

Nedbørfelt som enkle, dynamiske system

Bruk av Kirchner (2009) si responsrutine i ein
fordelt hydrologisk modell

Sigri Scott Bale

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: Juni 2012

Hovedveileidar: Knut Alfredsen, IVM

Medveileidar: Yisak Sultan Abdella, SINTEF

Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet
Institutt for vann- og miljøteknikk

Masteroppgåve i vassdragsteknikk

Kandidat: **Sigri Scott Bale**

Tema: **Bruk av Kirchner (2009) si responsrutine i ein fordelt modell**

1. Bakgrunn

Hydrologiske modellar er brukte for prognosering av tilsig til kraftverk av mange ulike kraftselskap, og det pågår arbeid med å forbetre modellane med tanke på betre oppdatering og sikrere prognoser på timebasis. I samband med dette arbeidar SINTEF Energi AS med å implementere ulike nye responsrutiner i modellane som betre eignar seg til oppdatering og regionalisering. Ei av desse er spesifisert av J. Kirchner (Water Resour. Res, 2009, doi:10.1029/2008WR006912), som er ei enkel metode med ein tilstand og 2-3 parameterar. Parametrane kan identifiserast frå observasjonsdata og metoden er difor svært interessant for bruk i prognosemodellar. Denne oppgåva vil vere retta mot tilpassing, utprøving og analyse av denne metoden for eit utval felt i ein region i Noreg.

2. Arbeidsoppgåver

Oppgåva vil ha følgjande hovuddelar:

1. Bestemme kva region som skal brukast for analysen, finne eit tal (20-30) delfelt til bruk i utrekninga av responslikninga og klargjere data for desse felte. Det må lagast ei oversikt over kva felt som er brukt og kva inngangsdata som er lagt til grunn for kvart felt.
2. Finne kalibreringsperiodar for kvart felt og med utgangspunkt i desse finne parameterar i responslikninga for kvart felt. Med utgangspunkt i dette skal det undersøkast om
 - A. Kva form på likninga fungerer best i modellen?
 - B. Samanheng mellom parametrar i likninga for dei ulike delfelta, kan ein utleie nokon fellestrekk mellom desse?
 - C. Kor godt stemmer simulert vassføring overeins med observert i kalibreringsperioden? Kan avvik forklarast på nokon måte?
3. Sette opp ENKI for regionen i 1) og kalibrere modellen som brukar responslikninga som vart funne i 2). Analysere resultatet både når det gjeld respons og val av parametrar for responslikninga.
4. *Gjere ei grunnleggande analyse på samanheng mellom parameterar som er estimert for Kirchner sin responslikning og parametrar som karakteriserer nedbørfeltet.*

3. Rettleiing, data og informasjon

Faglærer vert professor Knut Alfredsen ved institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU saman med forskar Lena Slettemoen Tøfte og forskar Sjur Kolberg ved SINTEF Energi. Kandidaten er elles ansvarleg for innsamling, kontroll og bruk av data. Hjelp frå dei ovanfor nemnde personane eller andre må refererast i rapporten.

4. Rapport

Struktur og oppsett av rapporten er viktig. Gå utifrå at det målgruppa er teknisk personell på seniornivå. Rapporten skal innehalde eit samandrag som gir lesaren informasjon om bakgrunn, framgangsmåte og hovudresultata. Rapporten skal ha innholdsliste og referanseliste. Referanselista skal vere formatert etter ein eksisterande standard.

Denne oppgåveteksta skal vere inkludert i rapporten.

Formatet på rapporten skal vere A4 og den skal vere laga ved hjelp av eit tekstbehandlingssystem. Alle figurar, kart og bilete som er inkludert i rapporten skal vere av god kvalitet.

Kandidaten skal inkludere ei signert fråsegn som seier at arbeidet som er presentert er eins eige, og at alle bidrag frå andre kjelder er identifiserte gjennom referansar eller på andre måtar.

Det skal og lagast ein 1-sides poster i A3 format som presenterer hovudresultata frå oppgåva.

Frist for innlevering er 11. juni 2012.

Institutt for vann og miljøteknikk, NTNU

Knut Alfredsen

Professor

Forord

Denne oppgåva er eit resultat av arbeidet med TVM 4910 Vassdragsteknikk, masteroppgåve. Arbeidet er utført på 20 veker våren 2012 og tilsvarer 30 studiepoeng i 10. semester i sivilingeniørutdanninga ved NTNU.

Oppgåva er utarbeida i samarbeid med SINTEF Energi AS, Energisystemer. Professor ved NTNU Knut Alfredsen er faglærer. Forskarar Lena S. Tøfte og Sjur Kolberg frå SINTEF er rettleiarar. Ein stor takk til alle tre for hjelp og oppmuntring i arbeidet.

Programmet Parameter Estimator er utvikla av forskar Yisak Sultan Abdella ved SINTEF Energi. Takk til Yisak for hjelp med programmet.

ENKI er eit rammeverk for implementering av prosessmodellar i tid og rom, utvikla i eit prosjekt mellom SINTEF Energi AS og Statkraft SF. Ei spesielt stor takk til Sjur for hjelp med ENKI og stor vilje til å utbetre programmet, samt gode diskusjonar kring resultatata.

Oppgåva har vore ein lang læringsprosess og det er mange utfordringar som ville blitt løyst på ein annan måte når eg tenker tilbake på prosessen. Arbeidet har produsert ei stor datamengd, som det har vore ei utfordring å strukturere og presentere. For å unngå ein veldig lang resultatdel, er store delar av resultatata presentert i trykte vedlegg.

Ei stor takk til Erik, Mamma, Pappa og alle på Verkstedsløftet for god støtte!

Det presenterte arbeidet er mitt eige, og all litteratur og andre bidrag er referert til.

Trondheim, juni 2012

Sigri Scott Bale

Kandidat

Samandrag

Mange mykje brukte hydrologiske modellar, til dømes HBV- modellen, er fysisk baserte; dei bygger på matematiske likningar som skildrar fysiske prosessar i ulike delar av det hydrologiske krinsløpet. Modellane inneheld parametrane som ikkje kan målast ute i felt, og dermed må bestemast gjennom ein kalibreringsprosess. James Kirchner har i fleire artiklar argumentert for at dette er grunnleggande missvisane (Kirchner, 2009, 2006). Han argumenterer med at fysisk baserte hydrologiske modellar bygger på feil premisar; dei fysiske likninga på skalaer med nedbørfelt er ikkje kjente. Kirchner (2006) meiner vidare at eksisterande fysisk baserte hydrologiske modellar er for parameterrike; så parameterrike at dei i ein kalibreringsprosess kan tilpasse seg nærmast alle tidsseriar.

I 2009 publiserte Kirchner ein enkel, parameterfattig modell som ikkje treng kalibrering. Modellen er basert å modellere nedbørfelt som enkle, dynamiske system. Under føresetnad at avrenning berre er avhengig av lagringa i nedbørfeltet, ser han på nedbørfeltet som ei eining for lagring. Ved å plukke ut data for resesjonsperiodar frå vassføringsmålingar, kan nedbørfeltet karakteriserast med ei enkel likning. Kirchner (2009) tilnærmar ei andregradslikning som sensitivitetsfunksjon til resesjonsperiodane. Ved numerisk løysning av sensitivitetsfunksjonen og tidsseriar for nedbør og fordamping, kan ein bestemme simulert vassføring.

Kirchner (2009) sin modell er i denne oppgåva prøvd ut i 29 nedbørfelt i Noreg. Resultata viser at parametrane i sensitivitetsfunksjonen skildrar ei matematisk likning for feltet, og har ingen direkte lineær samanheng med fysiske eigenskapar ved felta. Korrelasjonen mellom parameterar i sensitivitetsfunksjonen er høg; mellom andre - og førstegradsleddet 0.86. mellom andregrads- og konstantleddet 0.59, og mellom førstegrads- og konstantleddet 0.81. Korrelasjon viser at parametrane ikkje er uavhengige av kvarandre og berre representerer eit datasett. Det er ikkje nok informasjon i datasettet til å tilnærme tre uavhengige parametar. At parametrane ikkje er uavhengige gjer seg utslag i store variasjonar i målfunksjonen, R^2 , i kalibreringa, stor sensitivitet i parametrane og gjennomsnittlege tap på 10 % av R^2 i regionalisering.

For å vurdere konsekvensen av å erstatte ein fysisk basert hydrologisk modell med den enkle modellen Kirchner (2009) legg fram, er det bygd opp ein fordelt hydrologisk modell i rammeverket ENKI. Å bruke Kirchner si responsrutine utan kalibrering, gir relativt dårlege resultat, med R^2 verdiar frå 0.091 til 0.538 for felta i regionen. HBV – modellen gir R^2 –verdiar frå 0.424 til 0.812 for same region. Kalibrert gir Kirchner si responsrutine R^2 verdiar frå 0.45 til 0.833. Resultat skil deg betydelig frå Kirchner (2009) sine resultat, som oppnådde R^2 –verdiar frå 0.795 til 0.931 utan kalibrering og 0.902 til 0.951 med kalibrering. Begge ved bruk av ein kvadratisk sensitivitetsfunksjon.

Resultata i denne oppgåva viser at ei andregradslikning ikkje er ei optimal i Kirchner (2009) si responsrutine. For å redusere samanhengen mellom parametrane, og dermed parameteruvissa, er ei lineær likning prøvd ut. Undersøkingane har ikkje klart å legge fram bevis på at ei lineær likning er optimal. Ei lineær likninga verkar utstabil i regionaliseringa, men meir stabil en den kvadratiske funksjonen i kalibreringa.

Abstract

This master thesis is written by Sigri Scott Bale, student at Norwegian University of Science and Technology (NTNU). The title is “Catchments as Simple Dynamic Systems: Kirchner’s response routine implemented in a Distributed Hydrological Model”.

The various hydrologic processes within a catchment are complex, heterogeneous, and poorly characterized by direct measurements. This makes the substantial simplifications and generalizations adopted in physically-based hydrologic models questionable. Traditional hydrologic models, as the HBV- model, contain parameters that cannot be measured, and therefore has to be determined through a calibration process.

As an alternative to the elusive task of formulating models based on physics, Kirchner (2009) described how catchments, in which the volume of water in storage determines discharge, could be characterized as a simple first-order nonlinear dynamical system. He also showed that the form of their governing equations, the sensitivity function, can be inferred directly from measurements of streamflow fluctuations. In absence of a strong theoretical expectation for the sensitivity function, Kirchner chooses a quadratic curve.

In this report, Kirchner’s model is tested in 29 catchments in Norway. For each catchment a quadratic sensitivity function is fitted. The results show great correlation between the parameters of Kirchner’s model; 0.86 between the quadratic and the linear coefficients, 0.59 between the quadratic and the constant terms, and 0.81 between the linear and the constant terms. The great correlation indicates that the parameters are dependent. Therefore, the parameters are only valid for a set of data. The great correlation can lead to parameter uncertainty, which results in instability in the calibration of Kirchner’s model, sensitive parameters, and great losses for R^2 in the regionalization. No correlation is found between the parameters of Kirchner’s model and physical parameters of the catchments. The parameters in Kirchner’s model represents a mathematical description of a catchment, with no or little connection to physical properties of the catchment.

In the framework for implementing hydrologic models, a distributed model which compares the physical based HBV –model with Kirchner’s model is established. The results for Kirchner’s model based on estimated parameters without calibration results in R^2 values from 0.091 to 0.538. Calibrated it generates R^2 values between 0.454 and 0.833, with an average for the region of 0.63. The calibrated HBV –model perform from 0.425 to 0.812, with an average of 0.623. The results isn’t as great as Kirchner’s results. Without calibration Kirchner got R^2 –values between 0.795 and 0.931 and between 0.902 and 0.951 with calibration.

The result in this thesis shows that a quadratic sensitivity function doesn’t seem optimal for Kirchner’s response routine. To reduce the correlation between the parameters and instability challenges, a linear sensitivity function is tested. The study of the linear function presented in this study, cannot prove that this is the optimal form of the sensitivity function. The calibration process is more stable than by using the quadratic function, but the loss due to regionalization is still great.

Innhold

1. Innleiing	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Mål med oppgåva	2
2. Teori	4
2.1 Hydrologiske modellar	4
2.2 Fysisk basert hydrologisk modell: HBV- modellen	5
2.3 Nedbørfelt som enkle, dynamiske system	12
2.4 Rammeverk for implementering av hydrologiske modellar: ENKI	17
3. Metode.....	20
3.1 Utval av data og tilpassing av sensitivitetsfunksjon: Parameter Estimator	20
3.2 Fordelt hydrologisk modell: ENKI.....	24
4. Resultat.....	28
4.1 Resultat frå Parameter Estimator	28
4.2 Korrelasjon mellom parametrar frå Parameter Estimator og feltparametrar	32
4.3 Korrelasjon mellom parametrar frå Parameter Estimator.....	33
4.5 Utval av data basert på avrenningsdata	34
4.6 Resultat frå ENKI	36
5. Diskusjon.....	45
5.1 Simulerte felt	45
5.2 Korrelasjon	48
5.4 Simuleringar utan bruk av klimadata	49
5.5 ENKI.....	50
6. Konklusjon	59
7. Referansar.....	61
8. Vedlegg	63
Vedlegg A: Liste over alle målestasjonar til ENKI.....	63
Vedlegg B: Felldata og simuleringar frå Parameter Estimator.....	66
Vedlegg C: Inndeling i klassar –korrelasjon	99
Vedlegg D: Kalibrering i ENKI	101
Vedlegg E: Simuleringar i ENKI	107

Digitale vedlegg

- Inputfiler og resultat frå Parameter Estimator
- Kirchner sin artikkel frå 2009 som oppgåva bygger på
- Rekneark med resultat
- ENKI fil med region og modell. Input filer til ENKI.
- A3 plakat med viktigaste resultat

Figurliste

FIGUR 1.2 DET HYDROLOGISKE KRINSLØPET (HTTP://WWW.NVE.NO/NO/VANN-OG-VASSDRAG/HYDROLOGI/VANNETS-KRETSLOP/)	1
FIGUR 2.1 KLASIFISERING AV HYDROLOGISKE MODELLAR (SINGH, 1988)	4
FIGUR 2.2 OPPBYGGING AV HBV- MODELLEN (ALFREDSEN K., "HYDROLOGISK MODELL", TVM 4105 HYDROLOGI HAUST 2009)	6
FIGUR 2.3 ØVRE- OG NEDRESONE I AVRENNINGSDELEN AV HBV –MODELLEN (KILLINGTVEIT Å, HBV_OVERVIEW, TVM4106 HYDROLOGISK MODELLERING HAUST 2011).....	7
FIGUR 2.4 PRINSIPPET BAK EIN KALIBRERINGSPROSESS (KILLINGTVEIT Å, HBV_OVERVIEW, TVM4106 HYDROLOGISK MODELLERING HAUST 2011)	9
FIGUR 3.1 OVERSIKTSKART OVER MÅLESTASJONAR.	23
FIGUR 3.2 REGION I ENKI (RAUD). VASSFØRINGSSTASJONAR (SVARTE KRYSS) NEDBØRSTASJONAR (ROSA SIRKEL). TEMPERATUR (MØRKBLÅ STJERNE).	24
FIGUR 3.3 SUBRUTINER I ENKI- MODELLEN.....	25
FIGUR 4.1 RESESJONSPLOT (VENSTRE) OG TILPASSA LIKNING TIL INTERVALLGJENNOMSNITT (HØGRE) FOR HOLMEN	28
FIGUR 4.2 RESESJONSPLOT (VENSTRE) OG TILPASSA LIKNING TIL INTERVALLGJENNOMSNITT (HØGRE) FOR DJUPEVAD	29
FIGUR 4.3 RESESJONSPLOT (VENSTRE) OG TILPASSA LIKNING TIL INTERVALLGJENNOMSNITT (HØGRE) FOR LO BRU.....	29
FIGUR 4.4 RESESJONSPLOT (VENSTRE) OG TILPASSA LIKNING TIL INTERVALLGJENNOMSNITT (HØGRE) FOR SANDVENVATN	30
FIGUR 4.5 RESESJONSPLOT (VENSTRE) OG TILPASSA LIKNING TIL INTERVALLGJENNOMSNITT (HØGRE) FOR RØYKENES.....	30
FIGUR 4.6 RESESJONSPLOT (VENSTRE) OG TILPASSA LIKNING TIL INTERVALLGJENNOMSNITT (HØGRE) FOR KLØVTVEITVATN	31
FIGUR 4.7 RESESJONSPLOT (VENSTRE) OG TILPASSA LIKNING TIL INTERVALLGJENNOMSNITT (HØGRE) FOR BULKEN.....	31
FIGUR 4.8 RESESJONSPLOT (VENSTRE) OG TILPASSA LIKNING TIL INTERVALLGJENNOMSNITT (HØGRE) FOR NÆVERDAL	32
FIGUR 4.9 SPREINGSDIAGRAM MATRISE (SCATTERPLOT MATRIX) FOR C_1 , C_2 OG C_3	33
FIGUR 4.10 SENSITIVITETSFUNKSJONAR FOR DEI SIMULERTE NEDBØRFELTA.....	34
FIGUR 4.11 PARAMETRAR FRÅ PARAMETER ESTIMATOR, ESTIMERT MED OG UTAN KLIMADATA	35
FIGUR 4.12 RESESJONSPLOT (VENSTRE) OG TILPASSA LIKNING TIL INTERVALLGJENNOMSNITT (HØGRE) FOR DJUPEVAD, UTAN KLIMADATA.....	36
FIGUR 4.13 SENSITIVITETSPLOT FOR PARAMETRAR I HBVSNOW	36
FIGUR 4.14 SENSITIVITETSPLOT FOR PARAMETRAR I HBVSNOW.....	37
FIGUR 4.15 GJENNOMSNITTELEG R^2 –VERDI FOR NEDBØRFELTA I REGIONEN.....	37
FIGUR 4.16 SENSITIVITETSPLOTT FOR KALIBRERINGA AV KIRCHNER SIN MODELL MED 3 PARAMETRAR	38
FIGUR 4.17 KALIBRERING AV K_E FOR SANDVENVATN	40
FIGUR 4.18 KALIBRERING AV K_E FOR BULKEN.....	40
FIGUR 4.19 OBSERVERT OG SIMULERT VASSFØRING, KLØVTVEITVATN.....	42
FIGUR 4.20 OBSERVERT OG SIMULERT VASSFØRING, KLØVTVEITVATN.....	42
FIGUR 4.21 OBSERVERT OG SIMULERT VASSFØRING, BULKEN.....	43
FIGUR 4.22 OBSERVERT OG SIMULERT VASSFØRING, BULKEN.....	44

Tabelliste

Nummer	Tittel	Side
2.1	Parametrar i Parameter Estimator	17
3.1	Oversikt over nedbørfelt	23
3.2	Grenser kalibrering, HBVSnow	27
3.3	Grenser kalibrering, HBVSoil og HBVResponse	28
3.4	Grenser kalibrering, Kirchner (2009) sin modell	28
4.1	Korrelasjon mellom parametrar frå Parameter Estimator og feltparametrar	33
4.2	Korrelasjon mellom parametrar frå Parameter Estimator og feltparametrar, utplukk utan klimadata	36
4.3	Optimaliserte parametrar for Kirchner sin modell	39
4.4	Optimaliserte verdiar for HBV –modellen	40
4.5	R ² -verdi for enkeltfelt med beste gjennomsnittleg R ² -verdi for regionen	40
4.6	Prosent R ² -verdi tapt på grunn av regionalisering	42
4.7	Kvadrert korrelasjon mellom tidsseriar, Kløvtveitvatn	44
4.8	Vassbalanse: Total simulert vassføring (m ³ /s) for 5 hydrologiske år, Kløvtveitvatn	44
4.9	Kvadrert korrelasjon mellom tidsseriar, Bulken	45
4.10	Vassbalanse: Total simulert vassføring (m ³ /s) for 5 hydrologiske år, Bulken	45

Symbolliste

C₁/ K₂ (ENKI): Andregradsledd i andregradslikninga i Kirchner (2009) sin modell

C₂/ K₁ (ENKI): Førstegradsledet i andregradslikninga i Kirchner (2009) sin modell

C₃/ K₀ (ENKI): Konstant ledd i andregradslikninga i Kirchner (2009) sin modell

NVE: Norges vassdrag- og energidirektorat

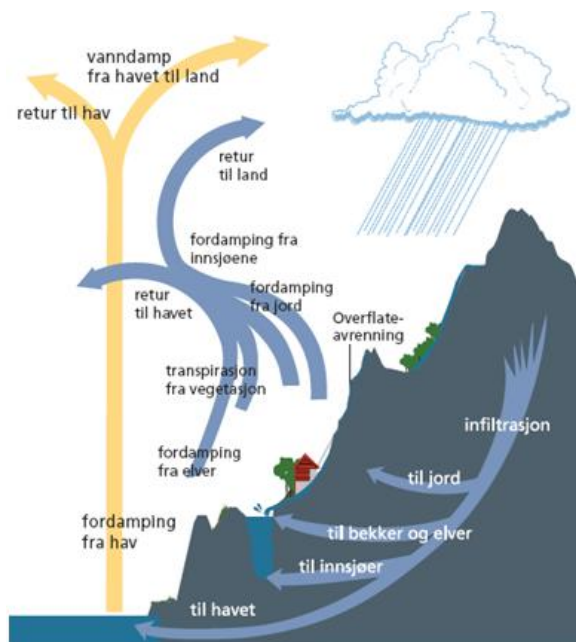
Kirchner sin metode/ rutine : Modellen Kirchner legg fram i ein artikkel frå 2009

1. Innleiing

1.1 Bakgrunn

Det hydrologiske krinsløpet er komplisert; vi kan verken forstå det eller matematisk skildre det fullt ut (Xu, 2010). Avrenninga frå eit nedbørfelt er ein funksjon av mange komplekse, heterogene prosessar med parametrar som er vanskelige å måle. Tradisjonelt har prosessane i det hydrologiske krinsløpet blitt plukka frå kvarandre og simulert basert på tilnærmingar og forenklingar av verkelege fysiske system. Klassiske hydrologiske modellar, som HBV- modellen, er fysiske baserte; modellen bygger på at fysiske eigenskapar ved feltet, som høgdefordeling og feltkapasitet. Å basere ein hydrologisk modell på fysiske lover, vil bygge på forenklingar og generaliseringar; utfordringa for hydrologar er derfor å finne ut kva forenklingar og generaliseringar som er rett (Kirchner, 2009). Hydrologiske prosessar er så komplekse at alle hydrologar vil ha ei eiga mening om kva som er den viktigaste prosessen i nedbør- avrenningsmodellar og korleis dei best kan modellerast (Beven, 2001).

