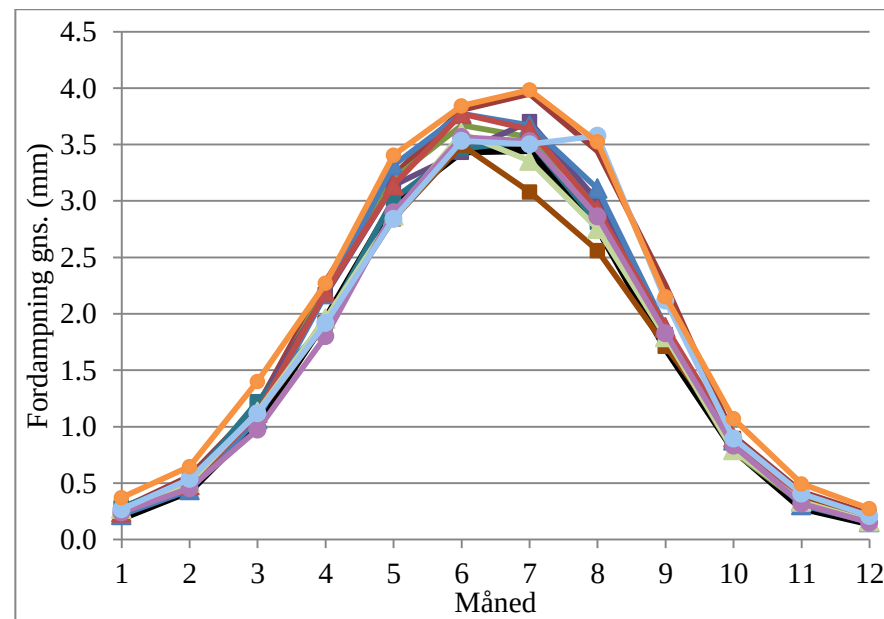
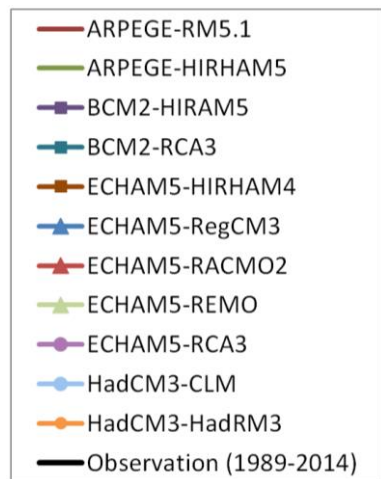
Tabel 5.1 viser de statistiske værdier for observerede data og kalibrering A og B, her ses det i at kalibrering B er nærmere observationerne for absolut minimum, maksimum og median maksimum, mens gennemsnittet er ens for alle tre. Kalibrering A er nærmere median minimum, 10% og 90% fraktilerne. Dog er forskellen mellem kalibrering A og B i forhold til observerede data for absolut, median minimum og 10% fraktilen kun 0,03-0,04 m³/s. Tabellen viser således, at kalibrering A er bedst omkring middel, mens kalibrering B er bedst nær maksimum værdierne, og der ikke er stor forskel mellem de to kalibreringer i forhold til de statistiske værdier for minimum. I den videre analyse, vælges det at anvende kalibrering B, da det særligt er ekstremerne, der forventes at forvolde mest skade for vandløbenes dyreliv, da ørred fortrækker særligt vandføringer omkring 0,25-0,40 m/s (Nielsen 1995).

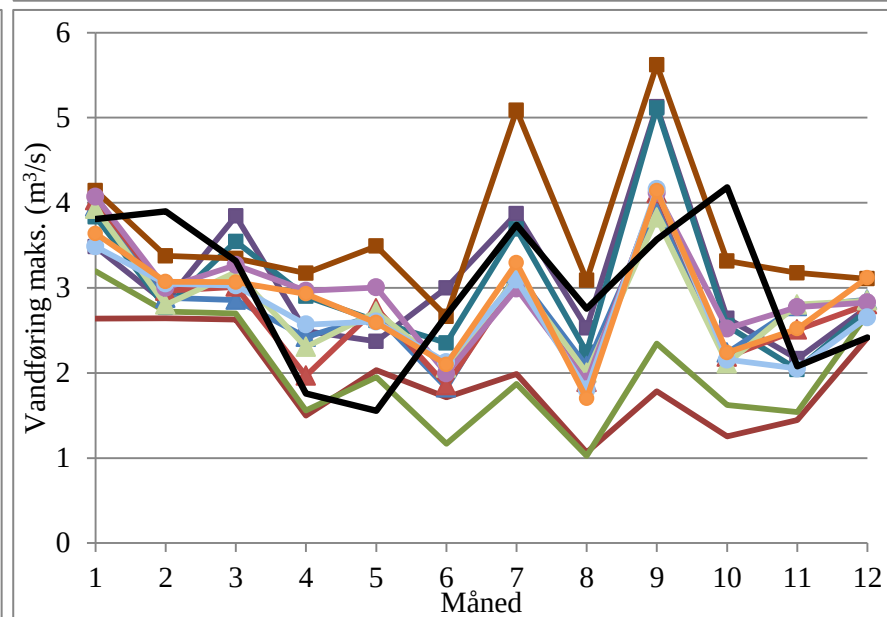
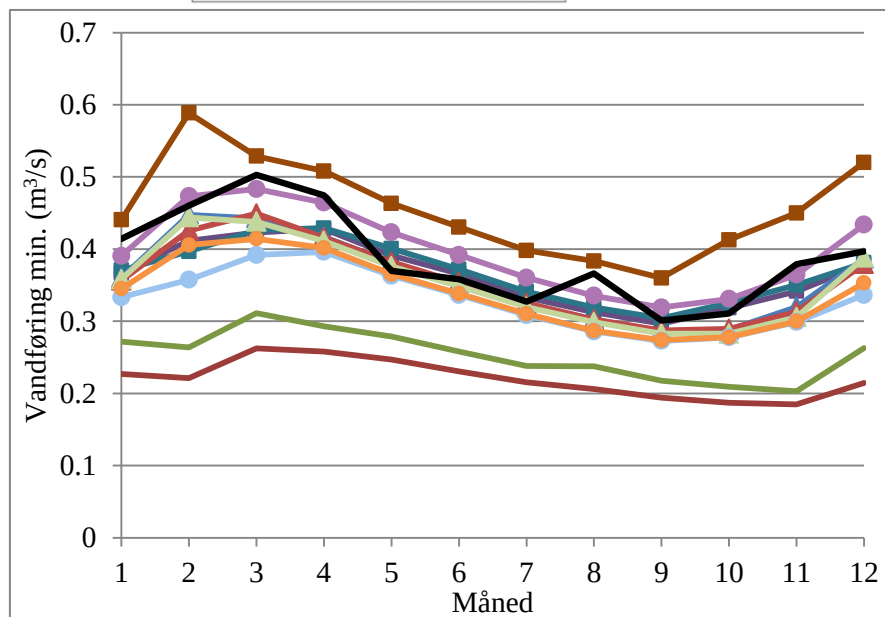
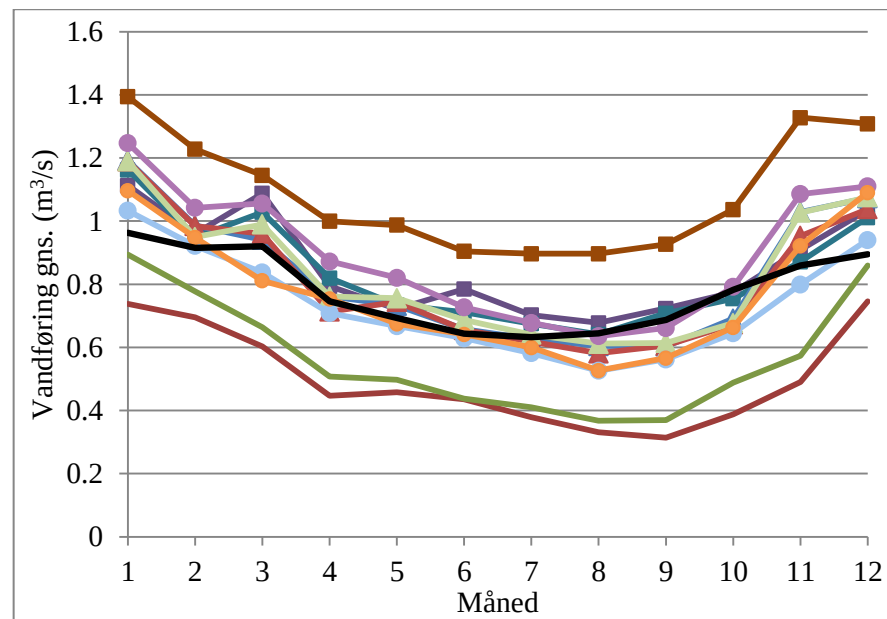
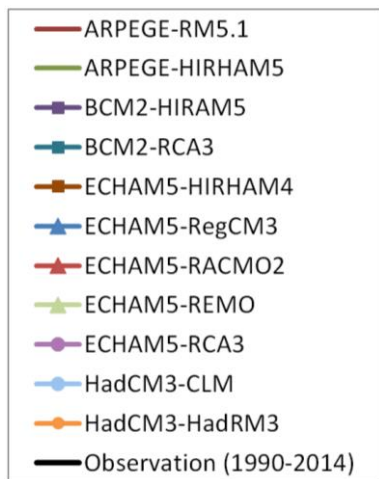
Til at estimere fremtiden blev delta change metoden benyttet som beskrevet i afsnit 4.2, de enkelte delta change faktorer er på månedsbasis for DK6, i DK-modellen, (Seaby 2013) hvor Kastbjerg Å er beliggende. De enkelte faktorer kan ses på Bilag 3. I kalibreringen af de 11 klimamodeller, fjernes det første år af den simulerede vandføring, for at sikre at modellen er fyldt op, således at betydning af begyndelsesbetingelserne minimeres bedst muligt.

På de følgende 4 sider, er kalibreringen af de 11 klimamodeller for 2074/75-2099 illustreret sammen med observationerne fra Kastbjerg Å, i forhold til måneds gennemsnit, minimum og maksimum. Dog ikke minimum for nedbør, da det blot er 0 mm. Tidsserierne lavet på baggrund af de 11 klimamodeller kan ses i bilag D, sammen med de observerede data. Graferne viser tydeligt, at der er variation i resultaterne for de enkelte klimamodeller; på nogle af graferne viser samtlige klimamodeller samme tendenser (eks. temperatur), mens andre er mere flertydelige i forhold til fremtiden (eks. middelnedbør). I sammenligningen af minimum, maksimum og gennemsnit er det vigtigt at være opmærksom på at y-akserne på de forskellige grafer ikke nødvendigvis har samme interval.