I seinare tid har det blitt stilt spørsmål ved om fysiske baserte hydrologiske modellar er mest hensiktsmessig; gjeld dei fysiske lovene som er utvikla på små skalar, på skalar som eit nedbørfelt? På bakgrunn av avgrensingane og uvissa kring konsekvensane av dette, har det oppstått diskusjon om det fins meir representative måtar å modellere nedbørområdet på. Denne oppgåva bygger på ein artikkel av James W. Kirchner frå 2009: "Catchment as simple dynamical systems: Catchment characterization, rainfall-runoff modeling, and doing hydrology backward", som argumentere for å bygge opp hydrologiske modellar som enkelt, dynamisk system og å bestemme den grunnleggande likninga, sensitivitetsfunksjonen, for å skildre systemet direkte frå målt vassføring.



Figur 1.2 Det hydrologiske krinsløpet (<http://www.nve.no/no/Vann-og-vassdrag/Hydrologi/Vannets-kretslop/>)

Figur 1.2 viser det hydrologiske krinsløpet. Hydrologiske modellar, slik dei er omtala i denne oppgåva, forsøker å modellere transporten frå nedbør til avrenning, i figur 2.1 vist med lyseblå piler. Formålet med dette er blant anna å kunne varsle flommar, produksjonsberekningar til kraftverk, forlenging/ utfylling av måleseriar, studere endringar i nedbørfeltet, undersøke konsekvensar av klimaendringar, simulere avrenning i felt utan målingar og til å prosjektere konstruksjonar i/ ved elva.

1.2 Mål med oppgåva

I denne oppgåva skal modellen Kirchner (2009) legg fram prøvast ut i 29 nedbørfelt i Noreg. Dersom modellen gir tilfredsstillande resultat, vil dette innebære ei betydelig forenkling i forhold til modellane ein nyttar i dag, som er meir parameterrike og må kalibrerast. Kirchner sin modell estimerer ein sensitivitetsfunksjonen direkte frå resesjonsperiodar i målte data, som ved numerisk løysing kan brukast til å simulere avrenning basert på nedbør og temperatur.

Oppgåva er bygd opp slik at det første målet er å studere forma på og samanheng mellom parametrane i sensitivitetsfunksjonen. I denne studien inngår å forsøke å finne ei optimal form for sensitivitetsfunksjonen. Kirchner (2009) kjem fram til ei andregradslikning, og dette er utgangspunktet for simuleringane. Det skal også vurderast om parametrane i sensitivitetsfunksjonen for nedbørfeltet har samanheng med fysiske eigenskapar ved feltet. Kirchner (2009) konkluderer med at metoden han legg fram gir like gode resultat som tilsvarende simulering med meir parameterrike modellar. I denne oppgåva skal dette testast ved å sette Kirchner (2009) sin modell inn i ein fordelt hydrologiske modell og samanlikne den med den fysiske baserte og meir parameterrike HBV –modellen. Regionen til den fordelt hydrologiske modellen skal innehalde fleire felt, og konsekvensane av å kalibrere for fleire felt framfor berre eit skal vurderast.

Basert på dette vil oppgåva studere problemstillingane:

- Er det mulig å finne ein samanheng mellom parametrane i sensitivitetsfunksjonane for ulike nedbørfelt basert på parameterar som areal, effektiv sjøprosent, sjøprosent, høgdefordeling o.l. (parameterar som kan bestemast frå kart og anna tilgjengelig materiale)?
- Er ei andregradslikning, slik Kirchner (2009) foreslår, den beste måten å tilnærma ein sensitivitetsfunksjonen for eit nedbørfelt?
- Korleis er kvaliteten på simuleringar med metoden til Kirchner (2009) i norske nedbørfelt?
- Kor stor er skilnadane i kvaliteten på simulerte målseriar frå den forenkla modellen til Kirchner (2009) i forhold til den fysiske baserte HBV- modellen i ein fordelt modell?
- Kor stor er konsekvensen av regionalisering for Kirchner (2009) sin modell? Er det skilnadar for denne modellen HBV –modellen?

Nokre sentrale omgrep i oppgåva:

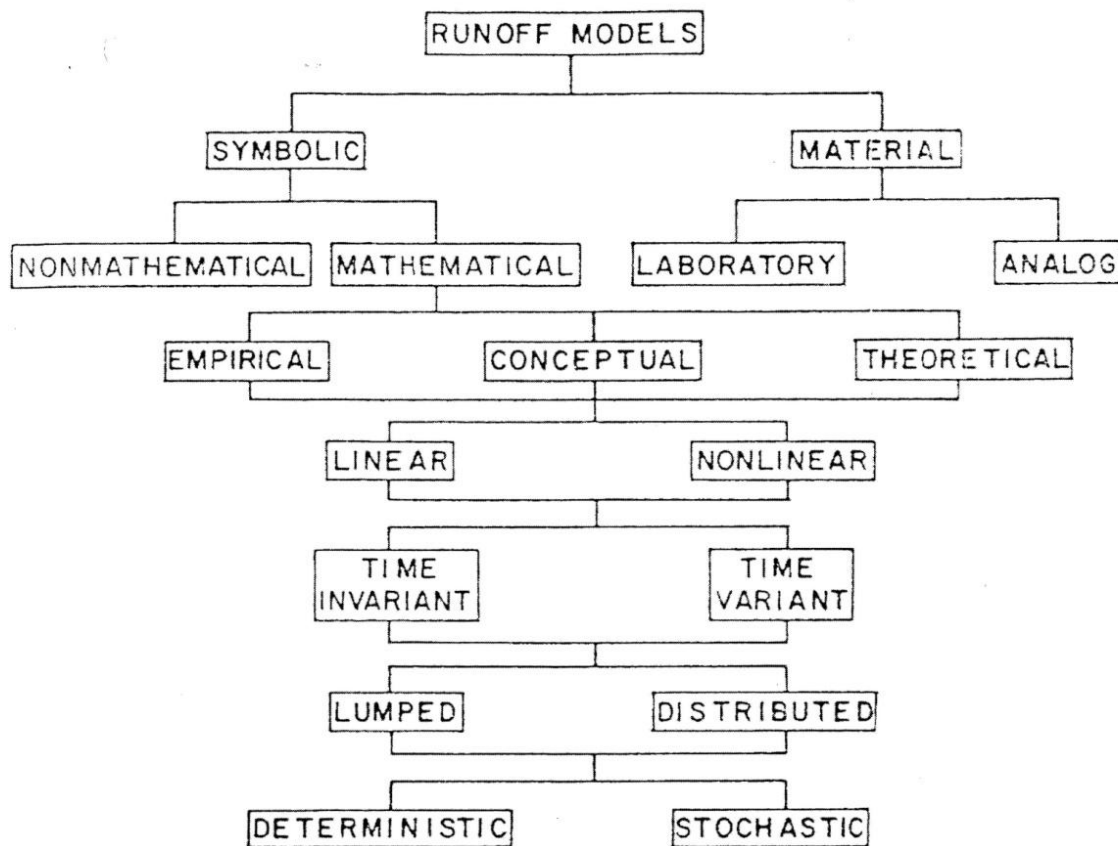
- Ein modell: Ein forenkla representasjon av eit komplekst system. Ein modell skildrar basisen, dei enklaste delane, av eit kompleks system (Dooge, 1977).
- Nedbørfelt: Området som drener til same punkt. Grensa vert kalla vasskilje.
- Ein variabel: Ein karakteristisk verdi i eit system som kan målast. Ein variabel vil derfor ha ulik verdi når den er målt ved ulike tidspunkt. Til dømes nedbør, avrenning og temperatur.
- Ein parameter: Ein verdi som er karakteristisk for eit system. Det er vanlig at ein parameter er ein konstant verdi som funksjon av tid. Til dømes daggradfaktoren og feltkapasitet. Parametrar må bestemast ved kalibrering.
- Hydrologisk år: 01. september til 31. august i påfølgande år. Reknar med at det ikkje er noko lagring av vatn gjennom snø i nedbørfeltet ved inngangen til eit nytt hydrologisk år (ev. snø blir isbre). Antar dermed at lagringsleddet i vassbalansen utgår for eit hydrologisk år.
- Overparametrisering: Modell med fleire parametrar enn det kan bli estimert frå tilgjengelig data. Det er ikkje ein eigenskap ved ein modell, men forholdet mellom modell og data avgjer om ein modell er overparametrisert. Jo meir kalibreringsinformasjon ein har, jo fleire parametrar kan ein estimere for eit datasett.

2. Teori

2.1 Hydrologiske modellar

Generelt er modellar forenkla system som representerer verkelige system. For hydrologiske modellar kan det verkelige systemet vere eit nedbørfelt, ei elv, ein innsjø eller delar av det. Kort, kan eit hydrologiske systemet skildrast som eit set av fysiske, kjemiske og/eller biologiske prosessar som påverkar ein input variabel for å konvertere denne til ein ut variabel (Xu, 2010). For hydrologiske nedbør- avrenningsmodellar er input variabelen nedbør og utvariabelen avrenning.

Dersom ein studerer nedbøren si reise gjennom nedbørfeltet, vil ein finne ut at reisa er komplisert. Vasstraumar i nedbørfelt er kontrollert av fysiske prosessar og materielle eigenskapar som er komplekse, heterogene og dårlig karakterisert av direkte målingar. Alt dette gjer at det ikkje er mulig å skildre alle dei fysiske prosessane med fysiske lover basert på målbare parametrar. På bakgrunn av dette bygger hydrologiske modellar på forenklingar og generaliseringar. Basert på ulike forenklingar og tilnærmingar fins det ulike måtar å bygge opp hydrologiske modellar på. Ut i frå føresetnadar og oppbygging kan ein dele inn hydrologiske modellar i ulike klassar, ei slik inndeling er vist i figur 2.1 (Singh, 1988).



Figur 2.1 Klassifisering av hydrologiske modellar (Singh, 1988)

Som figur 2.1 viser skil Singh først mellom 1) Materielle modellar og 2) Symbolske modellar. I ein materiell modell er eit system representert ved eit anna system, som har dei same føresetnadane, men som er enklare å arbeide med. Ein symbolsk modell (kalla abstrakt av bl.a. Chow, 1988) er ei symbolsk forklaring i ei logisk form av ein idealisert, relativ enkel situasjon som har felles eigenskapar med det originale systemet.

Symbolske modellar kan vere ikkje-matematisk eller matematisk. Matematiske modellar kan igjen delast i teoretiske (*kvit boks*), empiriske (*svart boks*) og konseptuelle (*grå boks*) modellar. Inndelinga er avhengig av kor nær knytt modellen er til dei fysiske lovene dei bygger på. I ein kvit boks ser ein alt innhaldet; slike modellar bygger på konsekvensar av dei viktigaste lovene bak eit fenomen. På den andre sida er svart- boks modellar, som gjerne inneheld parametrar som har lita direkte, fysisk betyding. Alle typane kan vere lineær eller ikkje- lineær, konstant eller ikkje konstant med tida, konsentrert eller fordelt og deterministisk eller stokastisk.

Det fins mange ulike føresetnader hydrologiske modellar bygge på; utfordringa for hydrologar er å finne ut kva forenklingar og generalisering som er dei rette (Kirchner, 2009). Fysisk baserte modellar forsøker å kople oppførselen til nedbørfeltet med målbare eigenskapar, men mange av eigenskapane er berre målbare på skalar som er mange størrelsesordrar mindre enn nedbørsområdet. Mikrofysiske eigenskapar må dermed oppskaleras. Modellar kan til dømes bruke karakteristiske kurver for å skildre jordblokker, og dermed integrerer opp komplekse og heterogene vassbevegelsar på porenivå. Fysisk baserte modellar er basert på parametrar som er vanskelege, tidkrevjande eller umulege å måle, t.d. feltkapasitet (mm) omslagstemperatur regn/snø (°C). Parameterane må bestemast gjennom ein kalibreringsprosess (jf. HBV –kalibrering).

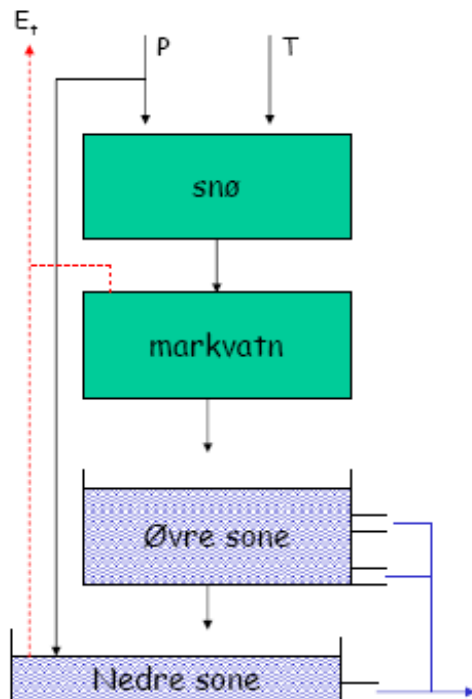
2.2 Fysisk basert hydrologisk modell: HBV- modellen

Dei to mest brukte klassifiseringsmetodane deler mellom teoretisk, empirisk og konseptuell, og mellom fordelte og konsentrerte modellar (Xu, 2010). Dette gjeld også denne oppgåva; her er fokuset på den sentrale skilnaden mellom fysisk baserte (teoretisk eller konseptuell) og empiriske modellar. Som døme på ein fysisk basert modell, blir HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdeling) - modellen brukt. HBV- modellen er ein konseptuell nedbør- avrenningsmodell som simulerer avrenning basert på nedbør, temperatur og potensiell fordamping.

HBV -modellen vart utvikla av Sten Bergström ved Svenska Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) på 1970- talet. Modellen blei først brukt i Noreg i 1974, og har sidan 1976 blitt mykje brukt for avrennings prognoser (Killingtveit, 1995). I følge nve.no er ein tilpassa versjon av den svenske HBV -modellen den hydrologiske modellen som er mest brukt for simuleringar og prognoser i Noreg. Modellen var i utgangspunktet konsentrert, men har blitt vidare utvikla til ein fordelt modell på 1990- talet (Bergström, 1976 og 1996). Dei grunnleggande subrutinene er dei same i begge modellane.

HBV- modellen er, som nemnt, ein fysisk basert (konseptuell) modell; strukturen er basert på ei forenklinga matematisk framstilling av dei hydrologiske elementa og

prosessane i naturen. Den kan oppfattast som ei avansert vassbalanseberekning, kor transporten mellom dei ulike hydrologiske magasina i modellstrukturen blir bestemt av vassvolumet i magasina (nve.no). Modellen består av ei snørutine og tre lagringselement; markvatn sonen og øvre- og nedre sone i avrenningsdelen, sjå figur 2.2.



Figur 2.2 Oppbygging av HBV- modellen (Alfredsen, 2009)

Snø akkumulasjon og smelting spelar ei viktig rolle i det hydrologiske krinslaupet i kalde og tempererte nedbørfelt. Akkumulasjonen og smeltinga påverkar avrenninga, og fører til utprega sesongvariasjonar. Typisk blir nedbør i vintermånadane, november til mars, lagra og frigitt som avrenning om våren, april til juni (Killingtveit, 1995). Snørutina i HBV-modellen held ut frå nedbør- og temperaturobservasjonar kontroll med snø akkumulasjon og smelting i fem til ti høgdenivået i det modellerte nedbørfeltet. Rutinen bygger på graddagsmetoden. Omslagstemperaturen, T_x , avgjer om nedbøren fell som regn eller snø. All nedbør som fell når lufttemperaturen er under omslagstemperaturen blir simulert som snø.

Snøsmelting blir kalkulert med likning 2.1.

$$M = C_x (T_a - T_s) \quad \text{dersom } T_a \geq T_s \quad (2.1)$$

Der M er snøsmelting (mm/dag), C_x er graddagfaktoren (mm/(°C*dag)), T_a er gjennomsnittleg lufttemperatur (°C) og T_s er omslagstemperatur for snøsmelting (°C).

Smeltevatn og regn blir halde tilbake i snømassane inntil ei viss fraksjon av vatn i snøen er overskriden. Dersom smeltevolumet er under denne grensa før det oppstår til frysing, blir det ikkje generert avrenning frå snømassane.

Vatn i snømassane frys til etter likning 2.2.

$$\text{refreezing} = C_X \cdot C_{FMAX} (T_a - T_s) \quad \text{dersom } T_a < T_s \quad (2.2)$$

Der C_{FMAX} er snøen si evne til å fryse til (mm/(°C*dag)).

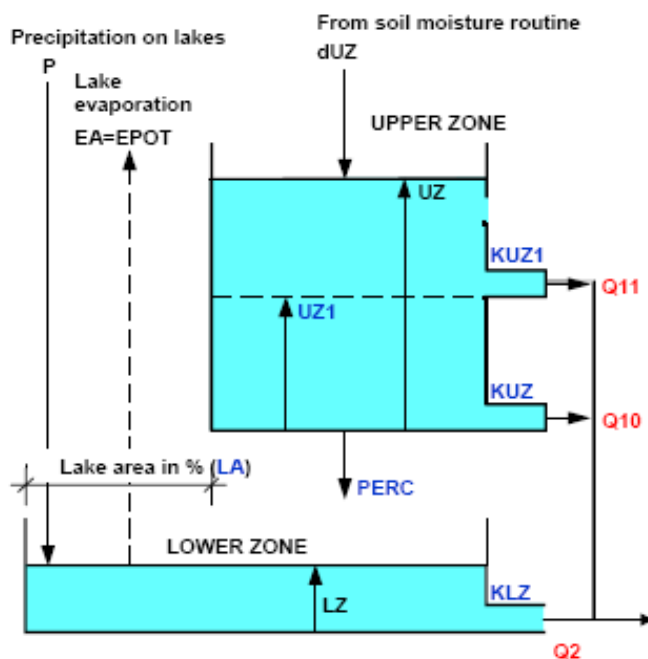
Markvatnrutina tar i mot nedbør og smeltevatn frå snørutina, og kalkulerer lagring av vatn i markvatn sona, aktuell fordamping og input til avrenningsdelen av modellen. Markvatnrutina er basert på to likningar, 2.3 og 2.4 (Killingtveit, 1995).

$$dUZ = \left(\frac{SM(t)}{FC} \right)^\beta \quad (2.3 \text{ og } 2.4)$$

$$E_{act} = E_{pot} \cdot \min \left(\frac{SM(t)}{FC \cdot LP}, 1 \right)$$

Der SM (mm) er vassinnhaldet i markvatnet på eit tidspunkt og FC (mm) er maksimalt vassinnhald eller feltkapasiteten. Beta er ein parameter som bestemmer forma på linkinga som representerer vassinnhaldet i feltet. dUZ representerer vassmengda som blir input til øvre sone i avrenningsdelen.

E_{act} er aktuell fordamping, E_{pot} er potensiell fordamping og LP er ein grenseverdi for fordamping (i % av FC). Rutinen brukar vassinnhaldet (høvet mellom aktuelt vassinnhald og feltkapasitet) i markvatnet for å skilje mellom potensiell og aktuell fordamping, og til å rekne ut avrenning frå markvatnet.



Figur 2.3 Øvre- og nedresone i avrenningsdelen av HBV –modellen (Killingtveit, 2011)

Avrenningsdelen er delt i to soner; øvre og nedre. To lineære kar utgjør avrenningsdelen, ett med to utløp for hurtig avrenning og ett med ett utløp for sein avrenning (Alfredsen, 2009).

$$\begin{aligned}
 Q &= Q_{10} + Q_{11} + Q_2 \\
 Q_{10} &= \text{MIN } UZ, UZ1 \cdot KUZ \\
 Q_{11} &= \text{MAX } 0, \text{ MIN } UZ, UZ2 - UZ1 \cdot KUZ1 \\
 Q_2 &= KLZ \cdot LZ
 \end{aligned}
 \tag{2.5, 2.6, 2.7 og 2.8}$$

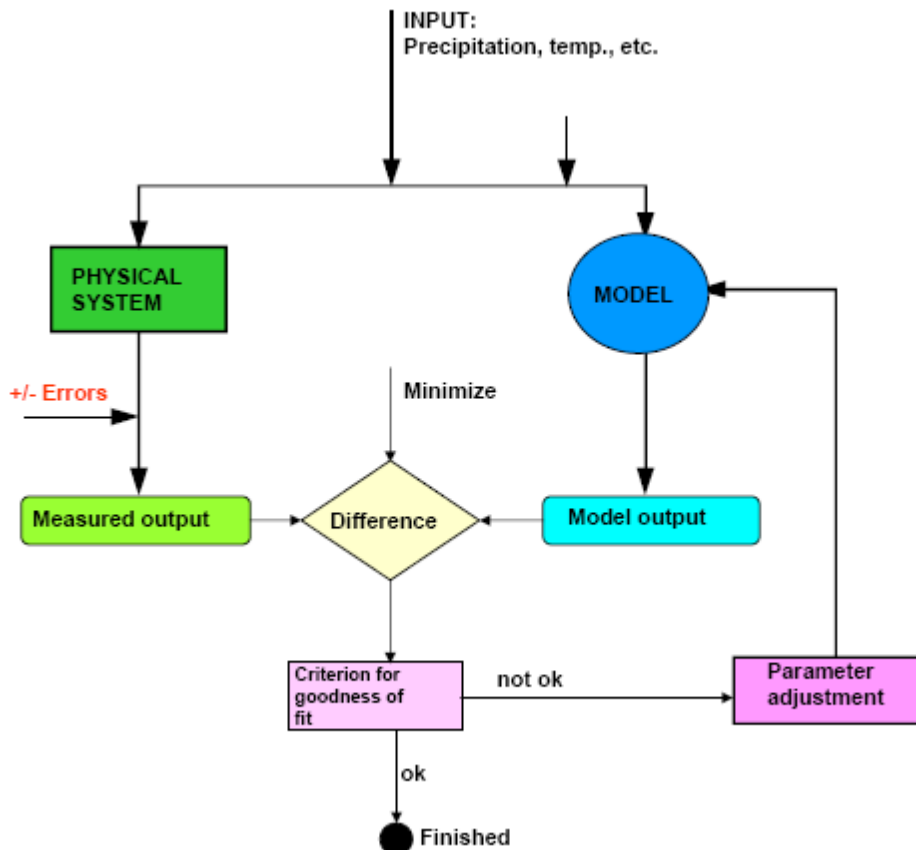
Symbola i likningane stemmer overeins med symbola i figur 2.3. Det øvste utløpet KUZ1, representerer den raskaste avrenninga, og denne parameteren er såleis større enn KUZ og KLZ. KUZ representerer saktare avrenning. KLZ representerer langsam avrenning (base flow).