Nedbør

Fremtidsestimeringerne for nedbør ses på side 29. Det ses af grafen med middelnedbøren, at denne ikke umiddelbart har samme tydelige forløb gennem året, som det ses for maksimumnedbøren, dog skal der, som beskrevet lægges mærke til y-aksen, der for middelnedbøren er 0-4 mm og for maksimumnedbør 0-140 mm. Overordnet set findes den mindste variation i resultaterne for klimamodellerne fra december til februar, samt i oktober måned, mens den største variation findes fra juli til september og i november.

De fleste klimamodeller forventer en højere middelnedbør om vinteren end i de observerede data, særligt i december og januar, det samme er gældende for maksimum begivenhederne. Om foråret er der trods stor variation, en tendens til en stigning i middelnedbøren og maksimum begivenhederne i marts-april, resultaterne for maj er mere tve-tydige, med ca. halvdelen af modellerne, der forudsiger en stigning og halvdelen et fald. Samtidig er variansen i fremtidsestimeringerne noget større end for vintermånederne. For sommermånederne er spredning i resultaterne endnu større, der er dog en indikation på at middelnedbøren vil falde i forhold til observationerne fra 1989-2014, Hovedparten af klimamodellerne forudsiger et fald i både middel og maksimumnedbør, i september og august, mens de for november forudsiger en stigning. Resultaterne for november ligger dog i et ret stort interval især for middelnedbøren.

Temperatur

De 11 klimamodellers projektioner af temperaturen er vist på side 30, her ses det at både minimum, middel- og maksimumtemperaturen forvente at stige ifølge alle 11 klimamodeller. Middel, maksimum og minimums temperaturene estimeres til at stige mellem 0,9-5,0°C, hvor de største stigninger vil finde sted om vinteren, og de mindste i sommeren. De to klimamodeller med den globale cirkulationsmodel Hadcm3, forventer en højere temperatur end de resterende modeller, der ligger ret tæt. Den største variation i middeltemperaturen findes i hhv. december, januar og marts, for minimumtemperaturen findes det største variation i januar, oktober og august, mens det for maksimumtemperaturen er i januar, oktober og marts.

Fordampning

Fordampningen estimeret ved hjælp af klimamodellerne er afbilledet på side 31. For fordampning ses det, at den laveste fordampning findes om vinteren og den højeste om

sommeren, hovedparten af klimamodellerne viser også en stigning i fordampningen gennem året, hvilket hænger godt sammen med stigningerne i temperatur og nedbørsmængderne. Den største variation mellem klimamodellerne i forhold til fordampningen findes i juli-august, og den mindste fra november til februar.

Vandføring

Fremskrivningerne af vandføringen ses på side 32, her ses det, at i forhold til vandføringen følger alle modeller den naturlige variation fra de observerede data, men der er en ret stort interval mellem de enkelte klimamodeller. Hvor især klimamodel ECHAM5-HIRHAM4 ligger over de andre modeller, mens de to modeller med den globale cirkulationsmodel ARPEGE estimerer lavere vandføring end de resterende modeller.

Middelvandføringen er størst fra november til marts, og mindst fra juni til september. De højeste maksimumvandføringer findes i hhv. september, juli og januar, hvor også de største nedbørshændelser er fra, mens de laveste minimumsvandføringer forventes at finde sted i september-november. Således estimeres det at både den højeste og laveste vandføring finder sted i september.

I forhold til observationerne for middelvandføring estimerer hovedparten af klimamodellerne at denne vil blive højere fra november til februar, og lavere fra august til oktober. 7 klimamodeller forventer at vandføringen også vil stige fra marts til juni, mens klimamodellerne er splittet mellem, om der vil ske en stigning eller et fald i juli. ECHAM5-HIRHAM4 estimerer den største stigning i vandføringen af alle klimamodellerne i forhold til observeret data, mens ARPEGE-RM5.1 forudsiger det største fald i middelvandføringen. Med klimamodel ECHAM5-REMO forventes en stigning i middelvandføringen fra november til juli, med den største forskel fra november til januar, og en lavere vandføring i de resterende tre måneder,

For maksimum begivenhederne estimeres det, at disse bliver større i omtrent halvdelen af året, men der er ikke nogle tydelige tendenser i forhold til eksempelvis årstiden; hovedparten forventer stigninger i april, marts, september og oktober, og fald i april, maj, september, november og december. Den største spredning mellem klimamodellernes projektioner findes i september, hvor også de største maksimumbegivenheder estimeres til at ske. Igen er det klimamodel ECHAM5-HIRHAM4, der estimerer den største stigning i ekstrembegivenhederne i forhold til de observerede data. ARPEGE-RM5.1 forventer sammen med ARPEGE-HIRHAM5 den laveste vandføring, og igen er klimamo-

del ECHAM5-REMO placeret i midten af klimamodellerne, hvor der i seks af månederne forventes en stigning i forhold til observationerne, og de andre seks måneder et fald.

Når der ses nærmere på hvad de enkelte klimamodeller forventer i forhold til minimumsbegivenhederne, forventes disse alle, på nær for maj måned, at blive mindre end i de observerede vandføringer. ECHAM5-HIRHAM4 spår igen om den højeste af vandføringerne, i fem af månederne er det den eneste klimamodel, der estimerer en stigning i minimumsbegivenhederne. Klimamodel ARPEGE-RM5.1 forventer igen den laveste vandføring, og ECHAM5-REMO er forsat placeret sammen med de andre klimamodeller i midten, dog lidt lavere end gennemsnittet, den eneste måned hvor ECHAM5-REMO forudsiger at minimumsvandføringen vil være større end i de observerede data, er i april måned.

Klimamodellerne

Overordnet set er der variation i estimeringerne lavet med de forskellige klimamodeller, som forudset i afsnit 4.2. Hovedparten af modellerne estimerer at der vil ske en stigning i nedbørsmængden i vinter-forår, og et fald i efteråret, sammenlignet med de observerede data. Temperaturen forventes at blive højere hele året rundt i forhold til de observerede data, særligt om vinteren. Ligeledes forventes fordampningen at stige.

For vandføringen forventer hovedparten af modellerne en stigning i middelvandføringen fra november til februar og en lavere middelvandføring i august og oktober, mens klimamodellerne er mindre enige i estimeringen af de resterende måneder. Maksimumsbegivenhederne forventes at have højere vandføring i halvdelen af månederne, mens minimumsbegivenhederne forventes at blive mindre i sammenligning med observationerne.

På grund af den store spredning i vandføring for de forskellige modeller, og da det er uvist hvilken klimamodel, der er nærmest fremtidens klima, udvælges 3 klimamodeller, der viser denne spredning, til den videre analyse. De tre modeller, er hhv. klimamodellerne med den højeste og laveste vandføring, hhv. ECHAM5-HIRHAM4 og ARPEGE-RM5.1, samt klimamodel ECHAM5-REMO, der ligger omkring midten af de 11 klimamodeller.

5.2 TIDSSERIEANALYSE

I dette afsnit undersøges de observerede tidsserie først for om der allerede findes tendenser til faldende eller stigende værdier i tidsserierne. Efterfølgende analyseres de observerede data i forhold til resultaterne for de tre klimamodeller ARPEGE-RM5.1, ECHAM5-REMO og ECHAM5-HIRHAM4 (udregnet på baggrund af kalibrering B). Afslutningsvis undersøges det om ekstremværdierne for vandføringen vil ændre sig med resultaterne af klimamodellerne sammenlignet med ekstremerne fundet for de observerede vandføringer.

5.2.1 Trend analyse

For at finde frem til om der var igangværende stigende eller faldende tendenser i de historiske data, altså om vandføring eksempelvis er steget gennem de sidste 26 år blev en Mann-Kendall trend test udført.

Trend analysen for de årlige minimum, maksimum og middelværdier for hhv. nedbør, temperatur, fordampning og vandføring, indikerede alle på nær minimum og maksimum temperaturen, at der var en tendens til en stigning i værdierne, signifikansen af disse tendenser var dog generelt så lav, at det ikke med sikkerhed kan siges at stigningen er reel, og ikke en tilfældighed. Se resultaterne i Tabel 5.2. Der var dog højere signifikans ved nogle enkelte af variablerne; 0,99 for gennemsnitlige fordampning, og 0,95 for maksimum fordampning. Samtidig fandtes der også en højere signifikans for minimum temperatur og vandføring (0,9). Eftersom en stigning i fordampning afhænger af bl.a. temperatur, er det muligt, at der er sket trends i de resterende tidsserier. Den lave signifikans kan derfor blot skyldes at tidsserierne ikke så lange, og de trends, der er fundet, muligvis er reelle. Udregningerne kan ses i bilag E.

Ifølge trend testen har der været en tendens til en øget nedbørsmængde i perioden fra 1989-2014, med 94 mm mere nedbør gennem perioden, gennemsnitstemperaturen er steget med 0,5°C, gennemsnitsfordampningen med 0,2 mm, og vandføringen med 0,9 m³/s, de øvrige ændringer kan aflæses i Tabel 5.2. Den lave signifikans indikerer dog en usikkerhed i disse resultater. I analysen af fremtidens nedbør, temperatur, fordampning og vandføring er det derfor interessant, at der ses tendenser til ændringer i variablerne i de historiske data, om end signifikansen af disse er lav.

		Hældning (Q)	Ændring i perioden	Signifikans
Nedbør (mm) 1989-2014	Sum	3,617	94,03	<0,90
	Maks.	0,087	2,28	<0,90
Temperatur (°C) 1989-2014	Min.	-0,111	-2,89	0,90
	Gns.	0,021	0,54	<0,90
	Maks.	0,000	0,00	<0,90
Fordampning (mm) 1989-2014	Gns.	0,008	0,20	0,99
	Maks.	0,016	0,41	0,95
Vandføring (m³/s) 1976-2014	Min.	0,003	0,10	0,90
	Gns.	0,002	0,09	<0,90
	Maks.	0,014	0,56	<0,90

Tabel 5.2: Resultat af årlig trend test.

Samme trend analyse blev forsøgt for de enkelte måneder, for at undersøge om der eksisterede nogle tendenser i forhold til årstiderne. Signifikansen er dog her endnu dårligere end i analysen af årlige trends. Så der eksempelvis i februar måned indikeres en tendens til mindre nedbørsmængder, samtidig med tendens til højere vandføringer, dette er dog ret usandsynligt. På grund af den lave signifikans af trendene, benyttes resultaterne for den månedlige trend analyse ikke i rapporten, udregninger og resultater kan dog ses i bilag E.

5.2.2 Statistiske værdier

I dette afsnit bliver 7 statistiske værdier præsenteret, disse er absolut, median minimum og maksimum, 10% og 90% fraktil, samt gennemsnit. Disse udregnes for tidsserierne med nedbør, temperatur, fordampning og vandføring for observationerne samt de tre klimamodeller (ARPEGE-RM5.1, ECHAM5-REMO og ECHAM5-HIRHAM4), og er vist i Tabel 5.3.

I Tabel 5.3 er absolut, median minimum samt 10% fraktilen for nedbør ikke medtaget, da de blot er 0 mm for alle modeller. I forhold til de observerede data estimerer ECHAM5-REMO og ECHAM5-HIRHAM4 en stigning i mængden af nedbør, både i forhold til gennemsnit, 90% fraktilen, median maksimum, mens absolut maksimum kun forventes at stige hvis fremtiden kommer til at minde om ECHAM5-HIRHAM4. Ifølge klimamodel ARPEGE-RM5.1 vil fremtiden byde på lidt mindre nedbør, særligt i forhold til absolut maksimum. Her og generelt i analysen, skal det huskes at metoden brugt til fremskrivningen, delta change metoden er bedst til at estimere gennemsnit værdier, og mindre god i forhold til ekstremer.

I forhold til luft temperatur ses det i Tabel 5.3, at for alle tre klimamodeller forventes luft temperaturen at stige, i forhold til alle 7 statistiske værdier. En sådan temperaturstigning kan blive problematisk for ørredbestanden, da de foretrækker køligt, iltrigt vand, dette skyldes at højere temperature betyder højere stofskifte. Ved temperaturer på ca. 10°C opnår ørred sin maksimale vækst i forhold til fødeindtaget (såfremt der er gode iltforhold). Ved temperaturer omkring 19°C bruger ørred så meget energi til respiration, at der ikke foregår nogen tilvækst i kropsmasse. Hvis de høje temperaturer (over 19-20°C) finder sted i en længere periode, kan ørreden ikke overleve, men vil vandre til mere optimale levesteder. (Sand-Jensen, Lindegaard 2004) Dog er Kastbjerg Å primært domineret af grundvand (Naturstyrelsen et al. 2012), og derfor vil temperaturen i vandløbet ikke stige så meget som lufttemperaturen. Selv ved en stor temperaturstigning i vandløbet, kan ørredbestanden i det enkelte vandløb desuden tilpasse sig forholdene, eksempelvis ved at smoltificerer tidligere. (Sand-Jensen, Lindegaard 2004)

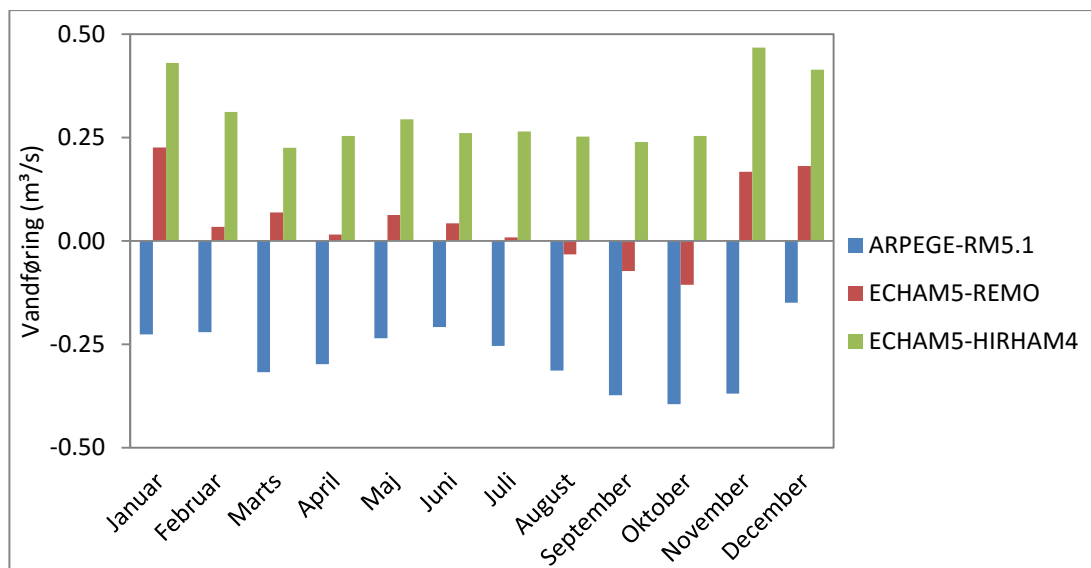
Fordampningen forventes generelt at stige i fremtiden, se Tabel 5.3, absolut minimum kan dog ikke blive mindre end 0 mm. Klimamodel ARPEGE-RM5.1 fremskriver en stigning i fordampningen. Det samme er gældende for ECHAM5-REMO på nær et mindre fald i 90% fraktilen (0,06 mm), ECHAM5-HIRHAM4 forudsiger også lidt mindre fordampning i gennemsnit (0,02 mm) og i 90% fraktilen (0,19 mm). Alle ændringerne i fordampning er dog små, mellem 0,0-0,76 mm.

Den laveste døgnmiddelvandføring, der er observeret i de 26 år, der har eksisteret en målestation ved Kastbjerg Å, er 0,30 m³/s (september 2006), mens den højeste var 4,18 m³/s (oktober 1999). I Tabel 5.3 er de statistiske værdier for vandføringen vist, både de observerede for 1990-2014 og de tre klimamodeller for perioden 2075-2099.. Klimamodel ARPEGE-RM5.1 forventer at vandføringen vil blive mindre i fremtiden, når samtlige statistiske værdier sammenlignes med observationerne. ECHAM5-REMO fremskriver en stigning i middelvandføringen, samt for 90% fraktilen, mens de resterende statistiske værdier forudsiger lavere vandføring. Resultaterne estimeret ved brug af ECHAM5-HIRHAM4 forudsiger en stigning for alle statistiske værdier i forhold til de observerede data.

	Observeret 1989-2014	ARPEGE-RM5.1 2075-2099	ECHAM5-REMO 2075-2099	ECHAM5- HIRHAM4 2075-2099
Nedbør (mm)				
Gennemsnit	1,94	1,72	2,02	2,31
90% fraktil	6,10	5,43	6,47	7,24
Median maksimum	30,85	30,60	32,16	35,62
Absolut maksimum	95,80	76,64	91,01	121,67
Luft temperatur (°C)				
Absolut minimum	-11,80	-8,83	-9,12	-8,90
Median minimum	-0,15	1,75	1,96	1,84
10% fraktil	-0,20	2,14	2,17	2,27
Gennemsnit	8,18	10,25	10,20	10,11
90% fraktil	16,40	18,47	18,08	17,68
Median maksimum	16,90	18,80	18,98	18,89
Absolut maksimum	23,80	25,93	25,28	24,88
Fordampning (mm)				
Absolut minimum	0,00	0,00	0,00	0,00
Median minimum	0,10	0,13	0,11	0,11
10% fraktil	0,10	0,16	0,14	0,14
Gennemsnit	1,60	1,89	1,63	1,58
90% fraktil	3,90	4,45	3,84	3,71
Median maksimum	3,05	3,81	3,26	3,14
Absolut maksimum	5,90	6,61	6,20	6,02
Vandføring (m³/s)				
Absolut minimum	0,30	0,18	0,28	0,36
Median minimum	0,37	0,22	0,35	0,45
10% fraktil	0,51	0,24	0,46	0,63
Gennemsnit	0,78	0,50	0,83	1,09
90% fraktil	1,13	0,90	1,42	1,77
Median maksimum	3,04	1,89	2,80	3,33
Absolut maksimum	4,18	2,64	3,93	5,62

Tabel 5.3: Statistiske værdier for nedbør, temperatur, fordampning og vandføring.

Den gennemsnitlige vandføring forventes altså at falde med klimamodel ARPEGE-RM5.1, og at stige med ECHAM5-REMO og ECHAM5-HIRHAM4. På Figur 5.3 ses ændringerne i middelvandføringen gennem året i forhold til de observerede data, og her fremgår det at ændringerne ikke er ens hen over året. Alle ændringerne i middelvandføring er dog under 0,5 m³/s. Klimamodel ARPEGE-RM5.1 fremskriver en lavere middelvandføring i samtlige måneder, dog særligt i april-maj og august-november. ECHAM-REMO forventer en stigning i middelvandføringen på nær fra august til november. Resultaterne fundet med klimamodel ECHAM-HIRHAM4 forventer en øget middelvandføring i alle måneder, særligt fra november til januar.



Figur 5.3: Ændringer i middelvandføring hen over året, i forhold til observeret data.

5.2.3 Ekstremmaksimum og -minimum

For at kunne beskrive hvorledes ørredbestanden i Kastbjerg Å, vil blive påvirket i fremtiden er det vigtigt at undersøge, hvordan ekstrem vandføringerne vil ændre sig, derfor undersøges minimums og maksimum ekstremeerne ved brug af Gumbels ekstrem værdi analyse, hvor det undersøges ekstremværdierne for hhv. 50, 100 og 200 års begivenheder både for observationerne og for de tre klimamodeller.

Tabel 5.4 viser resultaterne af ekstremanalysen for observerede data samt for klimamodellerne ARPEGE-RM5.1, ECHAM5-REMO og ECHAM5-HIRHAM4. Udregningerne kan ses i bilag F, sammen med bl.a. konfidensgrænserne.

For ekstrem minimums begivenhederne vil en 50-års begivenhed udregnet på baggrund af de observerede data være 0,25 m³/s, en 100-års begivenhed 0,20 m³/s, og en 200-års begivenhed 0,15 m³/s. Ekstrem begivenhederne regnet med resultaterne for ARPEGE-RM5.1 og ECHAM5-REMO forventer at T-års minimum begivenhederne vil blive lavere i fremtiden. En 200-års begivenhed med ARPEGE-RM5.1 vil betyde en vandføring på 0,01 m³/s, men eftersom Kastbjerg Å primært er grundvandsfødt (Naturstyrelsen et al. 2012), er det dog ikke sikkert at fremtidens ekstrem minimum begivenheder vil blive så lave som beskrevet i Tabel 5.4. Hvis fremtiden til kommer til at minde mere om ECHAM5-HIRHAM4, forventes ekstrem minimum vandføringerne modsat at betyde højere vandføringer i fremtiden.

Ekstrem maksimumbegivenhederne for vandføring udregnet på baggrund af observationerne var 4,55, 4,99 og 5,43 m³/s for hhv. 50, 100 og 200-års maksimum begivenhed.

Igen estimeres maksimum begivenhederne at blive mindre, hvis fremtiden kommer til at minde om ARPEGE-RM5.1 og ECHAM5-REMO, sådan at selv en 200-års begivenhed vil blive mindre end en 50-års maksimum begivenhed fundet på baggrund af de observerede vandføringer. ECHAM5-HIRHAM4 fremskriver en stigning i maksimum begivenhederne på 0,51- 0,60 m³/s. Ekstrem nedbøren forventes dog at blive mere ekstrem i fremtiden ifølge Naturstyrelsen (2012b). At kun klimamodel ECHAM5-HIRHAM4 estimere stigninger i maksimum ekstremeerne for vandføring, kan meget vel være et udtryk for brugen af delta change metoden i klimafremskrivningerne.