I avrenningsdelen av HBV- modellen inngår også nedbør som fell direkte på innsjøar og vatn. Dette inngår ved prosentdel sjø i nedbørfeltet. Nedbør som fell på den prosent delen genererer avrenning direkte (vist til venstre i figur 2.3).

HBV- modellen er utvikla med mål om å vere så enkel som mulig; ved å begynne med ein enkel modell struktur og berre legge til komponentar som gir betydelig betre resultat. Dette prinsippet har leia fram til ein veldig effektiv modell, med eit minimum av kompleksitet og maksimal sensitivitet i alle frie parametrar (Killingtveit, 1995).

Mange av parametrane i HBV- modellen kan ikkje målast i felt eller bestemmast frå kart og liknande tilgjengelig materiale, og må derfor optimaliserast gjennom ein kalibreringsprosess.

2.2.1 Kalibreringsprosessen



Figur 2.4 Prinsippet bak ein kalibreringsprosess (Killingtveit Å., HBV_Overview, TVM4106 Hydrologisk modellering haust 2011)

I ein kalibreringsprosess blir parametranne i ein modellen optimalisert for å oppnå størst mulig samsvar mellom observerte og simulerte tidsseriar. Døme på parametrar som må kalibrerast i HBV- modellen er graddagsfaktoren, omslagstemperaturen snø/regn, parametranne i karmodellane og β –faktoren i markvassona.

For å gjennomføre ein kalibreringsprosess må ein ha ein metode for å vurdere kva som er best samsvare mellom observerte og simulerte data. Samanhengen kan vurderast subjektivt eller objektivt. Ei subjektiv vurdering, består i å sjå på plott av observerte og simulerte data og subjektivt vurdere kva parametersett som gjer best resultat. Ei objektiv vurdering krev ein funksjon for feilen mellom observerte og simulerte verdiar. Det fins fleire funksjonar som kan brukast, t.d. likelihood funksjon, minste kvadratsmetode eller samla volum feil (Xu, 2010). Ein funksjon som ofte blir brukt er Nash effektivitet kriterium:

$$R^2 = \frac{\sum(Q_o - \bar{Q}_o)^2 - \sum(Q_s - Q_o)^2}{\sum(Q_o - \bar{Q}_o)^2} \quad (2.9)$$

Der Q_o er observert avrenning, \bar{Q}_o er gjennomsnittlig avrenning og Q_s er simulert avrenning.

R^2 kan variere frå $-\infty$ til 1.0. Dersom den simulerte tidsserien passar perfekt til den observerte, er R^2 lik 1.0. For HBV –modellen er 0.6-0.9 vanlig (Killingtveit, 1995).

Ein kalibreringsprosess kan utførast manuelt eller automatisk. I ein manuell kalibreringsprosess må parametrane endrast manuelt mellom kvar køyring, heilt til tilpassinga blir vurdert som god nok. For modellar som er mykje brukt, som HBV-modellen, fins det erfaringsbaserte grenseverdier for dei ulike parametrane. Dette gjer den manuelle kalibreringsprosessen noko enklare, det er likevel urealistisk å optimalisere mange parametrar i ein kompleksmodell for eit stort datasett på denne måten. Manuell kalibrering krev mykje tid og god kjennskap til korleis modellen er bygd opp og konsekvensar av endringar i ulike parametrar.

Kalibreringsprosessen er avgjerande for kvaliteten på simuleringane frå hydrologiske modellar. Med mange parameterar kan det vere ei stor utfordring og finne den optimale kombinasjonen, noko som har drive fram utviklinga av automatiske kalibreringsmetodar. Det er mange årsaker til at kalibreringsprosessen kan vere vanskelig, og for å utvikle ein automatisk søkealgoritme må ein løyse eller unngå utfordringane. Ein ting er at det er mange mulig kombinasjonar av parametrar, ei anna er gjensidig samanheng mellom modellparametrar. Eit tal kombinasjonar av parametrar kan gje same avvik mellom simulert og observert avrenning; ei endring i ein parameter kan bli kompensert med endring i ein eller fleire andre parametrar (Xu, 2010). Det fins med andre ord fleire mulige kombinasjonar av parametrar som gir same avvik. Ved å endre to og to parametrar mot kvarandre kan ei oppnå ein topografi, med eit bestområde. Topografigrafen har to ulike parametrar langs x- og y-aksen, og ein målfunksjon, til dømes R^2 , som funksjon av kombinasjonen av parametrane (Killingtveit, 1995). Topografien blir heretter kalla responsflata. For eit felt i kalibreringsperioden kan gjensidig samanheng mellom parametrane vere eit lite problem; ein er nærme optimum og det kan fungere bra for denne simuleringa. Brukar ein same parametersett for å simulere avrenning i ein annan periode, kan små endringar i enkelt parametrar føre til utslag som ein ikkje er i stand til å kontrollere.

Ei anna utfordring i kalibreringsprosessen er diskontinuitetar på responsoverflata, som kan skape forvirring i kalibreringa. Ut over dette kan lokale optimum kan vere vanskelig å skilje frå globale optimum. Lokale optimum har alle eigenskapane til globale optimum, unntatt verdien av objektivt kriterium. Nok ei utfordring er skalering av parametrar. Ulike skaleringar av parametrar endrar konfigurasjonen av responsoverflata, og kan dermed påverke problema. Framskritt i kalibreringar kan bli kraftig forsterka ved å skalere responsflata til ei nær sirkulære konturlinjer i målfunksjonen. Den optimale forma på responsoverflata er foreløpig ikkje kjent for multidimensjonale rom (Xu, 2010).

Automatiske kalibreringsmetodar nyttar responsflata saman med ei målsøkingsalgoritme for å søke etter den optimale parameter kombinasjonen for modellen. Sjølv med kraftige datamaskiner og relativt enkle modellar som HBV –modellen, bli talet på mulige parameterkombinasjonar så høgt at det ikkje er mulig å prøve alle (Killingtveit, 1995). Målsøkingsalgoritmane som fins, varierar frå lokale til globale, og systematiske til

tilfeldige. Ein lokal søkealgoritme kan ta utgangspunkt i eit punkt og frå dette punktet berre bevege seg i oppoverbakke og dermed håpe å komme til det høgaste punktet. Globale søkemetodar er utforma for å effektivt finne minimum av mulimodale funksjonar. Slike metodar kan delast inn i tre kategoriar; deterministiske, stokastiske eller kombinasjonar av dei to. Deterministiske strategiar stiller krav til kontinuitet av funksjonen og den deriverte av funksjonen for å garantere konvergens mot den globale løysninga. Dette er sjeldan oppfylt ved kalibreringa av ikkje-lineære hydrologiske modellar. Derfor har berre stokastiske og kombinasjonsmetodar blitt brukt ved kalibrering av hydrologiske modellar (Xu, 2010).

Stokastiske metodar prøver tilfeldige kombinasjonar i parameterrommet for å søke etter punkt med betre funksjonsverdiar. Prøvene blir generert basert på ei sannsynsfordeling. For heilt tilfeldige søk, er prøvene plukka ut gjennom ei uniform fordeling. Dette føreset at ein ikkje har nokon kunnskap om kva som kan vere den beste parameterkombinasjonen på førehand. Heilt tilfeldige søk brukar ikkje informasjon oppnådd i løpet av søket for å styre søket vidare, og er derfor ofte ikkje veldig effektivt; spesielt om det er mange parametarar som skal kalibrerast. Andre tilfeldige søkealgoritmar tilpassar sannsynsfordelinga basert på funksjonsverdiar som er oppnådd under søket.

SCE-UA (Shuffled Complex Evaluation) vart utvikla av Duan et al. (1993, referert til av Xu, 2010 og Rinde, 2008) og er ein robust global optimaliseringsstrategi utvikla for å vere effektiv for ein stor klasse problem. Metoden må ha gitte søkeintervall og sannsynsfunksjon for alle frie parametarar. Som startverdiar blir det trekt parametarar tilfeldig frå den spesifiserte fordelinga. Med jamne mellomrom utvekslar simpleksa informasjon, slik at rutinen ikkje går seg fast i eit lokast optimum. Det er lagt inn eit tilfeldig element slik at rutinen kan akseptere eit parametersett som gir dårlegare verdi for målfunksjonen. Rutinen tar lang tid å køyre, spesielt om det er mange parametarar som skal optimaliserast (Rinde, 2008).

For å teste kalibrerte parametersett, kan ein utføre ein valideringsprosess. Validering vil seie å teste modellen med kalibrerte parametarar på eit anna data sett. Klems (1986, referert til av Xu, 2010) foreslo eit rammeverk for validering av konseptuelle hydrologiske modellar. For stasjonære forhold kan ein bruke ein split- sample test eller ein proxy- basin test, avhengig av om ein høvesvis nyttar data frå det kalibrerte feltet eller eit anna felt i valideringa.

Å handtere ein region med fleire nedbørfelt samtidig blir kalla regionalisering. Regionalisering kan ha fleire fordelar for kalibreringsprosessen: det sparar tid, ein kan få meir stabilt definerte parametarar og parametersettet kan nyttast i felt utan målingar med eit estimat for uvissa i simuleringane. Ulempa er at ein taper ein kvalitet i målfunksjonen; parametersettet blir ikkje skreddarsydd for eit felt og ein kan ikkje oppnå maksimal tilpassing for alle felta som er med i regionaliseringa. For å gjennomføre ei regionalisering utan store tap, må parametranne i modellen vere stabilt definert og parameteruvissa lita. Låg korrelasjon mellom parametranne gjer det mulig å sette opp relativt smale kalibreringsintervall for parametranne, om t.d. for HBV –modellen.

2.3 Nedbørfelt som enkle, dynamiske system

Grunnleggande likningar, til dømes Darcy si likning, er utleia på skalar som er mange størrelsesordnar mindre enn eit nedbørfelt og utan å ta omsyn til variasjonar i naturen (Teuling et al., 2010). Fysisk baserte hydrologisk modellar bygger på slike lover, utan å vite kva konsekvensar oppskaleringa og heterogene parametrar i nedbørfeltet får. Modellering av nedbørfelt er vanskelig av mange grunnar; ikkje berre fordi parametrane er heterogene og vanskelige å måle, den optimale modellstrukturen kan også endre seg skalaen den er brukt på (Kirchner, 2006). Parametrar til fysisk baserte hydrologiske modellar kan ikkje målast i felt på ein passeleg skala, dei må optimaliserast gjennom ein kalibreringsprosess. Sivapalan et al. foreslo i 2003 ei omvendt tilnærming: at tidsseriar burde vore brukt meir i utviklinga av modellar og identifisering av prosessar. Dette kunne gjerast ved å bruke tidsseriar til å bestemme modellstrukturen i staden for å optimalisere parametrar til ein gitt modellstruktur.

I 2009 publiserte James W. Kirchner ein måte for å modellere nedbørfelt som enkle førsteordens ikkje-lineære dynamiske system, og dermed å bestemme modellstrukturen direkte frå observerte endringar i vassføringsmålingar i resesjonsperiodar. I metoden til Kirchner (2009) blir eit nedbørfelt representert som eit lagrings element, der avrenning berre er ein funksjon av lagring i feltet. Denne tilnærminga spesifiserer ikkje lagring – avrenning funksjonen på førehand, men bestemmer den direkte frå målte data. Det er ikkje nødvendig å ta omsyn til eksplisitt endring i lagring; dette blir i staden utleia frå endringar i avrenning.

Kirchner (2009) antek at vassbalansen for den totale lagringa i grunnvatn (både metta og umetta) er representert ved massebalanselikninga

$$\frac{dS}{dt} = P - E - Q \tag{2.10}$$

S er volum vatn lagra i nedbørfeltet. P , E og Q er høvesvis nedbør, fordamping og avrenning. P , E , Q , og S er funksjonar av tid og representerer gjennomsnittsverdiar for nedbørfeltet. Avrenninga, Q , kan målast aggregert for nedbørfeltet. Analysen er ikkje avhengig av målingar av lagringa i feltet, då slike målingar ofte ikkje er tilgjengelig. Ein treng ikkje kunnskap om mengde lagra vatn i feltet, berre korleis den mengda endrar seg over tid.

Ut frå det grunnlagande vilkåret at vassføringa, Q , utelukkande er avhengig av lagringa, S , antar Kirchner (2009) at det fins ein lagrings- vassføringsfunksjon $Q = f(S)$. Kirchner antar inga spesiell form på lagrings- vassføringskurva, berre at den er aukande og har ein invers funksjon, $S = f^{-1}(Q)$. Sett at Q er berre ein funksjon av S , aukar lagringa når $P - E > Q$ og minkar når $Q > P - E$. Maksimalavrenning vil opptre samtidig som maksimal lagring, når $Q = P - E$.

Kombinasjon av likning 2.1 og vilkåret $Q = f(S)$, gir direkte differensiallikninga 2.11, for endringa av vassføringa som funksjon av tid:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ}{dS} \frac{dS}{dt} = \frac{dQ}{dS} (P - E - Q) \quad (2.11)$$

Å finne ein funksjon for dQ/dS er viktig; det er den deriverte til lagringsvassføringsfunksjonen og representerer kor sensitiv avrenninga er for endringar i lagring. Lagringa, S , kan ikkje direkte målast, og må derfor skrivast om.

$$\frac{dQ}{dS} = f'(S) = f'(f^{-1}(Q)) = g(Q) \quad (2.12)$$

$g(Q)$ blir kalla sensitivitetsfunksjonen (Kirchner, 2009) eller avrenningssensitivitet (Teuling et al., 2010). For at det skal vere mulig å rekne ut $g(Q)$ må den skrivast om til likning 2.13:

$$g(Q) = \frac{dQ}{dS} = \frac{dQ/dt}{dS/dt} = \frac{dQ/dt}{P - E - Q} \approx \left. \frac{-dQ/dt}{Q} \right|_{P \ll Q, E \ll Q} \quad (2.13)$$

Når nedbør og fordamping er mykje mindre enn vassføringa (neglisjerbare), kan ein dermed bestemme $g(Q)$ direkte frå tidsseriar med målt vassføring. I praksis fins ulike strategiar for å gjennomføre utvalet av data der vassføringa er dominerande, sjå 2.3.1 *Utval av data til resesjonsperiodane*.

Når ein har funne tidspunkta der nedbør og fordampinga er ubetydelige, kan ein estimere sensitivitetsfunksjonen $g(Q)$ ved å plote *Flow recession time*, $-dQ/dt$, som ein funksjon av avrenning, Q . Slike plott vert kalla resesjonsplott. Resesjonsplott vart foreslått av Brutsaert og Nieber (1977) som eit alternativ til konvensjonelle resesjonskurver, der avrenning er plotta mot tid. Resesjonsplott er spesielt bra eigna for å estimere sensitivitetsfunksjonen, då plotta ikkje krev at underliggende data er ein samanhengande tidsserie.

Flow recession time, $-dQ/dt$, til resesjonsplotet blir rekna ut som vist i likning 2.14:

$$\frac{-dQ}{dt} = \frac{(Q_{t-\Delta t} - Q_t)}{\Delta t} \quad (2.14)$$

Forholdet mellom $-dQ/dt$ og Q kjem best fram på logaritmiske plott. Log-log plott framhevar låge vassføringar. Ved å bruke log-log plott for resesjonsplota sikrar ein at sensitivitetsfunksjonen skildrar forholdet mellom $-dQ/dt$ og Q på ein korrekt måte også for små verdiar (Kirchner, 2009). Resesjonsplottet ser mest ut som ei punktsky, og for å anslå ein funksjonell samanheng mellom $-dQ/dt$ og Q må alle punkta bli tatt omsyn til. Dette gjer Kirchner (2009) ved å dele dei enkelte datapunkta inn i intervall, og rekne ut gjennomsnitt og standardavvik for kvart intervall.

Kirchner (2009) deler inn i intervall ved å gå frå høgste Q -verdi og avgrense intervall som spenner over minst 1 % av det logaritmiske området Q ($\log [Q_{\max}] - \log [Q_{\min}]$), samt

inkluderer nok punkt til at standardavviket av $-dQ/dt$ innanfor intervallet er mindre enn halvparten av gjennomsnittet. Vidare brukar Kirchner (2009) ei førsteordens Taylor tilnærming:

$$s \tan \text{dardavvik} \left(-\frac{dQ}{dt} \right) \leq \text{gjennomsnitt} \left(\frac{dQ/dt}{2} \right) \approx s \tan \text{dardavvik} \left(\ln \left(-\frac{dQ}{dt} \right) \right) \leq 0.5 \quad (2.15)$$

SINTEF Energi har utvikla ein metode for å dele inn punktskya i like store, faste intervall. Dersom intervallet har uteliggjarar som dominerar middel og standardavviket blir dette intervallet ikkje teke med. Å dele data inn i like store intervall gjer det lettare å samanlikne resultat (kan plottast i same diagram). Ulempa er at intervall med store uteliggjarar, blir droppa og ein kan stå att med veldig få punkt (Tøfte, pers. med.).

Når middelværdiane i alle intervalla er plotta, kan ei glatt kurve tilpassast punkta. Kirchner (2009) gjer dette ved bruk av minste kvadratsmetode, vekta etter invers varians. Dette for å unngå at veldig usikre punkt (med store standardavvik) skal få for stor innflytelse på regresjonen.

”In absence of a strong theoretical expectation for the storage- discharge relationship, one must choose an empirical function to fit the binned means” (Kirchner, 2009). Kirchner vel ein kvadratisk funksjon, fordi den både er fleksibel nok til å følgje dei viktigaste trendane i datasettet og glatt nok til å tillate ekstrapolering:

$$\ln(g(Q)) = \ln \left(\frac{-dQ/dt}{Q} \right) \Bigg|_{P \ll Q, E \ll Q} \approx c_1 + c_2 \ln(Q) + c_3 (\ln(Q))^2 \quad (2.16)$$

SINTEF Energi jobbar med ei hypotese om at ein lineær funksjon er betre eigna (Kolberg, pers. med.). Hypotesa bygger på at det ikkje er nok informasjon i utplukka data til å estimere tre uavhengige parametrar og ein derfor må gå ned til to parametrar slik likning 2.17 viser.

$$-\frac{dQ}{dt} = aQ^b$$

$$\ln(g(Q)) = \ln \left(\frac{-dQ/dt}{Q} \right) = \ln(a) + b \ln(Q) \quad (2.17)$$

Kirchner (2009) omtaler å tilnærme ei lineær likning som eit spesial tilfelle.

Teuling et. al. (2010) vel også ei lineær likning, men deler denne inn i tre delar. Kvar av delane er dermed karakterisert ved to parametrar, totalt 6 parametrar.

Ved å kombinere likning 2.11 og 2.12 får ein likning 2.18.

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ}{dS} \frac{dS}{dt} = g(Q) - P - E - Q \quad (2.18)$$

Det er fare for numerisk ustabilitet ved løysning av likning 2.8 med Eulers metode. Kirchner (2009) bruker derfor iterasjon med Runge-Kutta 4.orden frå log transformasjonen av likning 2.8. Log transformasjonen er normalt glattare enn Q som funksjon av tid, og derfor lettare å integrere. Har ein tidsseriar for nedbør, P , og fordamping, E , kan ein frå likninga 2.18 bestemme tidsseriar for avrenninga, Q .

Kirchner (2009) sin modell er enkel og utelet derfor fleire omsyn. Eit av dei er etterslep i nedbørfeltet; det tek tid for vatn å bli transportert gjennom elvenettverket i nedbørfeltet, og målt vassføring ved utløpet kan vere forsinka i forhold til mengde lagra vatn i feltet. Modellen tek heller ikkje omsyn til at endringar i lagring kan vere forsinka i forhold til nedbør, på grunn av den tida det tek for nedbør å infiltrere tilstrekkelig for å påverke vassføring frå lagringa i feltet. Forsinkinga på grunn av demping og vasstransport vil påverke for godt nedbørfelt er eigna for å bli simulert med Kirchner sin metode; felt med store forsinkingar som følgje av vasstransport oppfyller ikkje det grunnleggande kriteriet at avrenninga berre er ein funksjon av lagringa i feltet. SINTEF Energi jobbar med å finne ein måte å modellere routing gjennom nedbørfeltet som er basert på få parametarar og kan kombinerast med Kirchner (2009) sin modell (Kolberg, pers. med.).

Dersom ein er villig til å godta forma på $g(Q)$ som den kvadratiske funksjonen Kirchner forslår i likning 2.16, kan likninga bli sett på som ein enkel nedbør- avrenningsmodell med fire parametarar som kan kalibrerast direkte til tidsseriar for nedbør, fordamping og avrenning. Kirchner (2009) kalibrerer C_1 , C_2 , C_3 og k_E (skaleringfaktor for fordamping) for kvart av dei 5 åra i tidsserien han nyttar. I kalibreringa brukte Kirchner logaritmen av kvadrerte avvik mellom tidsseriane som målfunksjon. Resultatet viser at dei kalibrerte verdiane har små avvik frå verdiane estimert frå resesjonsplotta, og at verdiane er konsistente på tvers av åra i kalibreringa. Tilpassing mellom observert og simulert avrenning er noko betre med kalibrerte parametarar. Kirchner (2009) får Nash –verdiar frå 0.795 opptil 0.931 utan kalibrering og 0.902 til 0.951 med kalibrering. Basert på at dei kalibrerte verdiane er konsistente på tvers av åra i kalibreringa, antyder Kirchner at modellen er robust og ikkje er overparametrisert.

I ein artikkel 2006 er Kirchner svært kritisk modellar som treng kalibrering. Kirchner (2006) argumenterer med at parameterrike modellar kan framstå som ”matematiske marionettar”, som kan tilpasse seg observerte data i ein kalibreringsprosess sjølv om vilkåra i røynda er missvisande. Kirchner (2006) meiner at ein kalibreringsprosess kan føre til at modellen gir rett svar, men på feil grunnlag.

Kirchner (2009) utfører ein split- sample test (jf. 2.2.1 Kalibreringsprosessen) på modellen. Slike testar er framleis relativt uvanlige i modellering litteratur, og modellar består dei ofte ikkje (Kirchner, 2009). Kirchner sin modell består testen, noko som viser at tilnærminga kan brukast til å simulere hydrografar som det ikkje alt er estimert frå. Kirchner (2009) vurderer også modellen sin mot ein meir parameterrike modell, og

konkluderer med at hans modell gir like gode resultat som ein meir parameterrike modell. Kirchner (2009) omtalar ikkje kva modell han har samanlikna med.