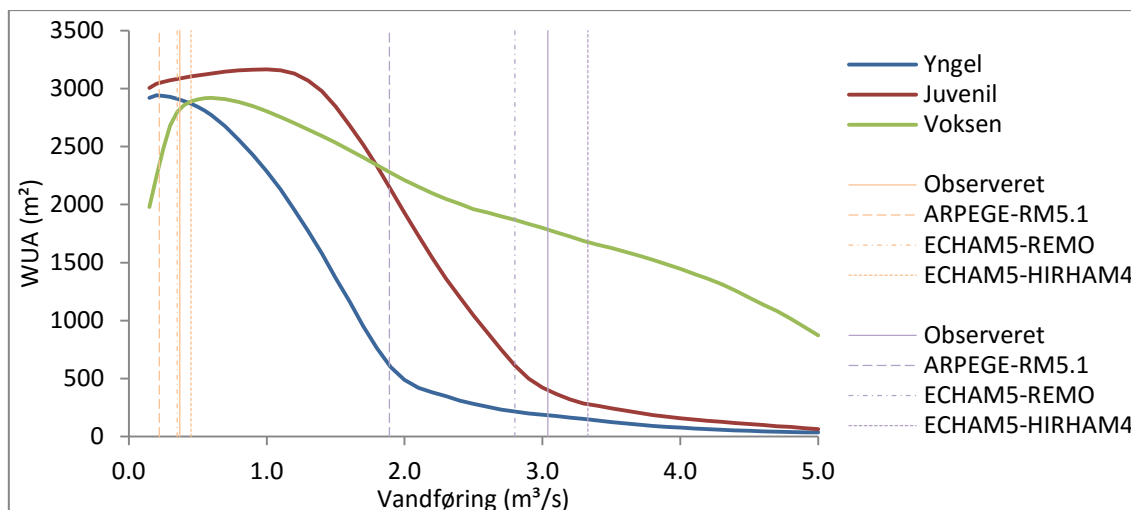
	50-års begivenhed	100-års begivenhed	200-års begivenhed
Min. vandføring (m ³ /s)			
Observation (1979-2014)	0,25	0,20	0,15
ARPEGE-RM5.1 (2075-2099)	0,08	0,04	0,01
ECHAM5-REMO (2075-2099)	0,20	0,14	0,09
ECHAM5-HIRHAM4 (2075-2099)	0,31	0,24	0,17
Maks. vandføring (m ³ /s)			
Observation (1979-2014)	4,55	4,99	5,43
ARPEGE-RM5.1 (2075-2099)	3,04	3,26	3,49
ECHAM5-REMO (2075-2099)	3,92	4,16	4,39
ECHAM5-HIRHAM4 (2075-2099)	5,15	5,54	5,94

Tabel 5.4: Ekstremvandføringer for hhv. observation og de tre klimamodeller.

5.3 HABITATMODELLERING

Resultaterne for beregning af egnet habitatareal for hhv. yngel, juvenil og voksen ørred bliver gennemgået og evalueret i det følgende afsnit. Både i forhold til forskellige vandføringer generelt, samt i forhold til de statistiske værdier fundet i afsnit 5.2.2

Overordnet set viser analysen af habitatarealet at yngel og juvenil ørred vil have et større tilgængeligt areal (WUA) ved helt lave vandføringer, mens voksen generelt er mere modstandsdygtig ved højere vandføringer. På Figur 5.4 er habitatarealet illustreret som funktion af vandføringen, på begge figurer illustrerer de orange lodrette streger median minimum, mens de lilla lodrette streger er median maksimum for observeret data, ARPEGE-RM5.1, ECHAM5-REMO og ECHAM5-HIRHAM4. På figurerne ses det at voksen ørred er mere modstandsdygtig ved høje vandføringer end juvenil og yngel, samt at juvenil har det største habitatareal omkring den fremtidige gennemsnitsvandføring (0,5-1,1 m³/s), med det højeste areal ved 1 m³/s. For yngel findes det højeste egnehabitat areal ved 0,2 m³/s, og for voksen ved 0,6 m³/s.



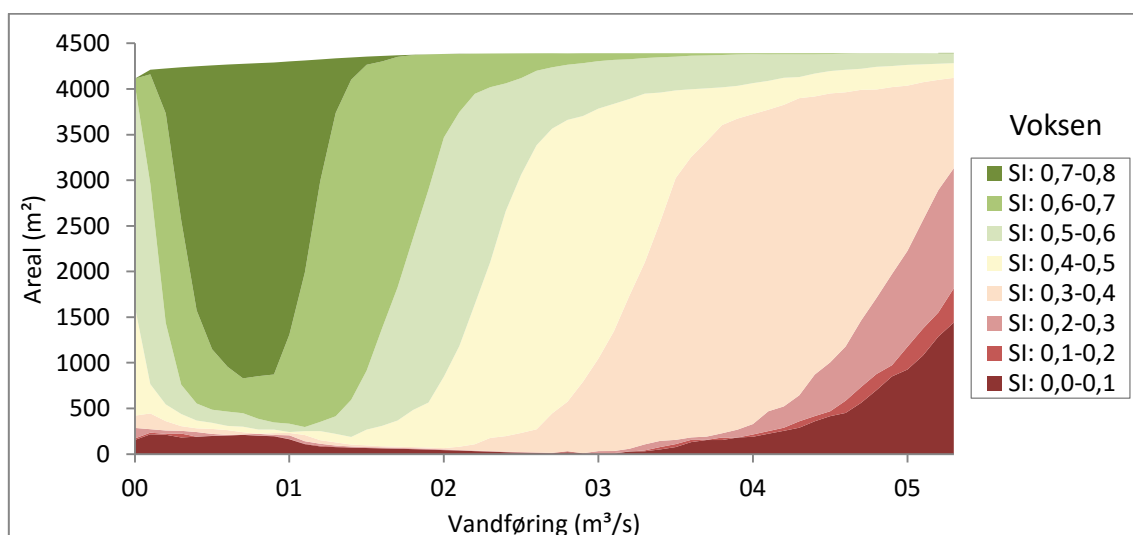
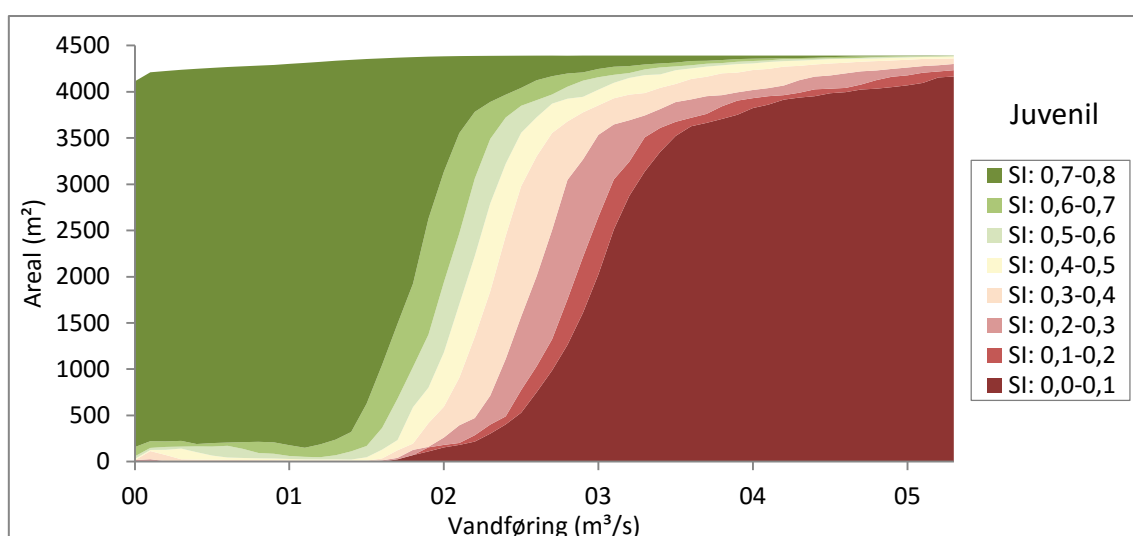
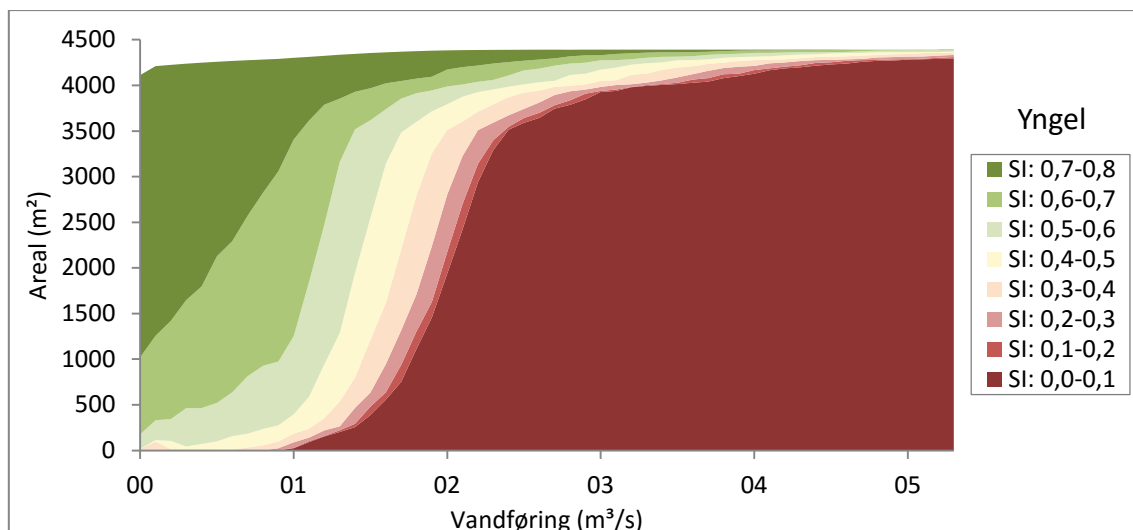
Figur 5.4: Egnede habitatareal som funktion af vandføringen for de tre livsstadier.

I den undersøgte delstrækning af Kastbjerg Å (beskrevet i afsnit 3), opnår ingen af livsstadierne en habitategnethedsværdi (SI) højere end 0,8, dette skyldes, at der udelukken-
de fandtes substrat under 2 mm på delstrækningen.