Teuling et al. (2010) konkluderer med at Kirchner si responsrutine utan kalibrering gir gode resultat for eit nedbørfelt i Sveits.

Sjølv om Kirchner sin modell har ei anna tilnærming enn tradisjonelle hydrologiske modellar, er den grunnleggjande tanken til Dooge (1984) framleis den viktigaste: ”Hydrologisk praksis vil bli betre om modellar blir objektivt valt for å gjere størst nytte av den tilgjengelige informasjonen og følgje eit systematisk system for utval og verifisering”. Ein må utnytte få størst mulig utnytting av tilgjengelig data, og strukturen skal vere enkel og nøyaktig.

2.3.1 Utval av data til resesjonsperiodane

Kirchner (2009) brukar to ulike metodar for finne data til resesjonsperiodane. Den første metoden nyttar Penman-Monteith si likning for å berekne fordampinga, med data frå automatiske klimastasjonar. Penman-Monteith estimerer potensiell fordamping. Ein treng ikkje å berekne komponentane i massebalanselikning, berre identifisere tidspunkt når massebalansen er dominert av avrenning. Kirchner (2009) brukte timar der avrenninga var minst 10 gonger større enn både potensiell fordamping og nedbør.

I den andre metoden antar Kirchner at potensiell fordamping i fuktige nedbørfelt er relativt små om natta; fuktigheita er nær 100 % og det fins ikkje solenergi til å drive fordampinga. Natt blir definert som solar flux under 1 W/m^2 i gjennomsnitt over timen det er snakk om, timen før og timen etter. Det må ikkje vere nedbør 6 timar før tidspunktet eller 2 timar etter. Dei to metodane gir ikkje akkurat same resultat, men analysane basert på resultatet er ganske like (Kirchner, 2009).

Teuling et al. (2010) brukar eit utvalet av data til resesjonsperiodane basert på tre sett med kriterium. Det første settet er kaldt, tørt og mørkt. Det vil seie at glidande gjennomsnittstemperatur (4 timar) er låg nok ($< 0 \text{ }^\circ\text{C}$) til utelukke snøsmelting, men høg nok til å utelukke is ($> -3 \text{ }^\circ\text{C}$). Samtidig kan både 4-timars glidande gjennomsnittleg nedbør og global stråling neglisjerast. Det andre settet er varmt, tørt og mørkt. Dette inneber at glidande gjennomsnittstemperatur (siste 7 dagar) er høg nok til å utelukke snø ($> 3 \text{ }^\circ\text{C}$), og både nedbør og fordamping kan neglisjerast. Dagar med vassføring mindre enn gitt fordampingsgrense (0.15 mm/h) og dagar der fordamping kan ha innverknad på nattresesjonen, er utelukka. Det tredje settet er varmt og regnfullt. Det betyr at gjennomsnittstemperaturen (siste 7 dagar) er høg nok ($> 3 \text{ }^\circ\text{C}$) til å utelukke snø, og nedbøren er minst ein størrelsesorden større enn maksimal estimert fordampingsrate (0.15 mm/h). 8 % av data i måleserien på 32 år med timesdata bestod alle krava, og kunne dermed nyttast til å estimere $g(Q)$.

Programmet Parameter Estimator er laga ved SINTEF Energi, med formål å plukke ut data til resesjonsperiodar. Programmet nyttar Kirchner (2009) si andre metode for å plukke ut data. Input data til modellen er nedbør (mm) og temperatur ($^\circ\text{C}$) og vassføring

(m³/s). Ut frå kor feltet er lokalisert, bereknar programmet solopp- og nedgang og plukkar ut nattverdiar når det er lite eller inga fordamping.

For å kunne plukke ut tidspunkta der avrenninga dominerer over nedbør og fordamping, nyttar programmet 9 parametarar:

Tabell 2.1, Parametrar i ParameterEstimator

Parameter	Skildring/ funksjon
P_Back	Tal på samanhengande tidsskritt (timar) utan nedbør før eit valt tidsskritt.
P_Front	Tal på samanhengande tidsskritt (timar) utan nedbør etter eit valt tidsskritt.
T_melt_thresh	Temperaturgrense (°C) for snøsmelting (snøsmelting ved tempertur over grense).
T_snow_thresh	Temperaturgrense (°C) for snø (nedbør som regn over grensa og som snø under).
SM_Back	Tal på samanhengande tidsskritt (timar) før eit valt tidsskritt utan snøsmelting.
SM_Front	Tal på samanhengande tidsskritt (timar) etter eit valt tidsskritt utan snøsmelting.
T_evap_thresh	Temperaturgrense (°C) for når fordamping kan neglisjerast (kan neglisjerast ved temperaturar under grensa).
E_Back	Tal på samanhengande tidsskritt (timar) med neglisjerbar fordamping før eit valt tidsskritt.
E_Front	Tal på samanhengande tidsskritt (timar) med neglisjerbar fordamping etter eit valt tidsskritt.

For å identifisere månader utan snø, må modellen vite *No Snow Months*; månader der det ikkje oppstår snøsmelting sjølv om temperaturen er over temperaturgrensa T_melt_thresh.

Parameter Estimator tilbyr også å velje ut data til resesjonsperiodane berre basert på avrenningsdata. Modellen plukkar då ut alle periodar kor vassføringa er mindre i forhold til førre tidsskritt, altså når avrenninga minkar som funksjon av tid. Ein må her legge inn *Min recession length [hrs]*, for å ikkje fange opp små (som går over mindre enn satt tid) endringar i vassføringa.

2.4 Rammeverk for implementering av hydrologiske modellar: ENKI

I dag fins det ei lang rekke hydrologiske modellar for å simulere avrenning frå nedbør. Modellar i alle klassar (jf. Figur 2.1) er representert i dette mangfaldet. For å få ein dynamisk, fordelt modell har SINTEF Energi AS og Statkraft ST utvikla eit rammeverk for implementering av prosessmodellar i tid og rom, kalla Dynamic Environmental Model Laboratory (DEMLab) eller ENKI (Rinde, 2008). Rammeverket i seg sjølv inneheld ingen simuleringrutinar eller prosessdata, berre administrasjon og brukargrensesnitt.

ENKI er bygd opp av to einingar; modellen og regionen. Modellen er bygd opp av subrutinar, som kan kallast i fastsett rekkefølge for kvart tidssteg og parameterverdier. Regionen inneheld GIS- data: raster/ regulert grid, nettverk/ punktsverm eller skalar (enkeltverdi). Alle GIS- datasett må vere angitt i same koordinatsystem. Regionen inneheld databasar for input og utput.

Brukaren bestemmer sjølv kva rutiner han vil bruke; det er mulig å velje mellom ei lang rekke subrutiner, som er programmert på førehand. Delrutinene kan til dømes vere basert på fysiske modellar eller empiriske likningar, til dømes HBVSoil , HBVRespons eller KirchnerMod. Brukaren bestemmer også rekke følgja/ forholdet mellom subrutinene. På denne måten blir modellen dynamisk; det er lett å endre samansetninga mellom subrutinene og legge til eller ta vekk rutiner. For parametrane i subrutinene kan brukaren avgjere om dei skal vere konsentrert eller fordelt. Parametrar kan vere fordelte (raster) om brukaren har denne informasjonen eller ein konsentrert (skalar) dersom det ikkje fins informasjon om fordelinga. Utover dette må brukaren velje parametrar han ynskjer å kalibrere, målfunksjonar og søkealgoritmar for autokalibrering.

Når metodane til subrutinene i modellen er valt ut, må subrutinene linkast saman til ein samanhengande modell. Likinga skjer ved å definere variablar; det er variablane som definerer linkane og kvar enkelt rutine kjenner berre til sine variablar. Prinsippet er at ei rutine som skriv til ein variabel, vil køyre før ei rutine som les variabelen. Når brukaren styrer korleis subrutinene koplast saman, opnar det for forgreiningssystem som kan samanlikning ulike rutiner.

Regionen i ENKI kan bestå av data frå ei lang rekke målestasjonar. For å legge inn tidsseriane må brukaren opprette ein input database og fyller denne med tidsseriar og koordinatar til målestasjonane. Inputdatabasen inneheld tidsseriar med klimatiske variablar som driv det hydrologiske systemet. Kva variablar som er naudsynte er avhengig av korleis modellen er bygd opp. Vanlige parametrar er temperatur, nedbør, avrenning, vind og stråling. Det er inndatabasen som bestemmer tidsskritt i ei køyring (Rinde, 2008).

I parameterdialogen i modellen må brukaren sette verdier på alle skalare parametrar og filnamn for alle fordelte parametrar. Som nemnt vel brukaren målfunksjonar, kva parametrar som skal kalibrering og kalibreringsrutine. Det er mulig å kalibrere modellen både manuelt eller automatisk. ENKI har både gradient- og Monte Carlo- baserte (t.d. SCE-UA) rutiner for automatisk kalibrering; det fins fem metodar å velje mellom med ulik grad av tilfeldig trekking og målretta søk.

ENKI kan brukast på ulike nivå, med varierende krav til brukaren og til ulike formål. Det enklaste nivået er å kjøre ein modell og region som alt er bygd opp. Då treng ein berre å sette parametrar og tidsperiode, laste inn initialtilstandar, køyre modellen og lagre output tidsseriar. For å kalibrere modellen kan ein definere målfunksjonar og bruke autokalibrering med ulike metodar. Det einaste ein treng å gjere for å køyre ein ferdig

modell er å bekrefte initialtilstanden og velje om ein vil opprette ein ny outputdatabase eller overskrive den gamle.

Neste nivå er å bygge opp ein eigen modell. Dette set høgare krav til brukaren; ein må kjenne til nødvendige dll- metodar, samansetninga av rutinar, samanheng mellom informasjon internt i modellen og samanhengen med variabelnamn mellom modellane. Ein må hente inn dll- metodane ein treng, opprette subrutiner, avgjere romlegfordeling og bestemme globale variabelnamn. Det øvste nivået krev endå meir av brukaren; ein kan programmere nye metodar i C++. Ein treng ikkje å gjere endringar i koden til hovudprogrammet når ein programmerar nye rutiner. På denne måten kan ein teste ut nye rutiner med same vilkår som tidlegare, både med tanke på rutiner og oppsett av testsimuleringane.

NVE har jobba med å utvikle eit tilsvarande rammeverk, sjå *Fornyelse av NVE hydrologiske simuleringssystem, nr. 8 2011* (Røhr, 2011).

3. Metode

For å teste ut Kirchner (2009) sin metode, er metoden nytta til å estimere parametarar til sensitivitetsfunksjonane for 29 nedbørfelt i Noreg. Basert på resultatane frå dette arbeidet, er samanhengen mellom parametarar i Kirchner sin modell og form på sensitivitetsfunksjonen studert. Vidare er det sett opp ein fordelt struktur i rammeverket ENKI for å studere konsekvensane av å bruke den enkle, parameterfattige modell til Kirchner (2009) samanlikna med den fysiske baserte og meir parameterrike HBV-modellen.

3.1 Utval av data og tilpassing av sensitivitetsfunksjon: Parameter Estimator

For å velje ut data til resesjonsperiodane og tilnærme sensitivitetsfunksjonar til dei 29 nedbørfelta, er programmet *Parameter Estimator* nytta. Verkemåten til *Parameter Estimator* er skildra under 2.3.1 Utval av data til resesjonsperiodane.

Inputdata til *Parameter Estimator* (nedbør, temperatur og avrenning) er lagra i tre separerte tekst filer med to kolonner og ei overskriftsline. Den første kolumna inneheld tidsteg med dato, månad, år, time og minutt. Kolonne nummer to inneheld den tilhøyrande verdien. Dei tre tekstfilene må ha same start og slutt data/tid. Modellen må også vite arealet av nedbørfeltet til målestasjonen for å kunne rekne om m^3/s til mm og lokaliseringa av feltet for å berekne solopp- og nedgang.

Det er også lagt inn informasjon om månadar utan snø smelting/lagring. For alle felta i oppgåva er denne perioden 01.juni til 31. oktober. *Parameter Estimator* kan basert på den estimerte sensitivitetsfunksjonen og Runge-Kutta 4. ordens løysning av likning 2.18, generere plot som viser observert og simulert vassføring. Programmet simulerer vassføring for same periode om angitt som snøfri (sommarhalvåret), då det ikkje er innebygd ei snørutine i *Parameter Estimator*.

For alle felta er det sat verdiar for dei 9 parameterane presentert i tabell 2.1. T_{melt_thresh} , T_{snow_thresh} og T_{evap_thresh} høvesvis 0, 0 og 5 °C. P_{Front} , SM_{Front} og E_{Front} er satt til 2 timar. SM_{Back} og E_{Back} er satt til 6 timar. P_{Back} varierar ut frå arealet på nedbørfeltet som blir simulert, då responstida til nedbørfelta er avhengige av blant anna arealet.

Som nemnt under 2.2.1 Utval av data til resesjonsperiodane, tilbyr *Parameter Estimator* to måtar å plukke ut data. Simuleringane i denne oppgåva er køyrt med begge dei to alternativa; med bruk av klimadata og med berre avrenningsdata. Ved bruk av klimadata skal det for alle simuleringane brukt *only -ve dQ/dt*, for å få litt færre, men meir pålitelige data. Ved bruk av avrenningsdata utan klimadata er *Min recession length (hrs)* satt til 10 for alle felt.

Alle simuleringane er køyrt med variable bin/ intervall størrelse, 1 % av data. Dette er i tråd med Kirchner (2009) sitt arbeid.

Frå *Parameter Estimator* er det eksportert resesjonsplott, figurar som viser tilnærma sensitivitetsfunksjon og figurar som viser simulert og observert vassføring for alle

nedbørfelta. Også informasjon om kor mange datapunkt som er plukka ut og kor mange intervall dei er inndelt i er kartlagt.

I Parameter Estimator er det tilnærma ein kvadratisk funksjon for alle nedbørfelta. Det er ikkje gjort systematiske forsøk på å tvinge Parameter Estimator til å tilpasse ei lineær likning til utplukka data.

3.1.2 Data til Parameter Estimator

Det er brukt målingar frå 29 vassføringsstasjonar i Midt- og Sør-Noreg, sjå tabell 3.1 og figur 3.1. Tabell 3.1 viser kalibreringsperiodar og nedbørareal for alle felta. Avrenningsdata er frå NVE og har timesoppløysning. Seriane er av ulik lengde, men alle stemmer overeins med nedbør og temperatur målingar for same målestasjon.

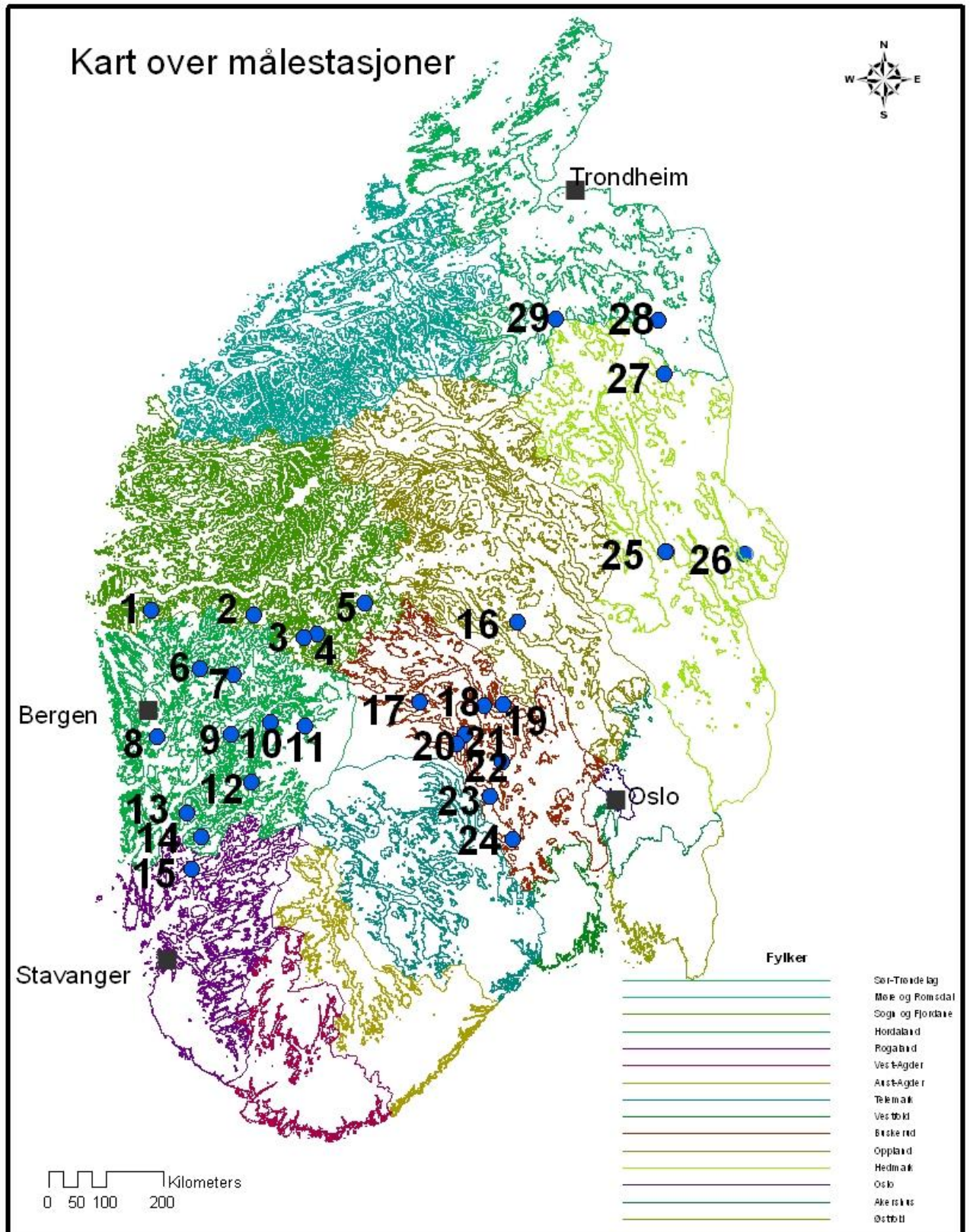
Utgangspunktet for nedbør og temperaturdata var døgndata frå eKlima sine stasjonar, som er interpolert til grid og så gjort om til gjennomsnittsverdiar for delfelta. Etterpå er det disaggregert ned til timesverdiar. Data som er nytta er mottatt frå SINTEF Energi med denne oppgåva som mål (Tøfte, pers. med.).

Alle felta i tabell 3.1 er oppgitt å vere uregulerte (Tøfte, pers. med.) Om dette stemmer er undersøkt i resultatdelen. Konsekvensane av eventuelle reguleringar er vurdert i diskusjonsdelen.

Tabell 3.1, Oversikt over nedbørfelt

Stasjonsnummer	ID	Feltnavn	Start	Slutt	Areal (km ²)
70.8.0.1001.1	155	Målset	01.01.1970 10:00	07.06.2010 16:00	7.57
50.4.0.1001.1	209	Viveli	27.10.1982 00:00	16.06.2010 12:00	391
12.70.0.1001.1	283	Etna	02.01.1986 00:00	15.01.2010 22:00	570
38.1.0.1001.1	295	Holmen	02.09.1985 00:00	20.04.2010 17:00	117
50.1.0.1001.1	333	Hølen	01.01.1970 10:00	18.06.2010 23:00	232
2.11.0.1001.1	380	Narsjø	13.02.1986 00:00	10.02.2010 07:00	119
42.2.0.1001.1	389	Djupevad	01.01.1970 10:00	18.06.2010 23:00	31.9
73.1.0.1001.1	548	Lo Bru	24.05.1985 00:00	25.08.2010 11:00	562
48.1.0.1001.1	610	Sandvenvatn	13.06.1997 00:00	18.06.2010 22:00	470
15.53.0.1001.1	641	Borgåi	04.01.1985 00:00	19.12.1999 21:00	94
47.1.0.1001.1	655	Eidevatn (Byrkjelandsvatnet)	08.05.1987 00:00	16.03.2006 15:00	79.2
12.178.0.1001.1	687	Eggedal	02.01.1986 00:00	12.03.2010 23:00	309
15.49.0.1001.1	709	Halledalsvatn	01.01.1970 10:00	16.07.2010 22:00	61.6
62.18.0.1001.1	719	Svartavatn	04.07.1987 01:00	06.08.2010 23:00	72.1
2.611.0.1001.1	806	Storsjøen ndf. Øra	01.01.1985 00:00	20.04.2010 07:00	2335
12.212.0.1001.1	929	Hangtjern	28.09.1993 00:00	25.03.2010 07:00	11.6
55.4.0.1001.1	1065	Røykenes	01.01.1986 00:00	06.08.2010 23:00	50
15.21.0.1001.1	1114	Jondalselv	29.10.1993 00:00	04.06.2010 22:00	127
15.19.0.1001.2	1178	Fønnebjøfjord	08.11.1986 00:00	31.12.2007 22:00	688
72.7.0.1001.2	1215	Vassbygdvatn	29.10.2002 00:00	10.01.2010 22:00	759
12.97.0.1001.1	1223	Bergheim	02.01.1986 00:00	15.01.2010 22:00	4243
41.1.0.1001.1	1237	Stordalsvatn	02.09.1985 00:00	18.06.2010 23:00	129
2.603.0.1001.1	1373	Glåmos bru	02.01.2003 00:00	20.04.2010 07:00	797.61
68.1.0.1001.1	1412	Kløvtveitvatn	08.11.1971 00:00	26.03.2006 23:00	4.51
15.72.0.1001.1	1442	Sørkja	02.01.1985 00:00	09.12.1993 00:00	36.2
72.5.0.1001.2	1477	Brekke bru	01.10.1997 00:00	30.07.2010 23:00	267
62.5.0.1001.1	1516	Bulken (Vangsvatnet)	10.09.1994 00:00	06.08.2010 22:00	1094
121.9.0.1001.1	1829	Næverdalen	23.09.1988 00:00	30.10.1996 00:00	791
311.6.0.1001.1	2263	Nybergsund	25.08.1989 00:00	15.01.2010 22:00	4084.37