I Kastbjerg Å var den gennemsnitlige vandføring $0,78 \text{ m}^3/\text{s}$ (1989-2014), og forventes ifølge fremtidsestimeringerne at blive $0,5\text{-}1,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Da ørred yngel foretrækker arealer med lave vandføringer, er de meget sårbare i denne vandløbsstrækning. Det er desuden hver at lægge mærke til at en lille stigning i vandføringen hurtigt vil betyde forringelse i habitategnethedsværdien for ynglen. Det samme er gældende for juvenil ørred, dog er der et større areal med høj ($0,7\text{-}0,8$) habitategnethedsværdi, men også her vil en stigning i vandføring betyde forringelse af habitatarealet. Dette ses ved, at habitategnethedsværdien i intervallet $0,1\text{-}0,7$ er meget smalle på Figur 5.5. Så i udformning af graferne ses det at yngel og juvenil minder om hinanden, dog er juvenil, som beskrevet mere modstandsdygtig.

Voksen ørred er noget mere modstandsdygtig i forhold til ændringer i vandføringen, det ses dog, at det egnede habitatareal vil mindskes ved de meget lave vandføringer, i modsætning til yngel og juvenil. Mens en stigning i vandføringen vil betyde mindre egnede områder, dog vil det tilgængelige areal falde mere gradvist med øget vandføring, og selv ved de helt høje vandføringer vil der være egnede arealer tilbage.

Det betyder, at for ørred yngel vil en vandføring, der følger det lavere klimascenarie, ARPEGE-RM5.1, betyde større egnede habitatarealer, mens hvis klimaet i stedet bliver mere som det høje klimascenarie, ECHAM5-HIRHAM4 vil det resultere i mindre egnede ørredhabitater.



Figur 5.5: Habitategnethedsværdi vist, i forhold til areal og vandføring for hhv. yngel, juvenil og voksen.

Tabel 5.5 viser, hvordan habitatarealet for yngel, juvenil og voksen ørred vil være ved de 7 statistiske værdier, præsenteret i afsnit 5.2.2, der er udregnet for de observerede data, samt for de tre klimascenarier. Det ses af tabellen, at hovedparten af de største

habitatarealer findes ved de statistiske vandføringsværdier for den lave klimamodel, ARPEGE-RM5.1, og den høje klimamodel ECHAM5-HIRHAM4. For ørred yngel er det den lave klimamodel, der giver det højeste areal for alle 7 statistiske værdier. Det er dog ikke særligt overraskende, da ynglen foretrækker lave dybder og strømhastigheder. Delstrækningen ligger desuden nær udløbet, og vil derfor sjældent have en stor bestand af ørred yngel.

For juvenile og voksen ørred findes de største habitatarealer for absolut minimum, median minimum og 10% fraktilen, hvis fremtiden følger den høje klimamodel, ECHAM5-HIRHAM4. De højeste habitatarealer for 90% fraktilen, median maksimum og absolut maksimum findes modsat ved den lave klimamodel, ARPEGE-RM5.1. Juvenil og voksen ørred foretrækker således de højst mulige minimum vandføringer, og de lavest mulige maksimum vandføringer. For middelvandføringen findes det største habitatareal for juvenil ved middel klimamodellen, ECHAM5-REMO, mens voksen ørred også her foretrækker den lave klimamodel ARPEGE-RM5.1.

Juvenil ørred beregnes til at have det største habitatareal ved absolut minimum, median minimum, 10% fraktilen og gennemsnit for observeret data og de tre klimamodeller. Mens voksen ørred har det største habitatareal ved median maksimum og absolut maksimum ved alle scenarierne. Det er også værd at bemærke, at det egnede habitatareal for alle tre livsstadier ændrer sig mere ved de statistiske maksimumværdier end ved minimumværdierne. Da klimamodellerne ved maksimumværdierne fremskriver resultater med størst variation.

		Absolut minimum	Median minimum	10% fraktil	Gennemsnit	90% fraktil	Median maksimum	Absolut maksimum
Observeret	Vandføring (m³/s)	0,30	0,37	0,51	0,78	1,13	3,04	4,18
	Yngel	2924 69	2906 68	2834 66	2578 60	2082 48	184 4	66 1
	Juvenil	3069 72	3087 73	3115 73	3153 73	3150 72	402 9	138 3
	Voksen	2678 63	2826 66	2912 68	2886 67	2736 63	1785 41	1367 31
ARPEGE- RM5.1	Vandføring (m³/s)	0,18	0,22	0,24	0,50	0,90	1,89	2,64
	Yngel	2918 71	2937 70	2937 70	2841 66	2429 56	619 14	246 6
	Juvenil	3015 73	3048 72	3053 72	3113 73	3163 73	2146 49	837 19
	Voksen	2129 51	2345 56	2440 58	2909 68	2845 66	2283 52	1923 44
ECHAM5- REMO	Vandføring (m³/s)	0,28	0,35	0,46	0,83	1,42	2,80	3,93
	Yngel	2932 69	2909 68	2861 67	2521 58	1527 35	218 5	83 2
	Juvenil	3066 72	3083 73	3105 73	3159 73	2952 68	618 14	168 4
	Voksen	2618 62	2800 66	2893 68	2872 67	2578 59	1870 43	1478 34
ECHAM5- HIRHAM4	Vandføring (m³/s)	0,36	0,45	0,63	1,09	1,77	3,33	5,62
	Yngel	2908 68	2869 67	2741 64	2150 50	819 19	150 3	21 0
	Juvenil	3085 73	3102 73	3133 73	3156 73	2382 54	279 6	34 1
	Voksen	2813 66	2887 68	2917 68	2757 64	2360 54	1676 38	487 11

Tabel 5.5: Habitatarealet vist som funktion af de statistiske vandføringsværdier. De kursive tal angiver procentdelen af vandløbsarealet der er egnet som habitatareal, mens de resterende er habitatarealet angivet i m².

6 ANALYSE OG EVALUERING AF RESULTATER OG METODE

Analysen af fremtidens ørredhabitater viser, at mængden af ørredhabitater i fremtiden, især afhænger af hvilken klimamodel fremtiden kommer til at følge. Da der er stor variation i modellerne; nogle klimamodeller forudsiger lavere middelvandføring mens andre forudsiger højere, i forhold til observeret data.

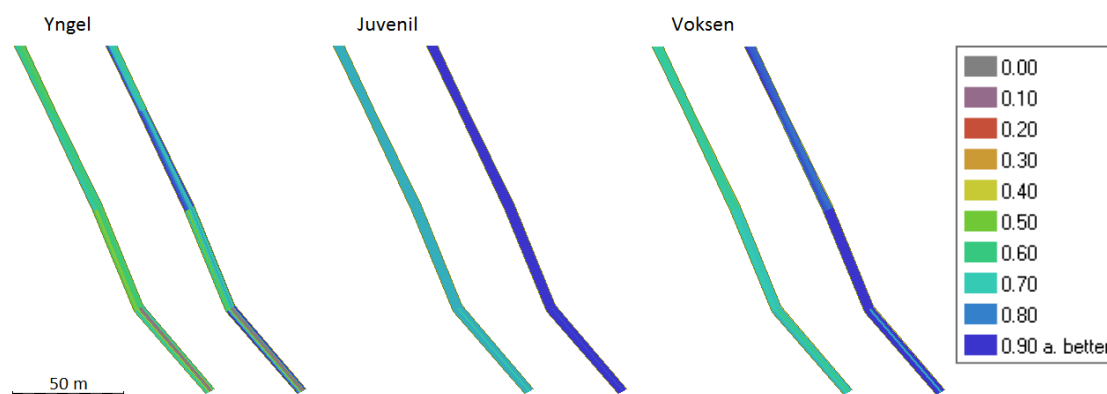
Tidsserien for de observerede data havde en middelvandføring på 0,78 m³/s. Middelvandføringen bliver ifølge den lave klimamodel, ARPEGE-RM5.1 lavere i fremtiden (0,50 m³/s). Klimamodel ECHAM5-REMO, der blev analyseret nærmere, da den estimerer vandføringer, der ligger i midten af de 11 undersøgte klimamodeller fremskriver en stigning i middelvandføringen (0,83 m³/s) i forhold til observationerne. Den klimamodel, der estimerer de højeste vandføringer, ECHAM5-HIRHAM4 forudsiger en stigning i middelvandføringen til 1,09 m³/s.

I undersøgelsen af egnede habitatarealer i delstrækningen af Kastbjerg Å, findes det maksimale habitatareal for ørred yngel (2941 m²) ved vandføring på 0,2 m³/s, altså lavere vandføring end absolut minimum, registreret i vandløbet i perioden 1976-2014. Det er tydeligt at ynglen foretrækker områder længere opstrøms, hvor vandstanden er lavere. For juvenil ørred findes det højest egnede habitatareal ved 1,00 m³/s, hvor arealet er 3165 m², hvilket er en højere vandføring end middelvandføringen fra 1990-2014. Voksen ørred har til gengæld det størst egnede habitatareal ved vandføring under middelvandføringen i de observerede data, nemlig ved 0,60 m³/s, hvor habitatarealet er 2918 m². I og med det største habitatareal findes for juvenil, vil juvenil have under 33% af habitatarealet ved 1,00 m³/s tilbage ved vandføringer over 2,5 m³/s. For yngel vil det ske ved 1,7 m³/s, mens voksen ørred har halvdelen af det maksimale areal tilbage ved vandføringer omkring 4,0 m³/s, altså omkring det absolutte maksimum registreret fra 1976 til 2014. Det er tydeligt at voksen ørred, meget forventeligt, er mere modstandsdygtig mod ændringer i vandføringen, og at de høje vandføringer vil give store problemer for yngel og juvenil. Minimum vandføringerne vil have størst negativ effekt på habitatarealet for voksen ørred. Da Kastbjerg Å er grundvandsfødt, er det svært at forudsige hvad minimumvandføring vil blive i fremtiden, uden yderligere undersøgelser.

Resultaterne viser tydeligt at både ørredhabitater egnet til yngel og juvenil hurtigt vil mindskes ved højere vandføringer., Det er dog ganske centralt, at den valgte delstrækning ligger nær udløbet i Mariager Fjord, og derfor vil der sjældent befinde sig yngel på denne strækning, mens juvenil begynder at sprede sig i vandløbssystemet. Hovedparten af de ørred, der vil findes så langt nedstrøms, vil være voksne ørred, (Sand-Jensen, Lindegaard 2004, Nielsen 1995). Voksen ørred er som beskrevet også mere modstandsdygtig ved stigninger i vandføringen, selvom det er juvenil ørred, der har det største habitatareal ved middelvandføringen.

I forhold til de lave vandføringer er det også vigtigt at pointere, at årsagen til det egnede habitatareal ikke falder mere for yngel og juvenil, er fordi præferenceværdierne er sat, sådan at disse livsstadier har en høj præference (på 1) fra 0 m/s til strømhastigheder på hhv. 0,3 m/s og 0,4 m/s. Naturligvis vil der ikke leve ørred, hvis der ikke er noget vand, men eftersom de trives ved lave dybder, er det valgt at gøre således med strømhastigheden. Så den sande årsag bag, er nok nærmere at den laveste vandføring der blev undersøgt i CASiMiR var 0,15 m³/s. Hvis lavere værdier var blevet undersøgt, ville præferencerne for yngel og juvenil også falde.

Jo mere de maksimale vandføringer stiger, jo mindre vil arealet være, som er egnet ørredhabitat. I afsnit 5.2.3 beskrives det, at maksimumekstremerne kun vil blive højere end observationerne, hvis fremtiden kommer til at følge klimamodel ECHAM5-HIRHAM4. Mere ekstreme nedbørshændelser og dermed mere vand i vandløbene er dog, hvad der forventes at ske i Danmark. (Naturstyrelsen 2012b) I forhold til minimum ekstremerne forventes disse at blive endnu mindre ved klimamodellerne ARPEGE-RM5.1 og ECHAM5-REMO samt i Naturstyrelsen (2012b). Meget lave vandføringer har primært en negativ påvirkning på de voksne ørred, og det er som beskrevet uvist hvor lav vandføringen vil blive, da Kastbjerg Å primært er grundvandsfødt. Årsagen til at især maksimumekstremerne ikke følger de nationale fremtidsestimeringer bedre, skyldes med stor sandsynlighed, at delta change metoden blev benyttet i analysen, dette beskrives nærmere senere i dette afsnit.



Figur 6.1: Illustration af habitategnethedsværdien for yngel, juvenil og voksen, hhv. med (venstre) og uden substrat (højre) ved $0,83 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figur 6.1 viser en illustration af delstrækningen af Kastbjerg Å, hvor tværsnit 15-20 er udarbejdet i CASiMiR. På figuren ses habitategnethedsværdien med og uden substrat for de tre livsstadier af ørred. Figuren er lavet med middelvandføringen ($0,83 \text{ m}^3/\text{s}$) med (middel) klimamodellen ECHAM5-REMO. Det fremgår tydeligt af figuren at hvis substratet ikke medregnes i habitategnethedsværdien, vil værdien være større end når substratet medregnes, og dermed vil vandløbet være mere egnet som habitat. Hvis enten dybde eller strømhastighed ikke medregnes i habitategnethedsværdien, har det ikke nær så stor betydning. De øvrige dele af delstrækningen viser samme tendenser. For overskueligheden skyld er det kun en del af delstrækningen, der er afbilledet på figuren. At den højeste habitategnethedsværdi i analysen (substrat inkluderet) var mellem 0,7 og 0,8, skyldes primært at delstrækningen bestod af substrat under 2 mm. Hvis dette ændres i delstrækningen til mere varierende substrat, vil det få en positiv effekt på egnede ørred habitater, da en varieret bund er nødvendig for at et vandløb er et godt ørred vandløb. (Sand-Jensen, Lindegaard 2004)

Det viste sig desuden af vandløbssystemet er ekstremt følsomt ved habitategnethedsværdier mellem 0,1 og 0,7 for både yngel og juvenil, hvor en mindre ændring i Q vil betyde store ændringer i habitategnetheden. Dette skyldes vandløbets manglende variation, idet Kastbjerg Å minder mere om en slynget kanal end om et mæandrerende naturligt vandløb. Generelt er habitatvariationen meget begrænset i delstrækningen, og dette skyldes, ud over den manglende variation i substrat, også den fysiske udformning. Dette betyder at Kastbjerg Å, og sikkert lignende regulerede vandløb vil være følsomme over for klimaforandringer, fordi den fysiske tilstand allerede er forringet.

For at imødegå klimaforandringerne, skal der derfor være mere varierende substrat i strækningen. For at mindske konsekvenserne af klimaforandringer i Kastbjerg Å, vil det være nødvendigt med supplerende tiltag, f.eks. i form af ændringer i substratet.

Metode diskussion

I dette afsnit diskuteres metoderne, der benyttes i projektet. Først og fremmest er det beklageligt, at det ikke lykkedes at lave en god kalibrering af vandføringen. Dette har betydet at resultaterne udarbejdet på baggrund heraf nærmere indikerer ændringer end rent faktisk forudsiger dem. Nash-sutcliffe koefficienten var kun 0,425, dermed stemte kalibreringen kun overens med observationerne i under halvdelen af vandføringerne, afbilledet i hydrografen på Figur 3.2. I kalibreringen er det også nødvendigt at prioritere, om det er minimum, middel, maksimum eller overordnet overensstemmelse af hydrograferne, der er vigtigst.

Det kan også diskuteres hvor god NAM er i forbindelse med en fremtidsestimering. Ud over at modellen behandler oplandet som en samlet enhed, så hvert parameter er repræsentativt for hele oplandet, antages det også at parametrene ikke ændrer sig gennem den 26 årige periode, f.eks. som følge af ændringer i grundvandsniveauet. Dette er en del af forsimplingen af den hydrauliske cyklus og af oplandet, men betyder også at modellen måske ikke er så velegnet til at modellere så langt ud i fremtiden, som der gøres her.

Bias korrektionen blev udført med delta change metoden, hvorved det antages at variationen i klimaet forbliver uændret, hvilket er en brugbar antagelse, når det eksempelvis er middelvandføringen, der undersøges. (Seaby 2013) Eftersom der i dette projekt også estimeres på ekstremerne, ville det have været mere hensigtsmæssigt også at benytte distribution based scaling (DBS-korrektion), om ikke andet for at undersøge hvilke forskelle de to bias korrektioner giver. Eftersom det ikke blev undersøgt hvilke forskelle, der er ved de forskellige bias korrektioner, og det er valgt at benytte én der er bedst til middelvandføringer, kan det diskuteres, hvor gode fremskrivningerne er for minimum og maksimum.

Habitatmodelleringen tager højde for de fysiske krav ørrederne har til vandløbet, mens det ikke undersøges hvorvidt andre krav er opfyldt, eksempelvis iltindhold, gydebanks og nærringstofindhold. Det er blot antaget, at disse er opfyldt, da der er en naturlig ørredbestand i Kastbjerg Å. Hvorvidt dette er tilfældet i fremtiden er ikke undersøgt. I habitatmodelleringen benyttes desuden et sæt præferenceværdier for hvert af de tre livsstadier, og der er således ikke taget højde for forskellene i ørred præferencer gennem året.

For at opnå en retvisende modellering af ørredhabitatet er det vigtigt, at det er de rigtige præferenceværdier der anvendes, da de har stor indflydelse på resultaterne af modelle-

ringen. (Clausen et al. 2006) I dette projekt benyttes det egnede habitatareal dog til at sammenligne det hidtidige klima med det fremtidige, og der kan derfor argumenteres for at så længe samme præferencer benyttes, er det (i en vis udstrækning) muligt at undersøge, hvorvidt der vil ske ændringer.

På trods af disse problematikker i metoden, formodes det at resultaterne kan benyttes til at indikere, hvordan forskellige ændringer i klimaet vil kunne påvirke ørredhabitaterne i Kastbjerg Å i fremtiden.

7 KONKLUSION

Med udgangspunkt i hypotesen, at *ændringer i klimaet vil resultere i mindre gunstige fysiske betingelser for ørred i fremtiden*, undersøges det, hvorvidt ørredhabitaterne vil mindskes, som resultat af klimaforandringerne påvirkning på fremtidens vandføring i Kastbjerg Å.

På baggrund af simuleringerne af fremtidens klima med NAM, udvælges 3 af 11 klimamodeller. Klimamodellerne viser en stor variation i estimeringerne af vandføringen: ARPEGE-RM5.1 simulerer den laveste vandføring, ECHAM5-REMO, ligger i midten, og ECHAM5-HIRHAM4 simulerer den højeste vandføring af de 11 klimamodeller.

På grund af den store variation i fremskrivningen af vandføringen i de tre udvalgte klimamodeller, viser analysen, at mængden af ørredhabitater især afhænger af, hvilken klimamodel fremtiden kommer til at følge.

Variationen i fremskrivningerne betyder, at middelvandføring fremskrives, så ARPEGE-RM5.1 beskriver et fald i middelvandføring på $0,28 \text{ m}^3/\text{s}$, mens ECHAM5-REMO og ECHAM5-HIRHAM4 beskriver en stigning på henholdsvis $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ og $0,31 \text{ m}^3/\text{s}$ i forhold til de observerede data. Ændringerne i vandføring fordeler sig ikke ligeligt hen over året. Således beskriver ECHAM5-REMO og ECHAM5-HIRHAM4 væsentligt højere stigning i middelvandføring i november-januar end i resten af året. ARPEGE-RM5.1 beskriver det største fald i middelvandføring i april-maj og august-november.

Samtlige klimamodeller forudser en stigning i middel lufttemperaturen på $1,9\text{-}3,4^\circ\text{C}$. Stigningen har betydning for ørreden, idet den optimale vandtemperatur er 10°C . Hvis vandtemperaturen overstiger 19°C i længere perioder vil det betyde, at ørreden ikke kan overleve og vil søge andre steder hen. Vandtemperaturen vil dog ikke stige så meget som lufttemperaturen, da Kastbjerg Å primært er grundvandsfødt.

Analysen af egnede ørredhabitater for en delstrækning af Kastbjerg Å viser, at det er vanskeligt at besvare hypotesen, på grund af den store variation i vandføringen, afhængigt af hvilken klimamodel fremtiden kommer til at følge.

Hvis fremtiden følger den lave klimamodel ARPEGE-RM5.1, vil middelvandføringen betyde mindre habitatarealer for yngel og voksen ørred, og en stigning på 40 m^2 for juvenil ørred. Minimumværdierne vil betyde mindre habitatarealer i forhold til de observerede data, og modsat med maksimumværdierne. Hvis fremtiden til gengæld følger ECHAM5-REMO eller ECHAM5-HIRHAM4 vil habitatarealerne for yngel og voksen

ørred mindskes ved middelvandføringen, mens den vil stige for juvenil ørred. I forhold til minimumsværdierne vil projektionerne i ECHAM5-HIRHAM4 forøge habitatarealet, da de er højere end de observerede vandføringer, modsat forventes maksimum vandføringerne at betyde betydeligt lavere habitatarealer.

Generelt er voksen ørred mere modstandsdygtig i forhold til stigninger i vandføringen, hvor de høje vandføringer vil have store konsekvenser for yngel og juvenil ørred. Det er tydeligt, at især yngel ørred foretrækker områder længere opstrøms, hvor vandføringen er lavere. Modsat vil minimum vandføringerne have størst negativ effekt på habitatarealet for voksen ørred.

Kalibreringen der lå til grund for fremtidsprojektionerne var desuden mindre god, muligvis på grund af det meget grundvand i Kastbjerg Å. Delta change metoden blev anvendt til bias korrektion i klimafremskrivningerne, denne metode er bedst til middelværdier, så for at få et bedre estimat af fremtidens minimum og maksimum, bør en anden bias korrektionsmodel benyttes.