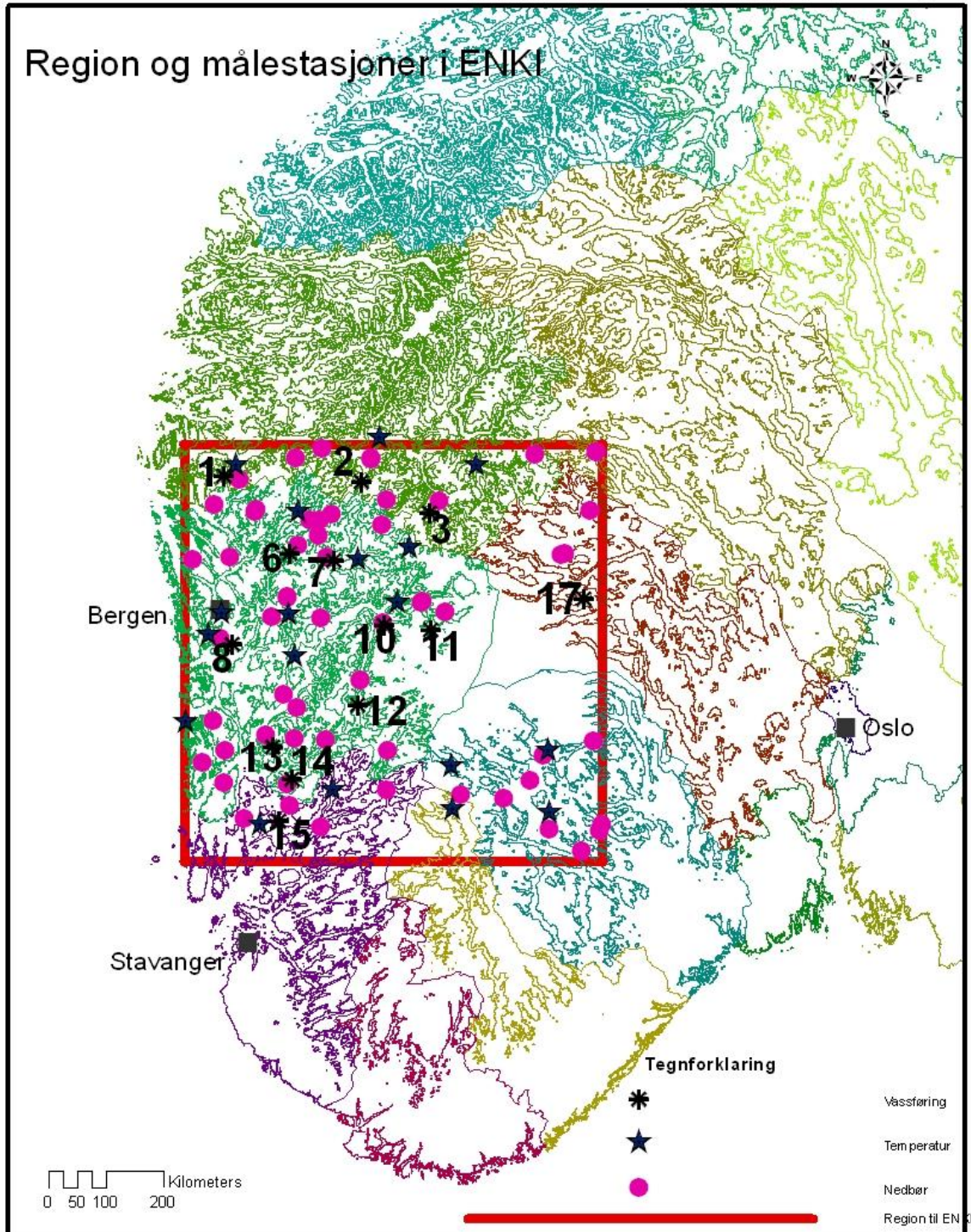
Som tabell 3.1 viser inkluderer utvalet av nedbørfelt ein variasjon frå i areal frå 4.51 km² til 4084 km². Lengda på tidsserieane varierer frå 8 år og opptil 41 år.



Figur 3.1 Oversiktskart over målestasjoner: 1- Kløvtveitvatn, 2- Målset, 3- Brekke bru, 4- Vassbygdvatn, 5- Lo bru, 6- Svartavatn, 7- Bulken, 8- Røykenes, 9- Eidevatn, 10- Hølen, 11- Viveli, 12- Sandvenvatn, 13- Djupevad, 14- Stordalsvatn, 15- Holmen, 16- Etna, 17- Halledalsvatn, 18- Bergheim, 19- Hangtjern, 20- Fønnebofjord, 21- Borgåi, 22- Eggedal, 23- Sørkja, 24- Jondalselv, 25- Storsjøen, 26- Nybergsund, 27- Narsjø, 28- Glåmos bru, 29- Næverdal (Kjelde for koordinatar til målestasjoner: nve.no).

3.2 Fordelt hydrologisk modell: ENKI

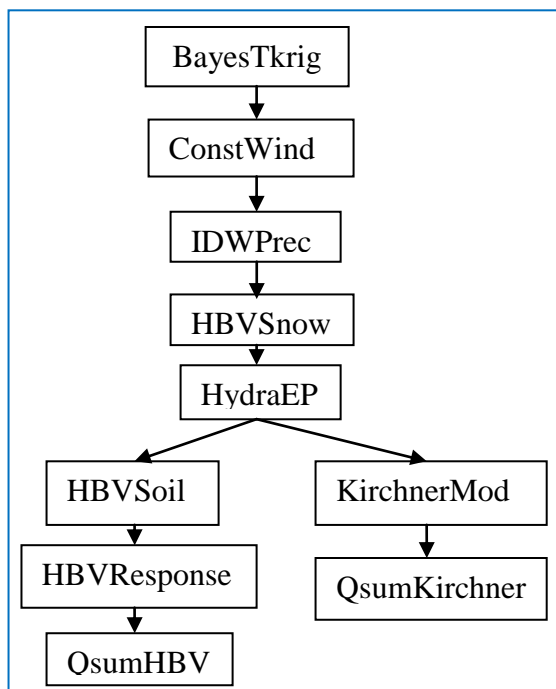
Regionen som er valt dekker nedbørfelt 1 til 15 og 17, vist med ein raud firkant i figur 3.2. Feltet er 200 * 200 km. Oppløysning på 1 km gir 200 * 200 celler. Regionen er valt for å dekke flest mulig av målestasjonane frå kartet i figur 3.1 på eit relativt lite område.



Figur 3.2 Region i ENKI (raud). Vassføringsstasjonar (svarte kryss): 1- Kløvtveitvatn, 2- Målset, 3- Brekke bru, 6- Svartavatn, 7- Bulken, 8- Røykenes, 10-Hølen, 11- Vivali, 12- Sandvenvatn, 13- Djupevad, 14- Stordalsvatn, 15- Holmen. Nedbørstasjonar (rosa sirkel). Temperatur (mørkblå stjerne).

Figur 3.2 viser alle målestasjoner for nedbør, avrenning og temperatur som inngår i regionen. Avrenningsdata er frå NVE (nve.no\xhydra) og nedbør/temperatur frå klima. Døgndata for 5 hydrologiske år (2000- 2005) skal nyttast. Kart over fordelte variablar (DEM, landuse og Delfelt) er mottatt frå SINTEF Energi for bruk i denne oppgåva (Kolberg, pers. med.). Informasjon om stasjonsnummer, namn, koordinatar og høgde over havet, fins for alle nytta stasjonar, i vedlegg A.

Figur 3.3 viser oppbygginga av modellen i ENKI. Målet med å bygge opp modellen på denne måten er å studere skilnaden mellom å berekne avrenning med ei enkel responsrutine med 3 parametar og ein tilstand , og to fysisk baserte rutiner som bygger på 8 parametar og 3 tilstandar. Parametrane i Kirchner modell er C_1 , C_2 og C_3 . HBVSoil bygger på FC, LP og β (jf. kapittel om HBV- modellen). Parametrane i HBVResponse er frå øvre og nedresone i avrenningsdelen av HBV- modellen; k_2 , k_1 , k_0 , perc og UZL, totalt 8 parametar.



Figur 3.3 Subrutiner i ENKI- modellen

BayesTkrig er ei interpoleringsrutine for temperatur. ConstWind generer konstante verdiar for vind, då det ikkje fins målingar. IDWPrec er ei interpoleringsrutine for nedbør. HBVSnow er snørutina frå HBV- modellen. HydraEP er ei rutine for å berekne potensiell fordamping; noko KirchnerMod, HBVSoil og HBVResponse må vite. Etter HydraEP rutinen blir resultatata frå dei nemnte rutinane brukt ulikt. Høgre side representerer Kirchner (2009) si responsrutine, og venstre side representerer markvatn og avrenningsdelen frå HBV- modellen. DII- metoden KirchnerMod som er implementert i ENKI løyser likning 2.18 med Bogacki-Shampine metode, som er ein adaptive Runge-Kutta metode. At metoden er adaptiv betyr at inndelinga av intervall for kvart steg i iterasjonen ikkje er satt på førehand. Dette skil seg frå Runge-Kutta der steglengda og

inndelinga i intervall er bestemt. Runge-Kuta 4. orden deler til dømes automatisk eit steg inn i fire intervall.

Dei fordelte variablane som subrutinene krev er: DEM (digital elevation model), Delfelt (rasterkart med nedbørfelta i regionen) og landuse (rasterkart med vatn = 1, land > 1). DEM blir brukt i BayesTkrig, ConsWind og IDWPrec. Landuse blir brukt i HydraEP og HBVSoil. Delfelt blir brukt i QsumKirchner og QsumHBV, for å summere opp avrenninga frå alle cellene i nedbørfelta. Modellen og regionen som er brukt i ENKI er vedlagt digitalt (.tpx fil).

Regionen Vestlandet, skal kalibrerast med den automatiske søkealgoritmen SCE-UA, som er skildra under 2.2.2 Kalibreringsprosessen. For å få representative initialverdiar til kalibreringa er modellen først køyrast frå 01.01.2000 til 31.07.2000, med null som initialverdiar. Tilstanden den 31.07.2000 er lagra og brukt som initialverdiar.

I modellen skal er det definert to målfunksjonar, begge basert på Temporal R^2 , ein for QsumHBV og ein for QsumKirchner, sjå linking 2.9. Begge målfunksjonane er samanlikna med måleseriane for dei 13 målestasjonane i perioden 09.01.2000 til 31.08.2005. Målefunksjonane startar 01.09 for å gi modellen ein månad *oppvarming*, og simulerer deretter 5 hydrologiske år. Målfunksjonen er vald fordi brukaren har best kjennskap til denne, og fordi den same målfunksjonen er nytta i Parameter Estimator.

HBVSnow blir brukt av begge sidene i modellstrukturen og er derfor kalibrert for begge samtidig, med lik vekting av målfunksjonane. Som kalibreringsintervall er erfaringsbaserte verdiar frå Killingtveit (1995) brukt.

Tabell 3.2 Kalibreringsintervall, HBVSnow

Parameter	Nedre grense	Øvre grense	Fordeling
T_x	-1	2	Uniform
T_s	-1	2	Uniform
C_x	3	6	Uniform
CRF	0	0.01	Uniform

I HBV- modellen er K_2 , K_1 , K_0 , beta, perc, tresh og LP kalibrert. I Kirchner (2009) sin modell er C_1/ K_2 , C_2/ K_1 , og C_3/ K_0 kalibrert.. Tabell 3.3 og 3.4 viser kalibreringsintervalla som er nytta. Kalibreringsgrenser for HBVSoil og HBVResponse er basert på intervall frå Killingtveit (1995).

Tabell 3.3 Kalibreringsintervall, HBVSoil og HBVResponse

Parameter	Nedre grense	Øvre grense	Fordeling
Beta	1	4	Uniform
K₂, rask avrenning i øvre sone	0.2	0.5	Uniform
K₁, sakte avrenning i øvre sone	0.01	0.2	Uniform
K₀, nedre sone	0.001	0.01	Uniform
Perc	0.5	1	Uniform
Tresh	10	40	Uniform

Intervalla for parametrane i karmodellane er satt for å sikre at $K_2 > K_1 > K_0$.

Tabell 3.4 Kalibreringsintervall, Kirchner (2009) sin modell

Parameter	Nedre grense	Middelverdi (frå Param. Est)	Øvre grense	Fordeling
C₁, andregradsledd	0	0.132	0.15	Uniform
C₂, førstegradsledd	0	1.67	3	Uniform
C₃, konstantledd	-6	-3.85	-2	Uniform

Kalibreringsgrensene for Kirchner si responsrutine er erfaringsbaserte frå resultata i Parameter Estimator. Andregradsleddet kan i kalibreringa bli null. Det er ikkje sikkert det fins eit optimum her. For å sjå konsekvensen av å tvinge C_1 til å vere null, og å tilnærme ei lineær likning, er dette gjort med same intervall for C_2 og C_3 som vist i tabell 3.4. Kalibreringsintervalla blir diskutert i 5. *Diskusjon*.

For å samanlikne Kirchner sin modell med og utan kalibrering, er parametrane som er estimert i Parameter Estimator satt inn i ENKI modellen. På denne måten ser ein kor gode resultat dei estimerte parametrane gir mot kalibrerte for nedbørfelta i ENKI –regionen.

Heile regionen i ENKI er kalibrert under eit, parametrane er ikkje spesialtilpassa til enkelt felt. Konsekvensen av kva ein taper på denne regionaliseringa er vurdert. Det er også undersøkt om det er skilnad i konsekvensen av regionalisering for HBV- modellen og Kirchner sin metode.

4. Resultat

4.1 Resultat frå Parameter Estimator

Resesjonsplott og tilnærma sensitivitetsfunksjonar for 8 av nedbørfelt i tabell 3.1 er presentert i avsnitt 4.1.1 til 4.1.8. Resesjonsplotta for dei 21 andre felta fins i vedlegg B. Felta er nummerert frå 1 til 8 etter plassering i tabell 3.1. Utvalet av dei 8 felta er gjort for å få representert mangfaldet av ulike fenomen som opptrer i resesjonsplotta.

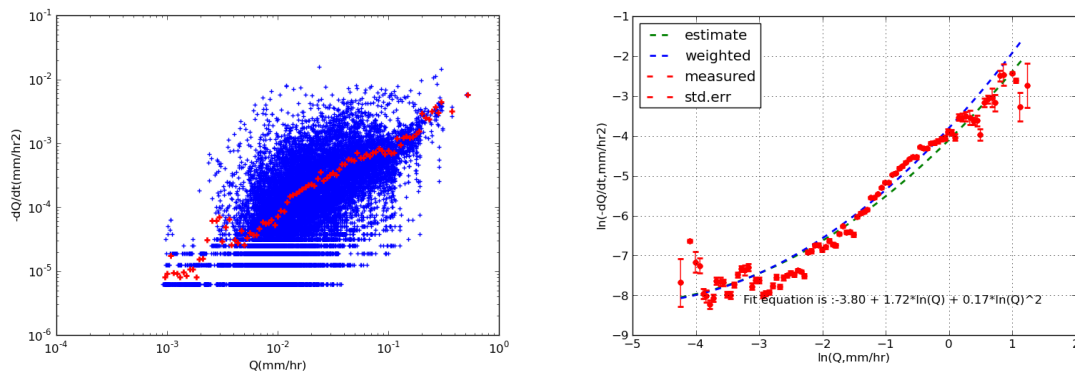
For alle nedbørfelta er karakteristiske parametrar og plott som viser simulert og observert avrenning frå Parameter Estimator vist i vedlegg B. Nummereringa i vedlegget stemmer med rekkefølga i tabell 3.1.

Parametrane for alle nedbørfelta er vist i tabell B.30.

4.1.1 Holmen

Målestasjonen i nedbørfeltet til Holmen er vist som nr. 15 i figur 3.1, og er ein del av Vikadalselva, nord i Rogaland.

P_{back} er satt til 12 timar. Dette gir 23 565 utvalde datapunkt i 94 intervall, slik figur 4.1 viser. Utvalde data tilsvarer 11 % av den observerte tidsserien. Tilnærminga til høgre i figur 4.1 gir likninga $\ln(g(Q)) = 0.17\ln(Q)^2 + 1.71\ln(Q) + (-3.80)$.

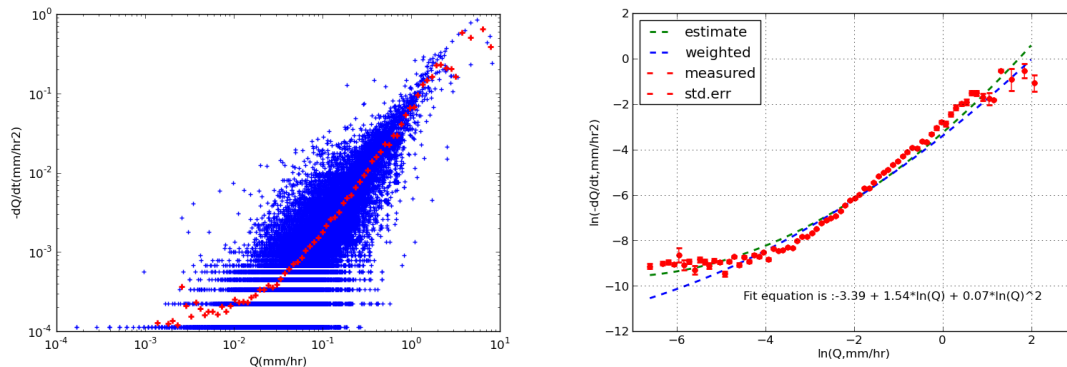


Figur 4.1 Resesjonsplott (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Holmen

4.1.2 Djupevad

Målestasjonen for nedbørfeltet Djupevad er vist som nummer 13 i figur 3.1, og er ein del av Handalandselva i Hordaland. Målestasjonen er ein forvaltningsstasjon. Datakvaliteten før 1976 er usikker (nve.no\xydra).

P_{back} er satt til 12 timar. Dette gir eit utplukk av 38 043 verdiar, som tilsvarar 11 % av den totale datamengda. Data er inndelt i 73 intervall. Dette resulterer i likninga: $\ln(g(Q)) = 0.07 \ln(Q)^2 + 1.54 \ln(Q) + -3.39$.

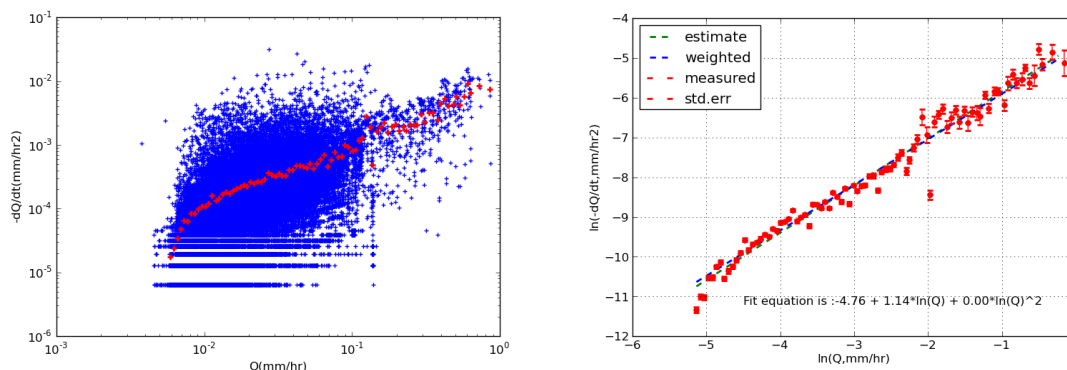


Figur 4.2 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Djupevad

4.1.3 Lo bru

Lo bru er vist som nummer 5 på kartet i figur 3.1, det er ein målestasjon i Lærdalselvi, søraust i Sogn og Fjordane. Feltet er regulert med magasinering frå 01.09.1972. Det blir overført vatn inn til feltet frå sørlige delar av vassdraget. Frå 1988 er vatn overført ut gjennom Stuvane kraftverk. Målestasjonen er konsesjonspålagt. Det er tapping frå magasinet i fiskesesongen (nve.no\xydra).

P_{Back} er satt til 36 timar. Likninga $\ln(g(Q)) = 0.00 \ln(Q)^2 + 1.14 \ln(Q) + (-4.76)$ er basert på eit utval av 39 806 i 87 intervall. Utvalet tilsvarer 18 % av den totale måleserien for Lo bru.

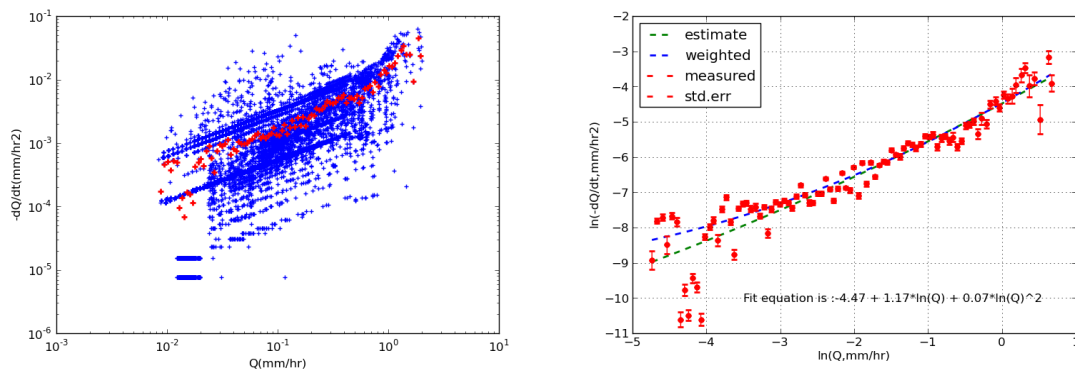


Figur 4.3 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Lo bru

4.1.4 Sandvenvatn

Målestasjonen til Sandvenvatn er vist som nummer 12 på kartet i figur 3.1, ved Opo i Hordaland. Feltet er påverka av ei overføring ut frå feltet sidan 01.01.1967. Vatnet blir overført til Saudavassdraget. Overført areal er 9 km² (totalt areal er 470 km², sjå vedlegg B.9) (Petterson, 2004).

P_{back} er satt til 36 timar. Dette gir eit uplukk av 11 100 datapunkt, tilsvarande 10 % av alle data, i 95 bin. Tilpassinga til høgre i figur 4.4 gir likninga $\ln(g(Q)) = 0.02\ln(Q)^2 + 1.17\ln(Q) + (-4.47)$.