8 VIDERE FORSKNING

Dette projekt har givet et indblik i hvordan fremtiden kan forventes at blive for bestanden af ørred i et enkelt vandløb, der indikerer vandløbets tilstand. For at komme nærmere hvordan fremtidens klima vil påvirke ørredbestanden i danske vandløb, og dermed indirekte vandløbenes økologiske tilstande, er der særligt tre dele, der vil øge indsigten på dette område:

1. En bedre forståelse af, hvordan klimaet vil ændre sig lokalt, hvilket vil give en bedre forståelse for hvordan det lokale klima bedst estimeres, samt hvilket klimascenarie, der mest sandsynligt estimerer fremtidens klima lokalt.
2. Det vil være hensigtsmæssigt at have nogle generelle præferenceværdier, der er tilpasset danske vandløb, og en større forståelse for hvordan de kan tilrettes, så de kan benyttes i forskellige typer vandløb. Generelle præferenceværdier vil ikke kun være behjælpelige i forhold til estimering af fremtidens klima, men vil også kunne benyttes i forbindelse med eksempelvis fastsættelse af minimum vandføringer, som i Clausen et al. (2006).
3. Det kunne være interessant at udarbejde estimeringer af hvilke konsekvenser fremtidens klima vil få for en række forskellige vandløb i Danmark. Dette vil give en forståelse af, hvordan fremtidens klima vil påvirke de danske vandløb generelt. Dette vil kunne inkorporeres i pleje og sikring af de enkelte vandløb og deres oplande, og derved bidrage til at undgå negative konsekvenser.

9 LITTERATURLISTE

- Århus Amt & GEUS., 2005. *Kastbjerg Ådal*. Tilgængelig via:
<http://extra.geus.info/web/nm-grundvand-kastbjerg-aadal.htm>.
- BIRKENS, M.F.P. & VAN GEER, F.C., u.d. *Stochastic Hydrology (GEO 4-4420)*.
Utecht University: Department of Physical Geography.
- BROOKES, A., 1990. Channelized Rivers-Perspectives for Environmental Management. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 15.
- CLAUSEN, B., JOHNSON, I.W. & ELLIOTT, C.R., 1993. Økologisk acceptable vandføringer. *Vand & Miljø*, nr. 10.
- CLAUSEN, B., OLSEN, M., PEDERSEN, S. & PEDERSEN, M.L., 2006. *Habitatmodelling i Ledreborg Å: Effekten på ørred ved reduceret vandføring*. København: Danmarks Miljøundersøgelser.
- Europaparlamentet & Europarådet., 2000. *Europa-parlamentets og rådets direktiv 2000/60/EF: om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger*.
- Geodatastyrelsen., 2015. *Geodataprodukter*. Tilgængelig via:
<http://download.kortforsyningen.dk/content/geodataprodukter>.
- HANSEN, L., 1976. Soil Types at the Danish Experimental Stations. *Tidssk. Pl.Avl.*, vol. 80, s. 742-758.
- HAWKINS, E. & SUTTON, R., 2011. The potential to narrow uncertainty in projections of regional precipitation change. *Journal Climate Dynamics*, vol. 37(1-2), s. 407-418.
- JENSEN, K.H., u.d. *Short note on Gumbel extreme value analysis*. Hørsholm: DHI.
- JOHNSON, I.W., ELLIOTT, C.R.N. & GUSTARD, A., 1995. Modelling the effect of groundwater abstraction on salmonid habitat availability in the river Allen, Dorset, England. *Regulated Rivers: Research & Management*, vol. 10, s. 229-238.
- JØRGENSEN, K., CHRISTENSEN, H.-A. & MIKKELSEN, J.S., 2008. *Udsætningsplan for vandsystemer mellem Mariager Fjord (inkl.) og Limfjorden inkl. Villestrup Å. Silkeborg: DTU Aqua, Sektion for Ferskvandsfiskeri*.
- LUND, T., 1996. *Elverdamsåen: Hydraulikkens og vandføringens betydning for ørredbestandens fysiske vilkår*. Geomorfologisk Afdeling, Geologisk Institut, Aarhus Universitet: Specialerapport.
- MADSEN, H., 2000. Automatic calibration of a conceptual rainfall-runoff model using multiple objectives, vol. 235, nr. *Journal of Hydrology*, s. 276-288.

- Mariagerfjord Kommune., 2013. *Kastbjerg A tillægsregulativ m. bilag*.
- Mariagerfjord Kommune., 2007. *Mariagerfjord Kommunes forslag og ideer til Vand og Naturplaner: høringsvar til Miljøcenter Aalborg*.
- MEALS, D. W., SPOONER, J., DRESSING, S. A. & HARCUM, J. B., 2011. *Statistical analysis for monotonic trends*, Tech Notes 6. Fairfax, Virginia: Developed for U.S. Environmental Protection Agency by Tetra Tech, Inc.
- Miljøstyrelsen., 2001. *Redegørelse om Vandrammedirektivet*. <http://naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/international-naturbeskyttelse/eu-direktiver/eus-vandrammedirektiv/>. København: Miljø- og Energiministeriet.
- NAM., 1999. *NAM: Model Documentation*.
- Naturstyrelsen., u.d.a. 223 *Kastbjerg Ådal*. Tilgængelig via: <http://naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/natura-2000/natura-2000-planer/natura-2000-planer-2009-15/plan-126-246/223-kastbjerg/>.
- Naturstyrelsen., u.d.b. *Vandløb*. Tilgængelig via: <http://naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/national-naturbeskyttelse/beskyttede-naturtyper-3/naturplejeportalen/vandloeb/#lovgiv>.
- Naturstyrelsen., 2014. *Naturstyrelsen offentliggør basisanalysen*. Tilgængelig via: <http://naturstyrelsen.dk/nyheder/2014/feb/naturstyrelsen-offentliggoer-basisanalysen/>.
- Naturstyrelsen., 2012a. *Kastbjerg Ådal: Vand- og naturindsatsen*. Tilgængelig via: <http://naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/naturprojekter/kastbjerg-aadal/>.
- Naturstyrelsen., 2012b. *Kortlægning af klimaforandringer: muligheder og barrierer for handling*. Task Force for Klimatilpasning, København: Naturstyrelsen.
- Naturstyrelsen, Mariagerfjord Kommune & Randers Kommune., 2012. *Natura 2000-handleplan: Kastbjerg Ådal*. Danmark: Naturstyrelsen; Mariagerfjord Kommune; Randers Kommune.
- NIELSEN, J., 1995. Fiskenes krav til vandløbenes fysiske forhold : et udvalg af eksisterende viden. *Fiskenes Krav Til Vandløbenes Fysiske Forhold : Et Udvalg Af Eksisterende Viden*.
- OVESEN, N.B., IVERSEN, H.L., LARSEN, S.E., MÜLLER-WOHLFEIL, D.-., SVENDSEN, L.M., BLICHER, A.S. & JENSEN, P.M., 2000. *Afstrømningsforhold i danske vandløb*. København: Danmarks Miljøundersøgelser.
- PEDERSEN, M.L. & KRONVANG, B., 1998. Oplandsanalyse og -model. I: BØGE-STRAND, J. red., *Vandløb og kilder: Faglig rapport fra DMU, nr. 292* Silkeborg: Danmarks Miljøundersøgelser, s. 43-48.
- SALMI, T., MÄÄTTÄ, A., ANTTILA, P., RUOHO-AIROLA, T. & AMNELL, T., 2002. *Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-*

Kendall test and Sen's slope estimates: the Excel template application Makesens.
Helsinki: Finnish Meteorological Institute.

SAND-JENSEN, K. & LINDEGAARD, C., 2004. *Ferskvandsøkologi*. K. SAND-JENSEN red., 2. udg. København: Gyldendal.

SCHARLING, M., 2012. *Climate Grid Denmark, Dataset for use in research and education*. København: DMI.

SCHNEIDER, M., NOACK, M., GEBLER, T. & KOPECKI, I., 2010. *Handbook for the Habitat Simulation Model CASiMiR: Module CASiMiR-Fish Base Version*. Stuttgart: Universität Stuttgart.

SEABY, L.P., 2013. *Uncertainty in Hydrological Change Modelling*. København: Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.

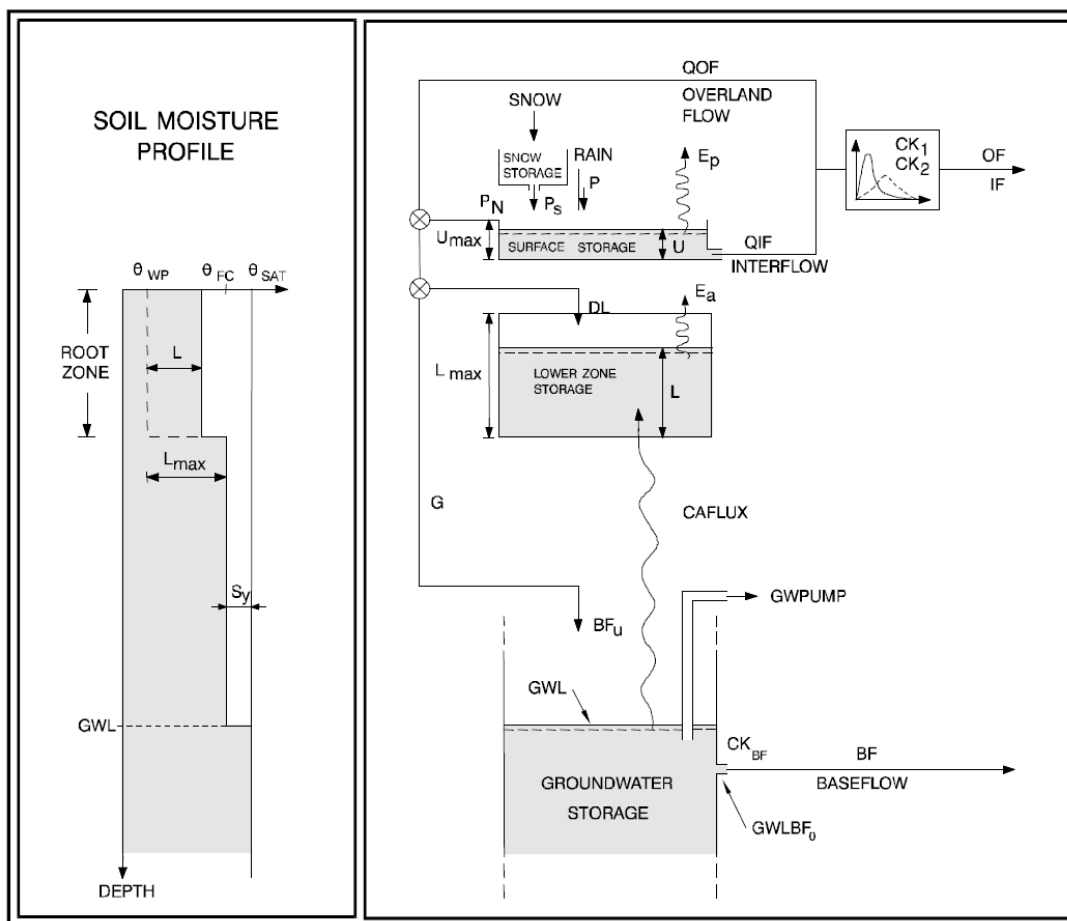
SEABY, L.P., REFSGAARD, J.C., SONNENBORG, T.O., STISEN, S., CHRISTENSEN, J.H. & JENSEN, K.H., 2013. Assessment of robustness and significance of climate change signals for an ensemble of distribution-based scaled climate projections. *Journal of Hydrology*, vol. 486, s. 479-493.