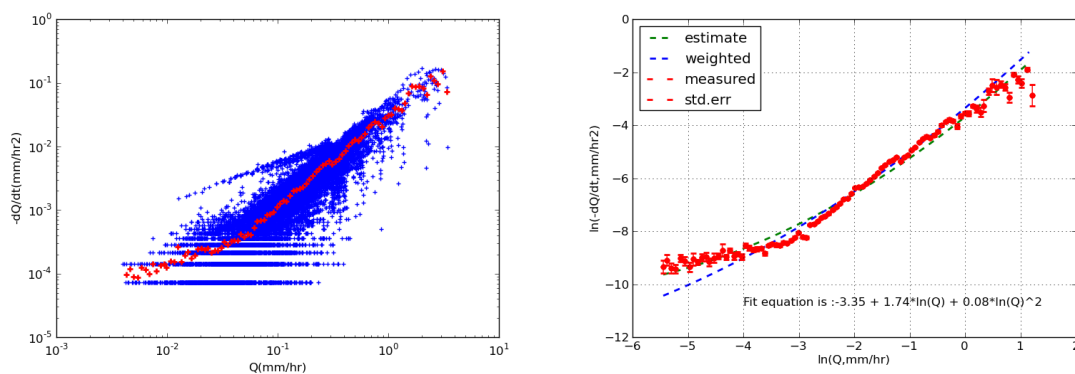


Figur 4.4 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Sandvenvatn

4.1.5 Røykenes

Målestasjonen Røykenes er vist som nummer 8 i figur 3.1, og ligg i Oselva like sør for Bergen.

P_{back} er satt til 12 timar. Likninga $\ln(g(Q)) = 0.08\ln(Q)^2 + 1.74\ln(Q) + (-3.35)$ er basert på 18 860 datapunkt i 95 intervall. Utvalet representerer 9 % av den totale data mengda.

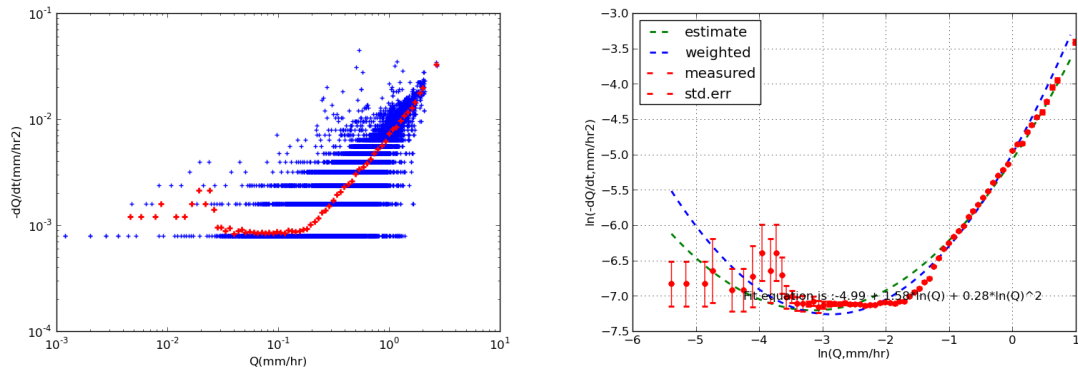


Figur 4.5 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Røykenes

4.1.6 Kløvtveitvatn

Kløvtveitvatn er markert med nummer 1 på kartet i figur 3.1, i Klyvtveitelva ytst i Sognefjorden. Målestasjonen vart rigga ned 22.08.2006 som følgje av regulering til Kløvtveit kraftverk (Pettersen, 2004).

P_Back er satt til 2 timar, på grunn av det vesle arealet, sjå vedlegg B.24. Likninga $\ln(g(Q)) = 0.28\ln(Q)^2 + 1.58\ln(Q) + (-4.99)$ er basert på 40 530 datapunkt i 67 intervall. Utvalet tilsvarer 13 % av den totale datamengda.

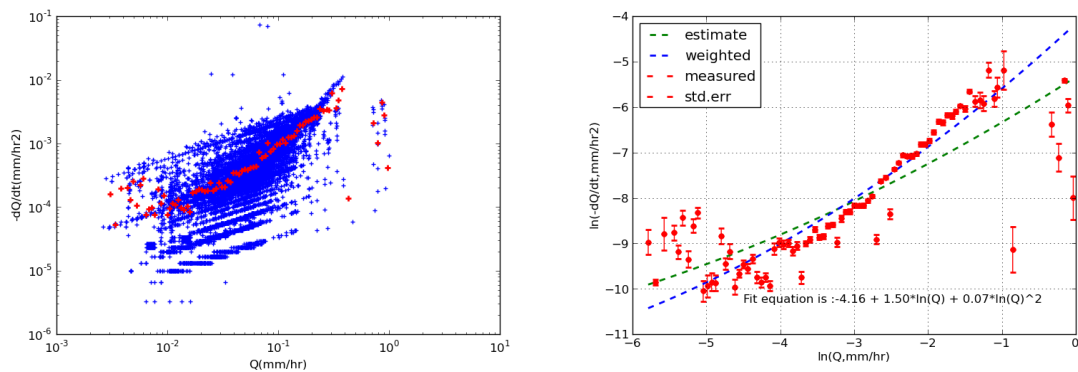


Figur 4.6 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Kløvtveitvatn

4.1.7 Bulken

Bulken er vist som nummer 7 på figur 3.1, og ligg i Vosso, Hordaland. Frå 01.01.1919 er feltet påverka av ei lita regulering (magasinering) (Pettersen, 2004).

P_back er satt til 54 timar. Bulken har det største arealet, 1094 km², og lengst P_Back. Likninga $\ln(g(Q)) = 0.07\ln(Q)^2 + 1.50\ln(Q) + (-4.16)$ er basert på 9 801 utvalte data i 83 intervall. Utvalet representerer 7 % av den totale måleserien.

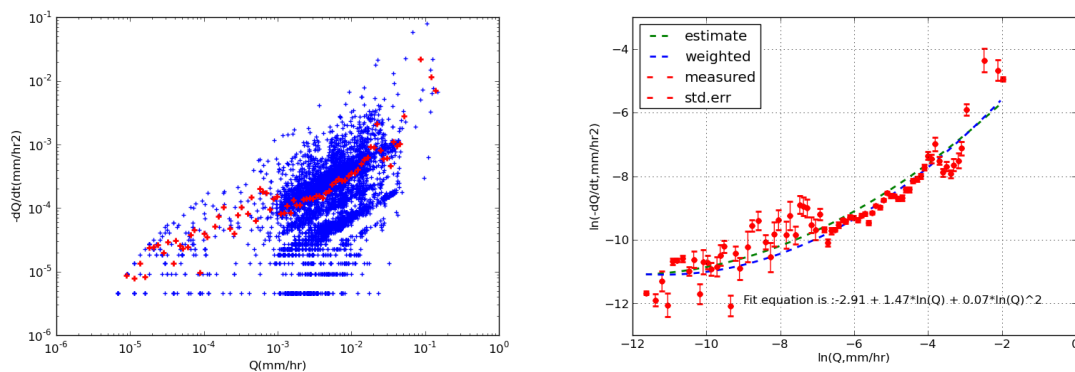


Figur 4.7 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Bulken

4.1.8 Næverdal

Næverdal er vist som nummer 29 på kartet i figur 3.1. Dette er sør i Sør – Trøndelag. Målestasjonen er konsesjonspålagt som følge av regulering av Storfossdammen. Målestasjonen måler vassføringa frå eit restfelt på 8.2 km², pålagt minstevassføringskrav frå Storfossdammen og eventuelle overløp frå Storfossdammen. Minstevassføringskravet er 0.3 m³/s i vinterhalvåret (01.10-30.04) og 0.5 m³/s i sommarhalvåret (01.05-30.09) (Petterson, 2004).

P_Back er satt til 36 timar. Dette gir 6 369 utplukka verdiar, tilsvarande 9 % av data mengda, i 77 intervall. Figur 4.8 viser at likninga som er tilpassa er $\ln(g(Q)) = 0.07 \ln(Q)^2 + 1.47 \ln(Q) + (-2.91)$



Figur 4.8 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Næverdal

4.2 Korrelasjon mellom parametrar frå Parameter Estimator og feltparametrar

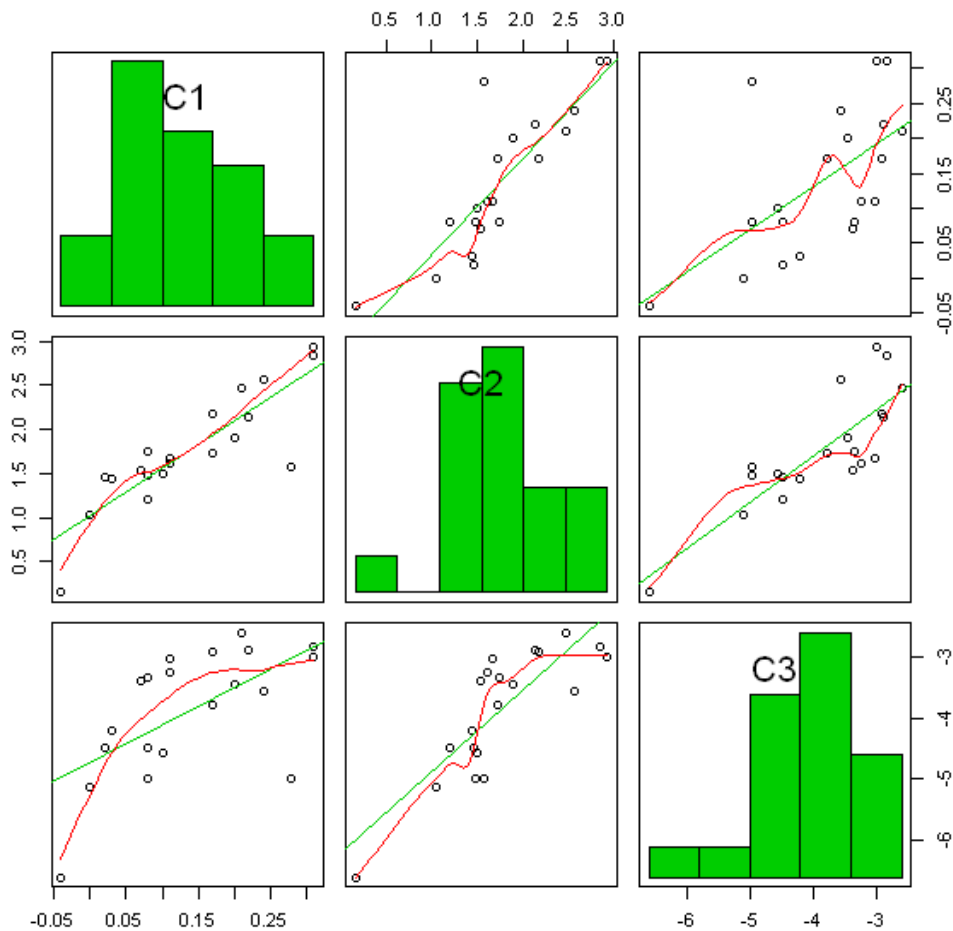
Korrelasjonen mellom C₁, C₂ og C₃ estimert med Parameter Estimator og ulike fysiske feltparametrar er vist i tabell 4.1 (sjå vedlegg B for detaljar og resesjonsplot, samt tabell B.40 for parametrar for alle felta).

Tabell 4.1, Korrelasjon mellom parametrar frå Parameter Estimator og feltparametrar

	Areal	Effektiv sjøprosent	Sjøprosent	Breprosent	Snaufjell prosent	Middel avrenning	Max høgde	Skog prosent
C ₁	-0.42	0.43	0.39	-0.27	-0.32	-0.40	-0.50	0.31
C ₂	-0.32	0.10	0.07	-0.42	-0.49	-0.38	-0.38	0.49
C ₃	0.29	-0.17	-0.22	-0.36	-0.57	-0.34	-0.43	0.63

4.3 Korrelasjon mellom parametrar frå Parameter Estimator

Samanhengen mellom dei tre parametranne i Kirchner sin modell estimert med Parameter Estimator er vist i spreingsplotet i figur 4.9. I figuren er spreining, ved normalfordeling, til parametranne vist på diagonalen. Første rad og kolonne viser C_1 , høvesvis langs y-aksen og x-aksen. Andre rad og kolonne viser på same måte C_2 , og tredje rad og kollane viser C_3 . Figuren viser dermed alle parametranne plotta som funksjon av dei andre parametranne. Dei grønne linjene er berekna med minste kvadrats metode. Dei raude linjene er glatte linjer, tilpasse til data, med spenn på 50 %.



Figur 4.9 Spreingsdiagram matrise (scatterplot matrix) for C_1 , C_2 og C_3

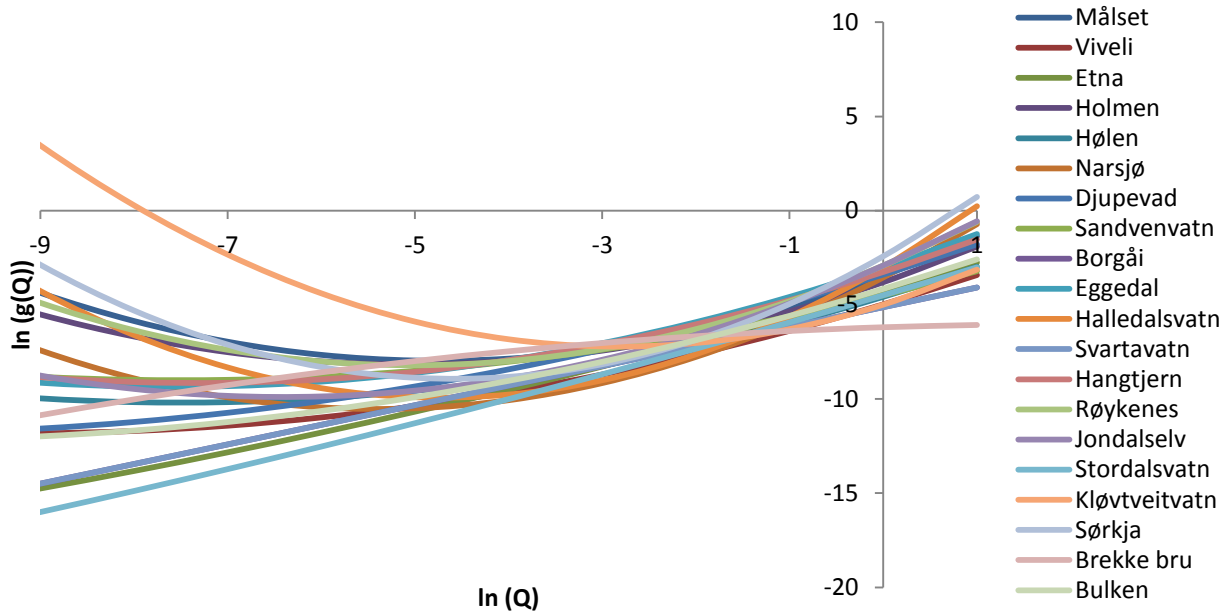
Korrelasjonen mellom C_1 og C_2 er 0.86. Likninga til trendlinja (1.kolonne, 2. rad) er $C_2 = 1.02 + 5.36C_1$

Korrelasjonen mellom C_3 og C_1 er 0.59. Likninga til trendlinja (3. kolonne, 1.rad) er $C_1 = 0.38 + 0.06C_3$

Korrelasjonen mellom C_3 og C_2 er 0.81. Likninga til trendlinja (2. kolonne, 3. rad) er $C_3 = -6.04 + 1.24C_2$

C_1 ligg mellom 0.31 og -0.04, middelværdi 0.13. C_2 ligg mellom 2.93 og 0.16, middelværdi 1.71. C_3 ligg mellom -2.84 og -6.19, middelværdi -3.94. I gjennomsnitt blei 11 % av tidsseriane i Parameter Estimator plukka ut som tørre.

Figur 4.10 viser sensitivitetsfunksjonane, $\ln(g(Q))$, til dei simulerte nedbørfelta.

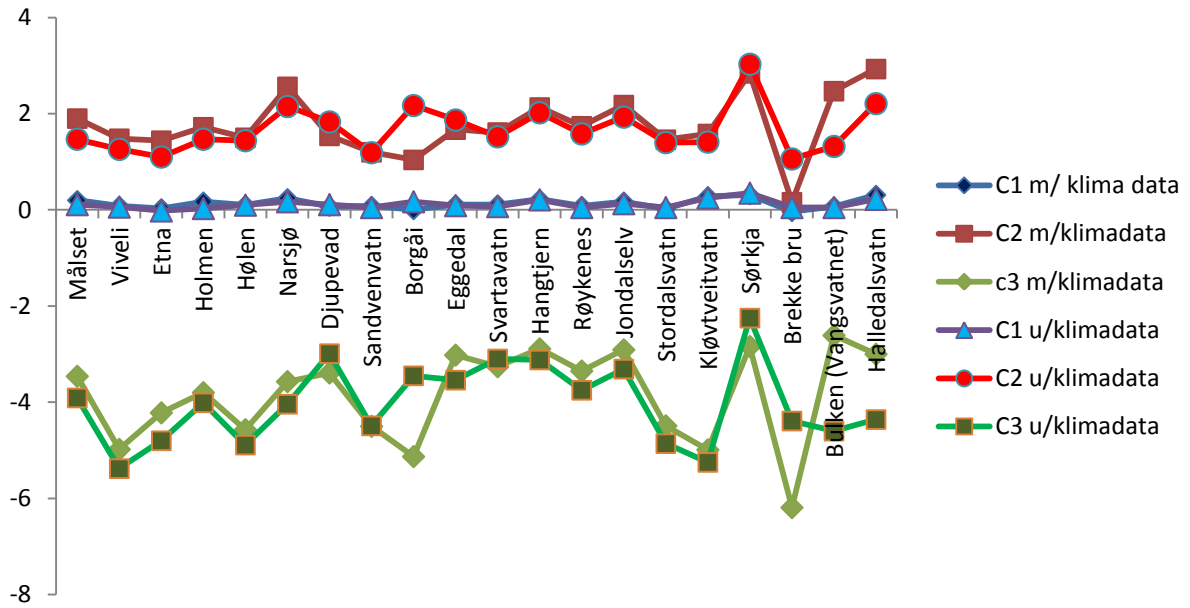


Figur 4.10 Sensitivitetsfunksjonar for dei simulerte nedbørfelta

4.5 Utval av data basert på avrenningsdata

Som skildra under Teori, tilbyr Parameter Estimator å plukke ut data på grunnlag av minkande avrenning, utan bruk av klimadata. Alle nedbørfelta er også simulert med denne metoden. Metoden plukkar i gjennomsnitt ut 43 % av dei totale tilgjengelege data.

Figur 4.11 viser korleis parametrane C_1 , C_2 og C_3 endrar seg for dei ulike felta, basert på om data er plukka ut med eller utan bruk av klimadata. Korrelasjonen mellom parametrar estimert med og utan klimadata er 0.46.



Figur 4.11 Parametrar frå Parameter Estimator, estimert med og utan klimadata

Korrelasjon mellom parametrar estimert utan klimadata og fysiske parametrar ved felta er vist i tabell 4.2.

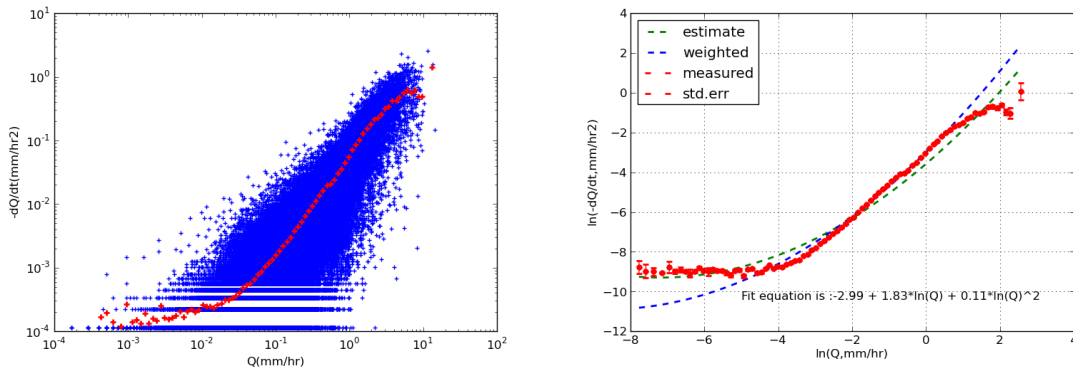
Tabell 4.2, Korrelasjon mellom parametrar frå Parameter Estimator og feltparametrar

	Areal	Effektiv sjøprosent	Sjøprosent	Breprosent	Snauffjell prosent	Middel avrenning	Max høgde	Skog prosent
C₁	-0.50	0.46	0.37	-0.24	-0.37	-0.46	-0.47	0.41
C₂	-0.46	0.02	-0.02	-0.35	-0.60	-0.49	-0.35	0.64
C₃	-0.42	-0.28	-0.29	-0.18	-0.52	-0.39	-0.37	0.61

Korrelasjonen mellom C₁ og C₂ er 0.82, mellom C₁ og C₃ 0.42 og mellom C₂ og C₃ 0.72.

Å vurdere utplukka av data er ikkje eit av hovudtema i oppgåva og derfor vil berre resultat frå eit nedbørfelt bli presentert her (resultata frå dei andre felta er ikkje trykt, men fins som digitale vedlegg). Feltet som er vist her er Djupevad, sjå simulering med klimadata under 4.1.2.

Utan klimadata plukkar Parameter Estimator ut 188 646 målepunkt i 85 intervall, og tilnærmar likninga $\ln g(Q) = 0.11 \ln Q^2 + 1.83 \ln Q + -2.99$. Utplukka tilsvare 53 % av den tilgjengelige datamengda.



Figur 4.12 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Djupevad, utan klimadata

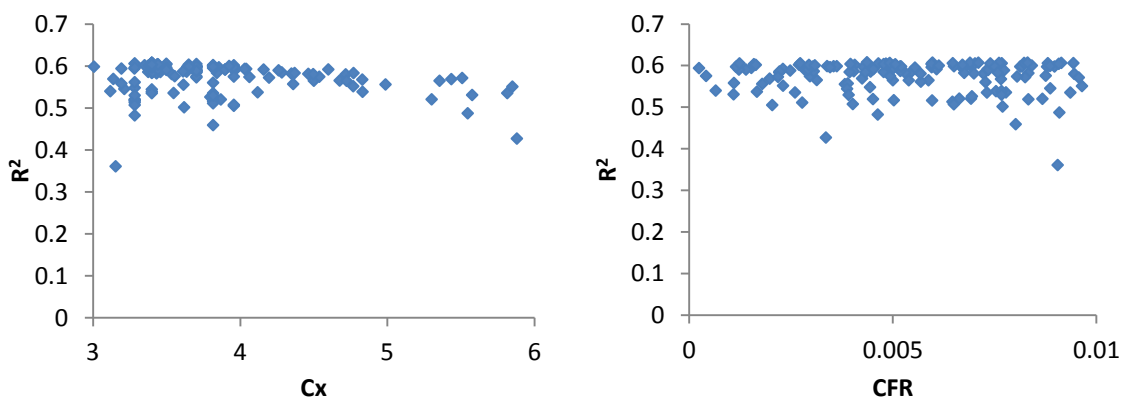
4.6 Resultat frå ENKI

4.6.1 Kalibrering

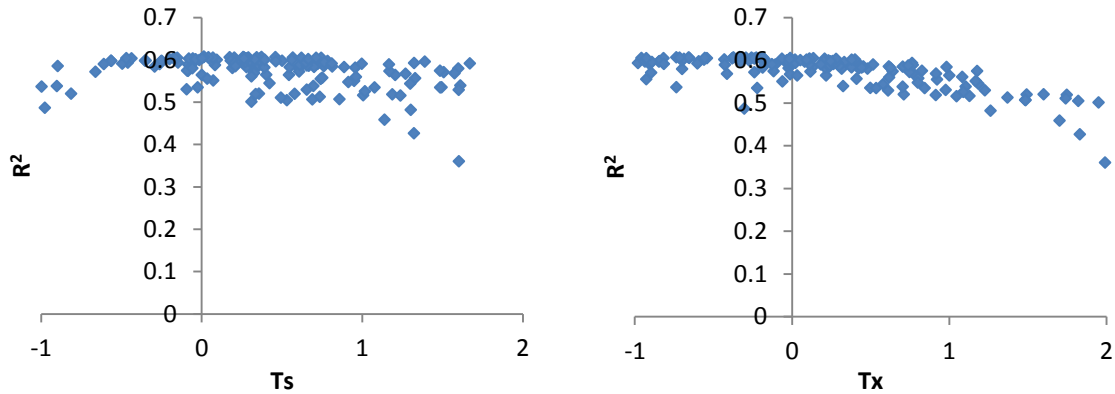
Som skildra om kalibreringsprosessen under 3. Metode, er ENKI modellen kalibrert. Ein iterasjon, tek i underkant av 10 minutt. Ein avgjerande faktor for kor mange iterasjonar kalibreringane inneheld er derfor tid.

Modellen er kalibrert fleire gonger der nye justeringar i verdiar på faste parametarar, grenser og tal på frie parametarar har blitt gjort. Tidlige forsøk viser at tre felt gir spesielt dårlege resultat. Brekke bru, Halledalsvatn og Viveli er derfor ikkje med i kalibreringa, sjå diskusjon.

Resultata frå kalibreringa av HBVSnow er vist i tabell D.1, vedlegg D. Figur 4.13 og 4.14 viser sensitivitetsplott for parametranne som er sleppt laus i kalibreringa.



Figur 4.13 Sensitivitetsplott for parametarar i HBVSnow, C_x og CFR

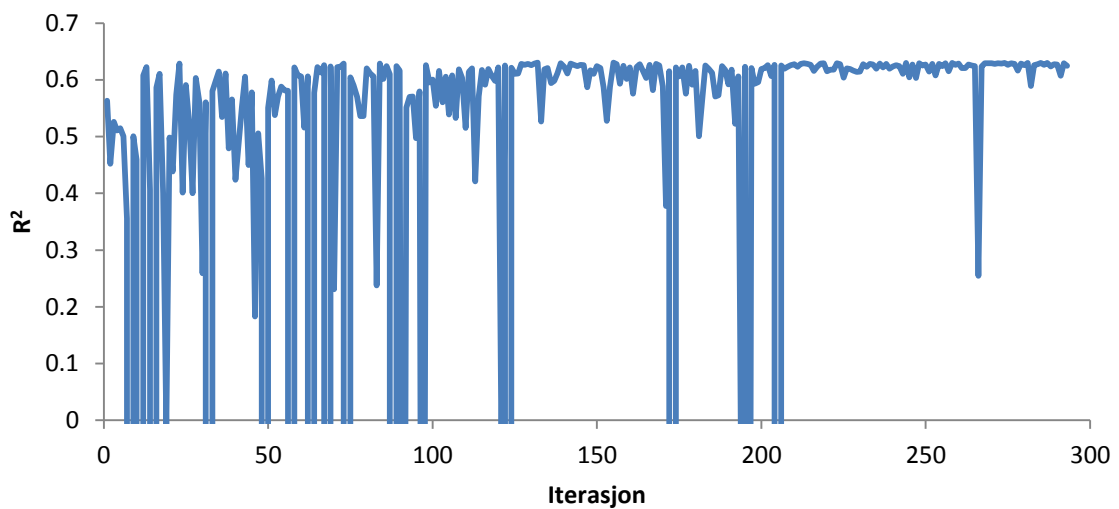


Figur 4.14 Sensitivitetsplot for parametrar i HBVSnow, T_s og T_x

T_x er slept fri i vidare kalibrering av HBV responsrutina og Kirchner si responsrutine.

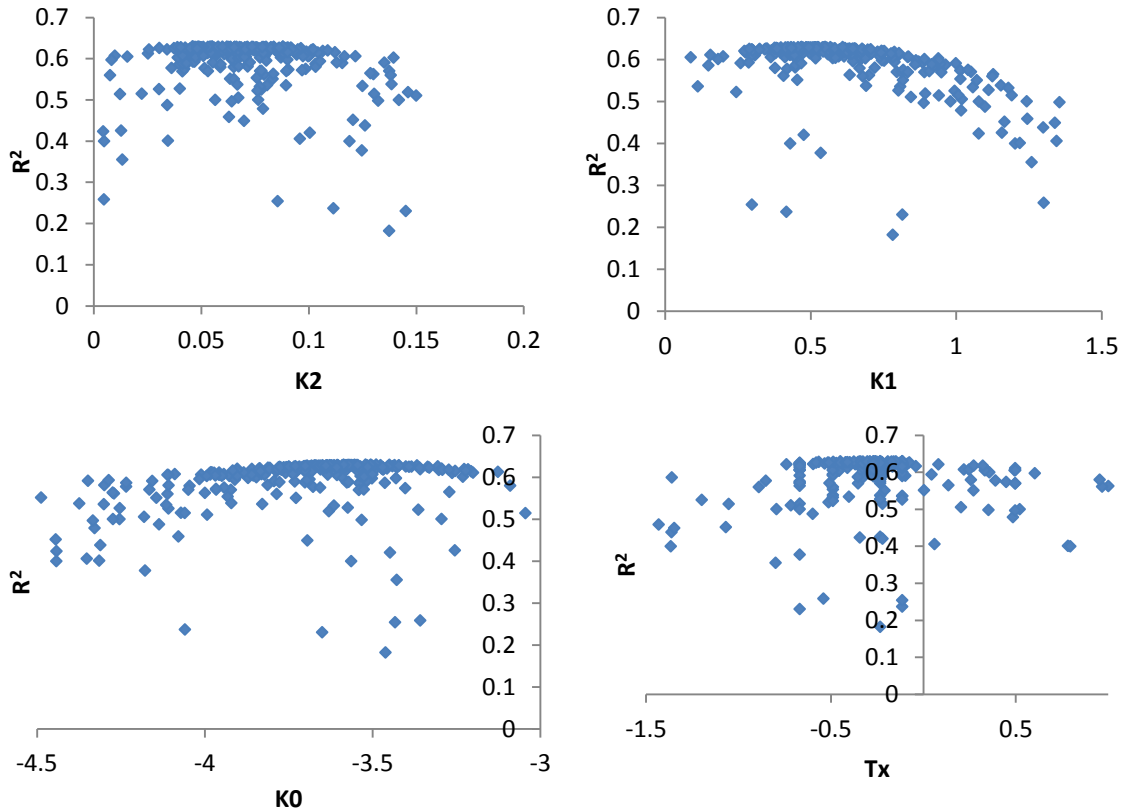
Under er resultatata frå kalibreringa av Kirchner (2009) sin modell med 3 parametrar eller ein kvadratisk sensitivitetsfunksjon, presentert.

Figur 4.14 viser korleis R^2 -verdiar utvikla seg under kalibreringa. Kalibreringsintervalla er vist i tabell 3.4 og T_x varierer i intervallet -1.5 til 1.0.



Figur 4.15 Gjennomsnittleg R^2 -verdi for nedbørfelta i regionen i kalibreringa av Kirchner med 3 parametrar

Figur D.5 i vedlegg D viser R^2 som funksjon av iterasjonane for nedbørfelta i regionen.



Figur 4.16 Sensitivitetsplott for kalibreringa av Kirchner sin modell med 3 parametrar

Resultata for kalibrering av HBV- modellen og Kirchner med 2 parametrar (lineær sensitivitetsfunksjon) er vist i vedlegg D.

Parametersetta som gav best gjennomsnittleg R^2 –verdi for nedbørfelta i regionen er vist i tabell 4.3 og 4.4.

Tabell 4.3, optimaliserte parametrar for Kirchner sin modell

Parameter	Kirchner 3 parametrar	Verdi	Kirchner 2 parametrar	Verdi
	R^2 : 0.6303		R^2 : 0.6315	
K_2 Kirchner		0.0459		0 (låst)
K_1 Kirchner		0.5492		0.5183
K_0 Kirchner		-3.49		-3.39
T_x		-0.1151		-0.2703

Tabell 4.4, optimaliserte verdier for HBV –modellen

HBV – modellen	Parameter	Verdi
R^2 : 0.6232		
	LP	0.86
	Beta	2.85
	K2HBV	0.63
	K1HBV	0.02
	K0HBV	0.0027
	Perc	0.56
	Thresh	21.3
	Tx	-0.787

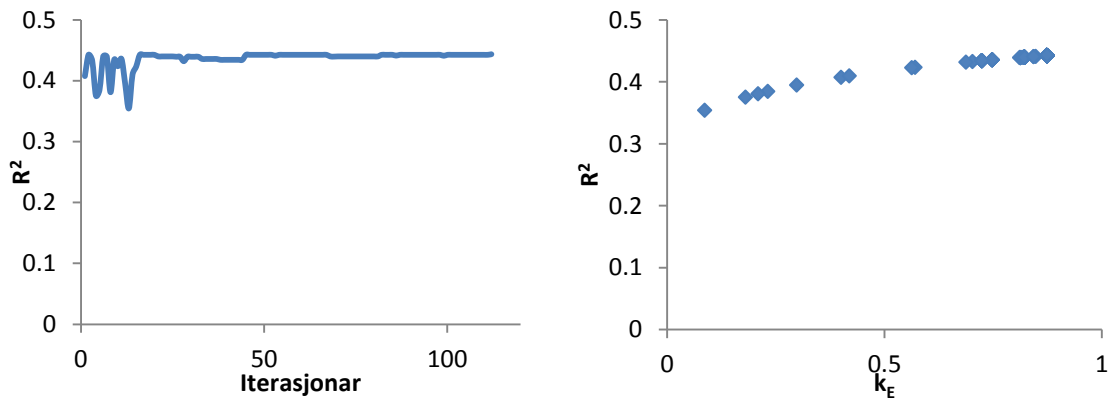
Tabell 4.5 viser R^2 –verdier for feltene i regionen når gjennomsnittlig R^2 –verdi er best.

 Tabell 4.5, R^2 -verdi for enkeltfelt med beste gjennomsnittlig R^2 -verdi for regionen

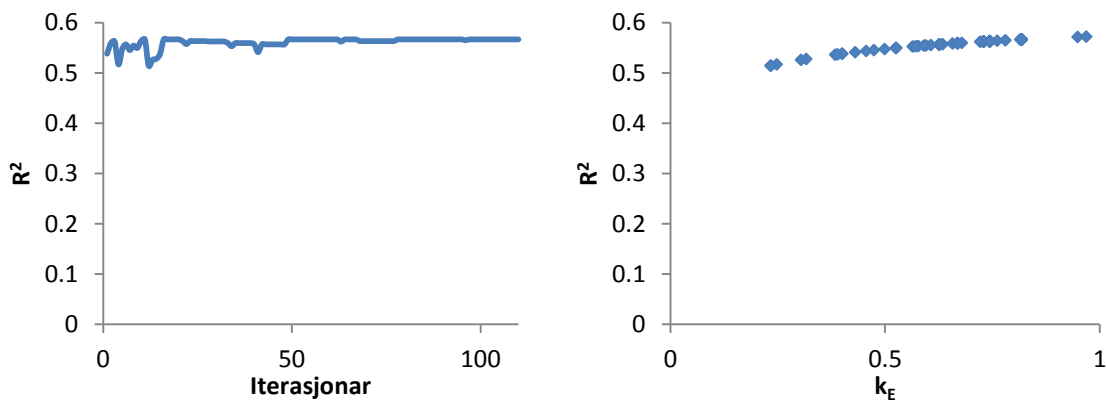
Felt	HBV	Kirchner 3 parametrar	Kirchner 2 parameter	Frå Parametrer Estimator
Kløvtveitvatn	0.5394	0.5059	0.4852	0.3877
Målset	0.5231	0.5333	0.5360	0.3367
Svartavatn	0.4605	0.4805	0.5000	0.3208
Bulken	0.8123	0.8328	0.8287	0.5381
Røykenes	0.5609	0.5901	0.6034	0.0905
Hølen	0.7717	0.7647	0.7683	0.5361
Sandvenvatn	0.6316	0.6686	0.6687	0.4075
Djupevad	0.4249	0.4541	0.4605	0.1593
Stordalsvatn	0.7784	0.7499	0.7313	0.4277
Holmen	0.7286	0.7252	0.7326	0.3210

Kolonnen ”Frå Parameter Estimator” viser resultatet av å sette parametrane som vart estimert frå Parameter Estimator for kvart felt inn i ENKI modellen. I tabell 4.5 er k_E konstant lik 0.4.

Når Kirchner (2009) brukte estimerte parametrar i sensitivitetsfunksjonen til å finne simulert kalibrerte han k_E . I plotta presentert under, er k_E slept fri for nedbørfelta Sandvenvatn og Bulken. I kalibreringane er alle andre parametrar konstante.



Figur 4.17 Kalibrering av k_E for Sandvenvatn



Figur 4.18 Kalibrering av k_E for Bulken

Tabell D.2, vedlegg D, viser høgast oppnådde R^2 -verdi for alle felta i regionen gjennom kalibreringsprosessane av HBV –modellen si responsrutine og Kirchner si responsrutine med 3 og 2 parametrar. Tabell 4.6 under viser kor stor prosent av den optimale R^2 -verdien som er tapt for kvart felt som følgje av at regionen er kalibrert under eitt og ikkje for kvart felt.

Tabell 4.6, Prosent R²-verdi tapt på grunn av regionalisering

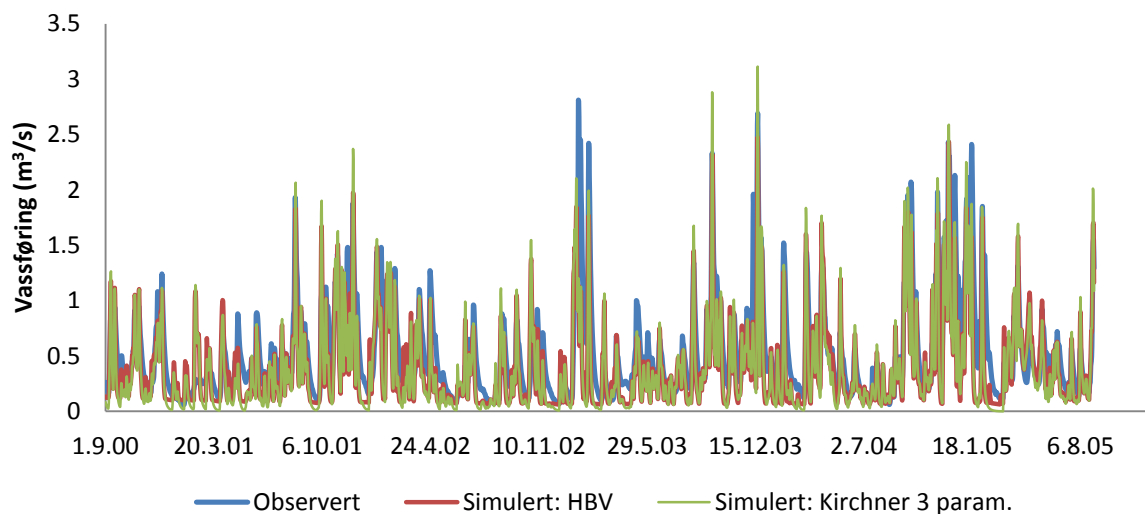
Felt	HBV- modellen	Kirchner 3 parametrar	Kirchner 2 parametrar
Målset	0	8 %	8 %
Holmen	1 %	2 %	0
Hølen	4 %	7 %	6 %
Djupevad	9 %	21 %	20 %
Sandvenvatn	1 %	3 %	1 %
Svartavatn	3 %	13 %	15 %
Røykenes	3 %	14 %	10 %
Stordalsvatn	5 %	9 %	11 %
Kløvtveitvatn	20 %	23 %	28 %
Bulken	1 %	1 %	2 %
Gjennomsnitt (middel av optimalkombinasjonar i forhold til middel beste regionalisering)	5 %	9 %	10 %

4.6.2 Resultat frå simulering

Resultata frå nedbørfelta Kløvtveitvatn og Bulken er presentert i avsnitt 4.6.2.1 og 4.6.2.2. Resultata frå dei andre felta i regionen er presentert i vedlegg E. Detaljar fins i rekneark i digitale vedlegg.

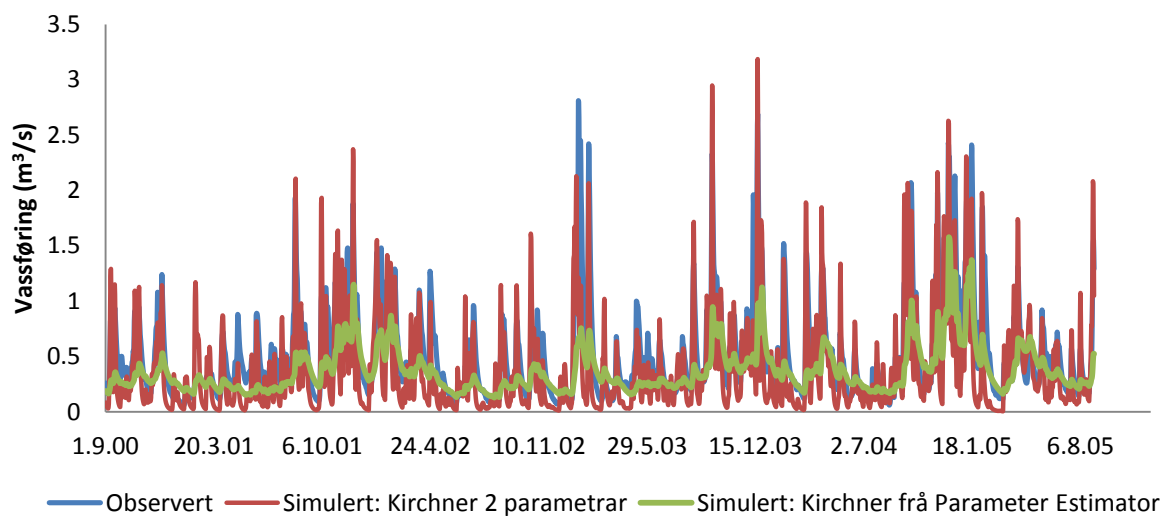
4.6.2.1 Kløvtveitvatn

Figur 4.19 viser observert og simulert vassføring med HBV –modellen og Kirchner kalibrert med 3 parametar for Kløvtveitvatn. Figur E.1 viser eit meir detaljer plott for det hydrologiske året 2000/2001.



Figur 4.19 Observert og simulert vassføring med HBV- modellen og kalibrert Kirchner med 3 parametar, Kløvtveitvatn

Figur E.2 visert eit meir detaljert plott for 2000/2001, tilsvarande figur 4.20.