SØNDERGAARD, M., LAURIDSEN, T.L., KRISTENSEN, E.A., BAATTRUP-PEDERSEN, A., WIBERG-LARSEN, P., BJERRING, R. & FRIBERG, N., 2013. *Biologiske indikatorer til vurdering af økologisk kvalitet i danske søer og vandløb*. Aarhus: Aarhus Universitet.

STOCKER, T.F., QIN, D., PLATTNER, G.-., ALEXANDER, L.V., ALLEN, S.K., BINDOFF, N.L., BRÉON, F.-., CHURCH, J.A., CUBASCH, U., EMORI, S., FORSTER, P., FRIEDLINGSTEIN, P., GIL-LETT, N., GREGORY, J.M., HARTMANN, D.L., JANSEN, E., KIRTMAN, B., KNUTTI, R., KUMAR, K., LEMKE, P., MAROTZKE, J., MASSON-DELMOTTE, V., MEEHL, G.A., MOKHOV, I.I., PIAO, S., RAMASWAMY, V., RANDALL, D., RHEIN, M., ROJAS, M., SABINE, C., SHINDELL, D., TALLEY, L.D., VAUGHAN, D.G. & XIE, S.-., 2013. Technical Summary. I: T.F. STOCKER, D. QIN, G.-. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX & P.M. MIDGLEY red., *Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA: Cambridge University Press.

BILAG 1 NAM MODEL

Illustration af NAM modellen; de fire magasiner og sammenhængen mellem disse (NAM 1999):



BILAG 2 KALIBRERING

Kalibreringerne, der benyttes i den videre analyse er vist sammen med grænseværdierne fra (Madsen 2000) og begyndelses værdier. Lavet på baggrund af perioden 02.01.1989-31.12.2014:

	Grænseværdier	Begyndelses værdier	Kalibrering A	Kalibrering B
Umax	5-35	12,6	8,06	7,79
L max	50-350	126	171	170
CQOF	0-1	0,15	0,155	0,272
CKIF	150-6.000	960	2.216	5.985
CK1.2	3-72	40	40	40
TOF	0-0,9	0,1	0,1	0,1
TIF	0-0,9	0	0,0	0,0
TG	0-0,9	0,4	0,4	0,4
CKBF	500-40.000	1500	16.610	5.030
R²			0,648	0,425
WBL (%)			0,0	0,0
Obs. (mm/y)			278	278
Sim. (mm/y)			278	278

BILAG 3 DELTA CHANGE FAKTORER

Delta change faktorer for nedbør, temperatur og fordampning, der benyttes til fremtidsestimeringen. (Seaby 2013)

Nedbør (-)												
	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	December
ARPEGE-RM5.1	0,93	1,08	0,87	0,83	1,00	0,98	0,80	0,62	0,58	0,89	0,92	1,29
ARPEGE-HIRHAM5	1,10	1,04	0,83	0,82	0,89	0,69	0,78	0,58	0,68	0,98	0,88	1,36
BCM2-HIRAM5	1,13	1,02	1,52	1,09	0,93	1,33	1,10	1,02	1,05	0,93	1,06	1,12
BCM2-RCA3	1,27	0,98	1,39	1,23	0,96	1,05	1,08	0,92	1,07	0,92	0,99	1,12
ECHAM5-HIRHAM4	1,26	1,14	1,10	1,28	1,29	1,08	1,27	1,11	1,08	1,10	1,47	1,18
ECHAM5-RegCM3	1,28	1,00	1,06	1,08	1,09	0,90	1,01	0,95	0,87	0,94	1,46	1,19
ECHAM5-RACMO2	1,33	1,05	1,15	0,89	1,21	0,90	0,99	0,85	0,92	0,91	1,34	1,18
ECHAM5-REMO	1,28	0,94	1,23	1,00	1,11	0,94	0,95	0,86	0,84	0,84	1,47	1,19
ECHAM5-RCA3	1,31	1,04	1,22	1,21	1,10	0,87	0,92	0,81	0,91	1,05	1,42	1,15
Hadcm3-CLM	1,17	1,14	1,01	1,15	1,01	0,99	0,96	0,81	0,97	0,96	1,10	1,16
HadCM3-HadRM3	1,20	1,15	0,90	1,34	1,00	1,06	1,06	0,76	0,99	1,05	1,40	1,41
Temperatur (+°C/dag)												
	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	December
ARPEGE-RM5.1	2,24	2,15	1,90	1,80	1,60	1,77	1,79	2,33	2,29	1,99	2,06	2,93
ARPEGE-HIRHAM5	2,22	2,52	1,81	1,88	1,91	2,04	1,67	2,07	1,82	1,53	1,82	2,97
BCM2-HIRAM5	2,77	2,99	3,44	2,52	1,44	1,84	1,55	1,64	1,53	1,84	2,45	2,77
BCM2-RCA3	2,71	3,05	3,16	1,90	1,34	1,61	0,98	1,70	1,21	1,13	1,89	2,32
ECHAM5-HIRHAM4	2,47	2,39	1,65	1,41	1,22	1,44	0,85	1,28	1,78	2,57	3,19	2,90
ECHAM5-RegCM3	2,71	2,43	1,69	2,11	2,25	2,04	1,56	2,10	2,06	2,78	2,61	2,78
ECHAM5-RACMO2	2,31	2,13	1,76	1,91	2,06	1,94	1,54	1,87	2,00	2,65	2,41	2,69
ECHAM5-REMO	2,47	2,37	1,83	1,79	1,90	1,76	1,34	1,68	1,96	2,32	2,39	2,49
ECHAM5-RCA3	2,73	2,45	1,75	1,67	1,70	1,75	1,43	1,76	2,02	2,55	2,61	2,68
Hadcm3-CLM	4,37	2,61	3,10	2,89	2,33	2,08	2,09	3,73	3,40	4,06	4,18	4,31
HadCM3-HadRM3	5,01	3,12	3,17	3,03	2,82	2,53	2,50	3,62	3,42	3,84	3,82	3,72

Fordampning (-)												
	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	December
ARPEGE-RM5.1	1,43	1,30	1,13	1,17	1,08	1,11	1,14	1,25	1,33	1,16	1,50	1,57
ARPEGE-HIRHAM5	1,36	1,14	1,08	1,14	1,07	1,07	1,03	1,08	1,06	0,98	1,15	1,50
BCM2-HIRAM5	1,44	1,22	1,14	1,11	1,05	1,00	1,07	1,09	1,07	1,12	1,38	1,37
BCM2-RCA3	1,50	1,16	1,17	0,98	1,01	1,01	1,02	1,02	1,07	1,11	1,17	1,36
ECHAM5-HIRHAM4	1,29	1,10	1,06	0,98	0,95	1,02	0,89	0,93	1,01	1,13	1,27	1,37
ECHAM5-RegCM3	1,13	1,01	1,02	1,11	1,11	1,10	1,06	1,13	1,11	1,11	1,08	1,08
ECHAM5-RACMO2	1,24	1,11	1,07	1,12	1,05	1,10	1,05	1,06	1,11	1,14	1,19	1,09
ECHAM5-REMO	1,42	1,17	1,08	1,00	0,96	1,05	0,97	1,00	1,06	1,00	1,19	1,10
ECHAM5-RCA3	1,25	1,05	0,93	0,92	0,97	1,04	1,02	1,04	1,08	1,05	1,13	1,03
Hadcm3-CLM	1,39	1,24	1,07	0,98	0,95	1,03	1,01	1,30	1,25	1,13	1,44	1,44
HadCM3-HadRM3	1,93	1,49	1,34	1,16	1,14	1,12	1,15	1,28	1,27	1,35	1,75	1,89

BILAG A-F OVERSIGT CD

Tabellen nedenfor beskriver indholdet af cd'en med bilag A til F, der er at finde bagerst i rapporten:

Bilagsmappe	Titel	Beskrivelse
Bilag A - Fotos		Diverse fotos fra Kastbjerg Å
Bilag B - CASiMiR	Beregning af vandføring	Excel ark med beregning af vandføringen
	Data til CASiMiR	Excel ark med input til CASiMiR
	CASiMiR resultater	Excel ark med resultaterne fra CASiMiR
	Kastbjerg	Inputfil til CASiMiR med tværsnit, substrat og cover
	Kastbjerg Å, Q-h – lave, middel værdier Kastbjerg Å, Q-h - høje værdier Kastbjerg Å, Q-h statistik værdier	3 inputfiler til CASiMiR med højden i hvert transekt som funktion af vandføringen
	Yngel Juvenil Voksen	3 inputfiler til CASiMiR med præferencekurverne for hhv. yngel, juvenil og voksen ørred
Bilag C - Kalibrering	NAM parametre analyse	Excel ark med følsomhedsanalyse, manuel og autokalibrering
Bilag D - Tidsserier	Historiske tidsserier	Excel ark med de observerede tidsserier og analyse af disse. Samt tidsserier for kalibrering A og B.
	Observeret vs. Fremtidig data	Excel ark med udregningerne på baggrund af de 11 klimamodeller (fremtidige tidsserier og analyse af disse)

Bilagsmappe	Titel	Beskrivelse
Bilag E – Trend analyse	Resultater_trend_analyse	Excel ark med resultaterne af de forskellige trend analyser
	Trend_analysis_aarlig	Excel ark med årlig trend analyse
	Trend_analysis_P_maaned_maks	10 excel ark med månedlig trend analyse for hhv. nedbør (maks, sum), temperatur (min, gns, maks), fordampning (gns, maks) og vandføring (min, gns, maks)
	Trend_analysis_P_maaned_sum	
	Trend_analysis_T_maaned_min	
	Trend_analysis_T_maaned_gns	
	Trend_analysis_T_maaned_maks	
	Trend_analysis_ET_maaned_gns	
	Trend_analysis_ET_maaned_maks	
	Trend_analysis_Q_maaned_min	
	Trend_analysis_Q_maaned_gns	
	Trend_analysis_Q_maaned_maks	
Bilag F - Ekstrem analyse	Ekstrem værdi analyse	Excel ark med ekstrem værdi analysen for vandføringen