Figur 4.20 Observert og simulert vassføring med Kirchner kalibrert for 2 parametar og Kirchner med estimerte parametar frå Parameter Estimator, Kløvtveitvatn

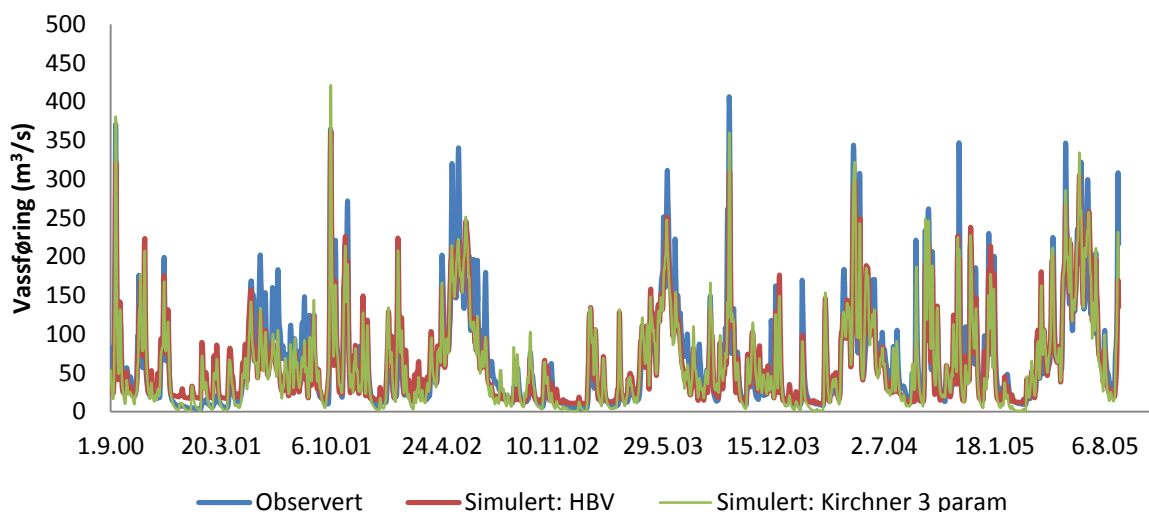
Tabell 4.7, Kvadrert korrelasjon mellom tidsseriar, Kløvtveitvatn

	Simulert: HBV- modellen	Simulert: Kirchner 3 parametrar	Simulert: Kirchner 2 parametrar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
Observert	0.65	0.65	0.65	0.64
Simulert: HBV- modellen		0.97	0.97	0.40
Simulert: Kirchner 3 parametrar			1.00	0.39
Simulert: Kirchner 2 parametrar				0.37

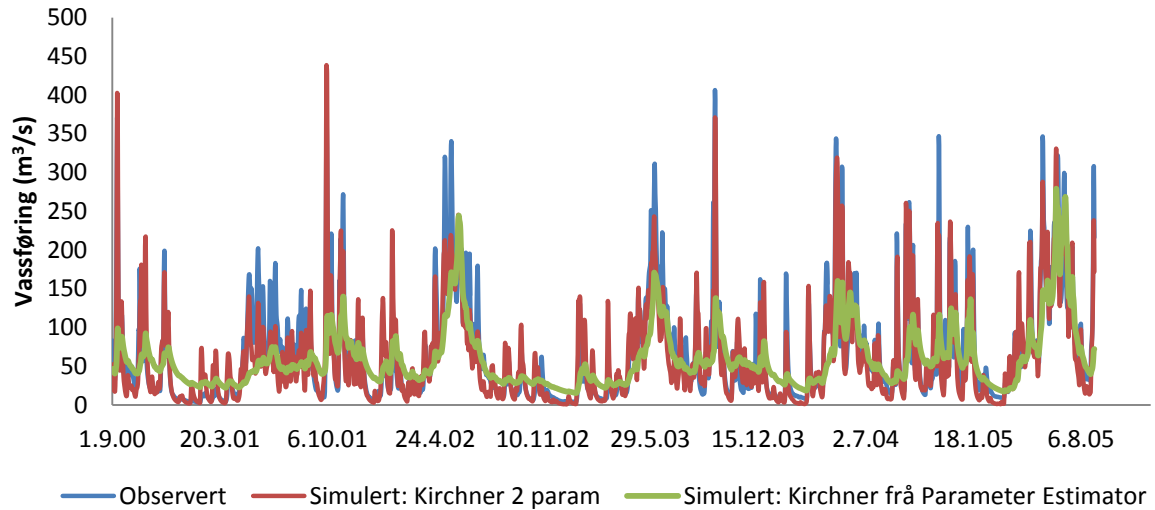
Tabell 4.8, Vassbalanse: simulert vassføring (m³/s) for 5 hydrologiske år, Kløvtveitvatn

Observert vassføring	Simulert: HBV- modellen	Simulert: Kirchner 3 parametrar	Simulert: Kirchner 2 parametrar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
976	724	698	698	676
	74 %	72 %	72 %	69 %

4.6.2.2 Bulken



Figur 4.21 Observert og simulert vassføring med HBV- modellen og kalibrert Kirchner med 3 parametrar, Bulken



Figur 4.22 Observert og simulert vassføring med Kirchner kalibrert for 2 parametrar og Kirchner med estimerte parametrar frå Parameter Estimator, Bulken

Tabell 4.9, Kvadrert korrelasjon mellom tidsseriar, Bulken

	Simulert: HBV- modellen	Simulert: Kirchner 3 parametrar	Simulert: Kirchner 2 parametrar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
Observert	0.81	0.84	0.83	0.57
Simulert: HBV- modellen		0.96	0.96	0.62
Simulert: Kirchner 3 parametrar			1.00	0.59
Simulert: Kirchner 2 parametrar				0.57

Tabell 4.10, Vassbalanse: Total simulert vassføring (m³/s) for 5 hydrologiske år, Bulken

Observert vassføring	Simulert: HBV- modellen	Simulert: Kirchner 3 parametrar	Simulert: Kirchner 2 parametrar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
120 185	115 648	112 099	112 023	108 712
	96 %	93 %	93 %	90 %

5. Diskusjon

5.1 Simulerte felt

5.1.1 Regulerte felt og felt som ikkje er med i diskusjonen om korrelasjon

Av dei 29 felta frå 3.1.2 *Data til Parameter Estimator*, som i utgangspunktet skulle vere uregulerte, har gjennomgangen i resultatdelen vist at sju av felta er regulerte. I regulerte felt er ikkje vassføringa berre ein funksjon av lagringa i feltet, men også menneskestyrte lagringar eller overføringar av vatn. Dermed er ikkje vilkåret for Kirchner (2009) sin metode oppfylt eventuelt berre delvis oppfylt.

Dei sju felta er: Lo bru, Eidevatn, Storsjøen, Vassbygdvatn, Bergheim, Glåmos bru og Næverdalen. At felta er regulerte viser også resesjonsplota for felta; det er liten variasjon i utplukka data. Figur 4.3, resesjonsplot for Lo bru, er typisk for regulerte felt; utplukka data er konsentrert over eit smalt intervall av vassføring, Q (mm/hr). Dette kan resultere i store standardavvik som det er vanskelig å tilnærme ei likning til, sjå til dømes Glåmos bru, figur B.36. Andre regulerte felt har målingar konsentrert i eit intervall, men også nokre målingar utanfor dette intervallet. Næverdalen, figur 4.8, viser eit slikt resesjonsplot, der det fins nokre låge vassføringar utanfor det konsentrerte intervallet. Dei små vassføringane kan få relativt stor innverknad på tilnærminga av sensitivitetsfunksjonen og bidra til at den blir krum, sjå til dømes figur B.32, resesjonsplott for Bergheim. Regulerte felt kan også sjå tilnærma naturlege ut, til dømes vedlegg B.11, Eidevatn.

Plott som viser simulert og observert vassføring frå felta i vedlegg B, viser at observert avrenning i dei regulerte felta er karakterisert med brå toppar og/ eller lange periodar med konstant vassføring. Observert vassføring for Glåmos bru, figur B.23, viser tydelig at feltet er regulert med konstante vassføringar over tid og brå endringar. Mange av dei regulerte felta får dårlige resultat med simuleringar i *Parameter Estimator*; verken dynamikk eller timing i simulerte data stemmer med observerte data, sjå til dømes figur B.18, Bergheim. Mange av dei regulerte felta er ikkje mulige å simulere. Utifrå at det grunnleggane vilkåret for Kirchner sin metode ikkje er oppfylt, er resultatet som forventat; Kirchner sin metode fungerer ikkje for regulerte felt.

Resesjonsplottet for Nybergsund, vedlegg B.29, liknar eit resesjonsplot frå eit regulert felt. Utplukka data ligg i eit smalt intervall av Q (mm/hr) og nokre få låge vassføringar utanfor intervallet får stor vekt og gir ein veldig krum sensitivitetsfunksjonen, sjå figur B.45. Feltet er påverka av ei regulering og inneheld ein stor innsjø (Femunden), noko som kan bidra til å forklare den dårlige representasjonen. Den store innsjøen kan forklare det smale utvalet av vassføringar; innsjøen dempar store flommar og tilfører vatn i tørkeperiodar. På grunn av sterk krumming frå låge vassføringar er sensitivitetsfunksjonen lite representativ for nedbørfeltet, og er ikkje med i vurderinga av optimal form på sensitivitetsfunksjonen.

For nedbørfeltet Fønnebofjord, vedlegg B.19, blir berre 1 % av vassføringsserien for feltet plukka ut, og verdiane som er plukka ut har stor spreing i resesjonsplottet. Dette gir

store standardavvik og problem med å tilpasse ei representativ likning, sjå figur B.30. Tilpassinga er så dårlig at sensitivitetsfunksjonen til Fønnebofjord heller ikkje er med vidare i vurderinga av sensitivitetsfunksjonen si form. Bakgrunnen for det dårlege resultatet kan vere målestøy i tidsseriane eller at klimadata bidreg til få utplukka datapunkt, til dømes at det er nedbør kontinuerlig heile sommarhalvåret.

5.1.2 Uregulerte felt

Av dei uregulerte felta er to felt er påverka av mindre overføringar; Viveli og Sandvenvatn. Tre felt er påverka av mindre magasinerings; Hølen, Brekke bru og Bulken. Felta blir likevel karakteriserte som uregulerte i den vidare diskusjonen. Det ligg likevel bak at dette kan vere medverkande årsak ved eventuelt rare resultat frå felta.

Mange av resesjonsplotta frå Parameter Estimator har horisontale, blå striper ved låge vassføringar, sjå til dømes Holmen, figur 4.1, og Kløvtveitvatn, figur 4.6. Linjene kjem truleg av grov oppløysning i vassføringsmålingar, spesielt ved låge vassføringar. Ein del resesjonsplot har også diagonale striper med utplukka data, sjå til dømes Sandvenvatn figur 4.4, og Bulken, figur 4.7. Desse stripene er det vanskeligare å finne årsaka til. Utvalet av data skal i utgangspunktet vere heilt tilfeldig. Utplukket er basert på vassføringsdata frå NVE, og ei mulig forklaring er at NVE har brukt ein hydrologisk modell for å fylle ut manglande data, eller uroa kan komme av stokastisk variasjon og målestøy, spesielt over korte intervall mellom tidsmålingar (Kirchner, 2009).

Dei fleste resesjonsplotta viser størst spreiding ved låge vassføringar, til venstre i plotta. Dette gjeld til dømes Djupevad, figur 4.2, og Røykenes, figur 4.5. I følgje Kirchner (2009) er det minst fire årsaker til dette; tilfeldig målestøy, grov oppløysning i vassføringsmålingar, effektar av nedbør eller fordamping som fins men er for små for kunne målast direkte og forskjellen mellom nedbørfeltet i røynda og det idealiserte dynamiske systemet. Årsakene gir større spreiding i $\log(-dQ/dt)$ ved tidspunkt når Q og $-dQ/dt$ er små, enn når Q og $-dQ/dt$ er store.

Nokre tilpassingar av sensitivitetsfunksjonane gir veldig krumme funksjonar, med store første- og andregradsleddet. For til dømes Kløvtveitvatn, figur 4.6, får låge vassføringar relativt stor vekt, som resulterer i ein krum sensitivitetsfunksjon. At relativt få vassføringsdata får stor innverknad på sensitivitetsfunksjonen, kan bli ei utfordring. Når funksjonen skal brukast til å simulere vassføring, må den ekstrapolerast for å simulere vassføringar som er større enn tørke situasjonen sensitivitetsfunksjonen er basert på, og ei urealistisk stor krumming kan føre til at avvika for flomtoppene blir store. Utfordringa vil bli diskutert vidare og vurdert mot kalibrert likning for feltet. Diskusjonen vil også vurdere om Parameter Estimator tek for mykje omsyn til dei låge vassføringane i slike situasjonar og om ei mindre krum likning hadde gitt eit betre resultat.

Krava til P_{Back} i utplukket av data er konsekvente i forhold til areal; areal som er om lag like store har same P_{Pack} krav. For ein del felt representerer P_{Back} relativt lange periodar, til dømes 48 timar som krev to døgn utan nedbør. Som nemnt under 3.1.2 *Data til Parameter Estimator* er nedbørdata eigentleg døgndata som er omgjort til timesdata.

Det vil seie at om det i røynda berre er regn ein i ein time i løpet av eit døgn, er dette fordelt på alle 24 timane av døgnet. Dermed må ein over 24, 48 osv. timar for at endringar i P_Back skal ha effekt.

Dersom kriteria til utplukket av data er for strenge vil det bli lite data igjen til å estimere $g(Q)$ frå. For slappe kriterium kan auke bidrag av snøsmelting og fordamping, og føre til høvesvis ei overestimering og underestimering av $g(Q)$ (Teuling et al., 2010). I gjennomsnitt vart 11 % av dei totale tidsseriane i utplukket basert på klimadata plukka ut. Til samanlikning plukka Teuling et. al. (2010) sine tre kriterium ut 8 % av verdiane. Utplukket ved bruk av Parameter Estimator og oppgitte P_Back -verdiar, verkar noko mindre restriktivt enn Teuling et. al. (2010) sitt resultat., men er i same størrelsesorden. At berre om lag 10 % av målingane i tidsseriane kan nyttast, kan gjere det til ei utfordring å få nok data om tidsserien er kort. Å nytte Kirchner si rutine for eit nedbørfelt, krev såleis relativt lange tidsseriar for vassføring, nedbør og temperatur.

Nash –verdien som Parameter Estimator oppgir, kan ikkje direkte nyttast til å objektivt vurdere simuleringane frå Parameter Estimator opp mot kvarandre. Flomtoppar får stor innverknad på målfunksjonen. For å vurdere kvaliteten til simuleringane, ynsker ein først og fremst å studere resesjonperiodane som simuleringa er basert på. Dette hadde komme betre fram med i $\ln -\ln$ plott, med $\ln R^2$ som målfunksjon. Vurderingane av godt og dårleg simulerte felt, er først og fremst gjort subjektivt frå plott over observert og simulert vassføring. Simuleringane frå Parameter Estimator simulerer berre sommarhalvåret og vassbalansen kan dermed vere ustabil, sjå vidare diskusjon.

Plotta som viser simulert og observert avrenning frå Parameter Estimator i vedlegg B, viser at Kirchner sin metode gir relativt gode resultat for nokre felt, mens for andre stemmer verken dynamikk eller timing i simuleringa. Dømer på relativt godt simulerte felt er Holmen, figur B.7 og Røykenes, figur B.27. Modellen som er innebygd i Parameter Estimator bygger berre på den estimerte sensitivitetsfunksjonen og tidsseriar for nedbør og temperatur, og simulerer vassføringa for perioden som er oppgitt som snøfri. Modellen er ikkje ein fullverdig hydrologisk modell; den har verken snø- eller fordampingsrutine. Ettersom simuleringssperioden er sommarhalvåret, kan ein ikkje venta at endringa i lagring i vassbalansen er null. Dermed må ein rekne med at vassbalansen er avhengig av endringa i lagring, utan at dette blir tatt omsyn til. Dersom det fins snø i nedbørfeltet når simuleringssperioden tek til 1.juni, vil ikkje modellen kunne berekne dette. Den simulerte avrenninga blir dermed mindre enn den observerte, som inkluderer smeltevatnet. Starten for sommarperioden er satt til 1. juni og ikkje til dømes 1.mai, for å redusere effekten. Konsekvensen av smeltevatnet er blant anna synleg ved at mange simuleringar blir betre ut over sommaren, sjå til dømes figur B.2, simulert og observert avrenning for Målset.

For ei lang rekke felt er det store avvik mellom observert og simulert vassføring, sjå til dømes figur B.16 som viser simulert og observert avrenning for Borgåi. Årsakene til dette kan vere støy i måldata, feil i utplukk av data til resesjonsperiodane, inndeling i intervall der uteliggjarar får stor vekt eller dårleg tilpassa sensitivitetsfunksjon. Ei anna feilkjelde er kvaliteten på timesdata som er brukt. For å teste ut metoden, treng ein uregulerte

naturlege felt, men ein del av felta som er presentert er påverka av mindre reguleringar som kan få konsekvensar. Avvika kan vere påverka av at Parameter Estimator ikkje er ein fullverdig hydrologisk modell, eller at avrenninga frå felta ikkje berre er avhengig av lagringa i feltet.

Resultata frå Parameter Estimator stemmer lite overeins med Kirchner (2009) sine resultat. Han oppnådde god korrelasjon mellom observert og simulert vassføring, med R^2 -verdiar frå 0.795 til 0.931. I den fordelte strukturen i ENKI vil parametrane frå Parameter Estimator bli vurdert i ein fullverdig hydrologisk modell, og ein har eit betre grunnlag å vurdere skilnadane på. Formålet med resultata frå Parameter Estimator er først og fremst å studere resesjonsplotta og parametrane i sensitivitetsfunksjonane.

5.2 Korrelasjon

Tabell 4.1 viser korrelasjonen mellom parametrane estimert i Parameter Estimator og parametrar som kan bestemmast frå kart og anna tilgjengelig materiell. Den høgaste oppnådde korrelasjonen er 0.63 mellom skogprosent og konstantleddet, C_3 . Dei oppnådde korrelasjonane er så låge at ein ikkje kan seie at parametrane i sensitivitetsfunksjonane har nokon direkte, lineær samanheng med dei fysiske parametrar. Estimerte parametrar i Parameter Estimator skildrar ei matematisk likning som er karakteristisk for feltet og har lita eller inga fysikk meining. Det er mulig at parametrane har samanheng med andre fysiske parametrar enn dei som er presenter i denne oppgåva.

Figur 4.9 viser dei estimerte parametrane for alle felta plotta mot kvarandre. Det er tydeleg samanheng mellom dei i plottet, vist med grønne linjer. Korrelasjonen mellom parametrane er høg, særskilt mellom C_1 - C_2 og C_2 - C_3 . I berekninga av korrelasjonen har alle felta som er med i vurderinga lika stor vektning. Det vil seie at felt der sensitivitetsfunksjonen representerer feltet på ein god måte har like stor vekt som eit felt som er dårleg representert. Vedlegg C viser eit forsøk på å dele simuleringane frå Parameter Estimator inn i to kvalitetsklassar; bra og dårleg simulerte felt. Inndelinga gav ikkje ny informasjon i undersøkinga av korrelasjon mellom parametrane og form på sensitivitetsfunksjonen.

Med tanke på at Kirchner sin modell ikkje har noko routingruine, skulle ein kanksje venta at arealet var ein avgjerande faktor for kor god simuleringa vart. For dei simulerte felta verkar imidlertid ikkje dette å ha nokon direkte samanheng. Nedbørfeltet med det største arealet, Bulken på 1094 km², er blant dei best simulerte felta. Sørkja på 36 km² er derimot blant dei dårlegast simulerte. Kanskje er ikkje 1000 km² stort nok til at effekten av ei routingrutine er spesielt stor, eller så er feilkjelder som dårlig utplukk av data, inndelign i intervall eller lite representativ sensitivitetsfunksjon, meir avgjerande enn arealet åleine.

Høg korrelasjon mellom parametrane i sensitivitetfunksjonen betyr at parametrane er avhengige av kvarandre. Parametrane er meir avhengige av dei andre parametane i lininga, enn fysiske parametrar ved nedbørfeltet. Parametrane representerer berre eit bestemt felt, eller eit datasett. Avhengighet mellom parametrane er noko ein ynskjer å unngå, då samanheng mellom dei kan gi stor parameteruvise. Dette er velkjent frå

multippel regresjon; om forklaringsvariablane er sterkt avhengige vil koeffisientane ha store konfidensintervall (Kolberg, pers. med.). For å nytte Kirchner sin modell i regionalisering og kalibrering, ynskjer ein å sette erfaringsbaserte kalibreringsintervall som det til dømes fins for HBV –modellen. Med høg korrelasjon mellom parametrane gir dette liten eller ingen nytte; ein veit ikkje som det er måledata eller intervallgrensene som bestemmer resultat.

Ein strategi for redusere samanhengen mellom parametrane, er å redusere talet på parametrar likninga bygger på. Resultata har vist at det ikkje er nok informasjon i datasetta til å estimere tre uavhengige parametrar til den kvadratiske funksjonen Kirchner (2009) argumenterte for. Neste steg blir då å redusere funksjonen til ei lineær likning, for å forsøke å redusere samanhengen mellom parametrane. Figur 4.11 viser sensitivitetsfunksjonane for alle nedbørfelta. Figuren viser at fleire av likningane er tilnærma lineære. Borgåi er lineær ($C_1 = 0$), Stordalsvatn og fleire andre med låge C_1 og C_2 verdiar er tilnærma lineære. Kløvtveitvatn, Narsjø og Sørkja har størst avvik frå den lineære tilnærminga. Sensitivitetsfunksjonen til Kløvtveitvatn er tidlegare diskutert som relativt lite representativ; låge vassføringar får stor vekt og påverkar tilnærminga. Som nemnt, vil dette bli vurdert vidare etter kalibreringsprosessen i ENKI.

Presenterte resultata er i tråd med resultata SINTEF Energi, ved Tøfte og Kolberg, har komme fram til; det er ikkje nok informasjon i data settet til å tilnærme ein kvadratisk funksjon. I arbeidet har Tøfte og Kolberg nytta innstillinga med faste intervall i Parameter Estimator, og komme fram til at korrelasjonen mellom parametrane også på denne måten er høg. Som skildra under Teori, jobbar SINTEF Energi med å undersøke konsekvensane å redusere sensitivitetsfunksjonen til ei lineær likning.

5.4 Simuleringar utan bruk av klimadata

Ved bruk av algoritma som plukkar ut data til resesjonsperiodane kun utifrå avrenningsdata, blir det plukka ut vesentleg fleire verdiar enn i utplukket basert på klimadata. For utplukket med klimadata vart i gjennomsnittsnitt 11 % av data plukka ut, mens for utplukket utan klimadata blei 44 % av datane plukka ut. For slappe krav til utplukket av data til resesjonsperiodane kan auke bidrag av snøsmelting og fordamping, og føre til underestimering av $g(Q)$. Når metoden ikkje nyttar nedbørdata til å bestemme resesjonsperiodar, kan utplukket få med seg vinterperiodar der nedbøren fell som snø og dermed ikkje genererar auke i avrenning. Dersom det til dømes snør om hausten, fram til vintersesongen tek til 01.november, vil dette bli vurdert som ein tørke periode ettersom vassføringa minkar, og alle data i denne perioden vil bli plukka ut.

Figur 4.11 viser ikkje noko fast mønster med tanke på at den eine måten å plukke ut data på konsesvent resulterer i høgare eller lågare verdiar for dei tre estimerte parametrane. At fleire datapunkt blir plukka ut verkar å ha ulik påverkan på ulike felt. Dette kjem også fram gjennom at korrelasjonen mellom parametrane estimert basert på dei to metodane er relativt låg (0.46).

Tabell 4.2 viser at korrelasjonen er som tidlegare, relativt låg mellom parametrane og fysiske parametrar ved felta. Ingen spesiell samheng med fysiske parametrar er funnen. Korrelasjonen mellom parametrane i Kirchner sin modell er litt lågare enn med klimadata, med fortsatt relativt høg. Dette er i tråd med resultatane frå simuleringane med klimadata; parametrane er ikkje uavhengige av kvarandre; dei er meir avhengige av dei andre parametrane i likninga enn fysiske eigenskapar ved felta.

For Djupevad blir sensitivitetfunksjonen endra frå $0.07\ln(Q)^2 + 1.54\ln(Q) + (-3.39)$ med klimadata til $0.11\ln(Q)^2 + 1.83\ln(Q) + (-2.99)$ utan, sjå figur 4.12. Krumminga på likninga aukar som følgje av utplukka utan klimadata. Ei større kruming inneber lågare lagringskapasitet, slik at feltet raskare blir tømmt for flomvatn og kjem raskare ned på låg vassføring. Utanom eit området ($\ln(Q)$ -5 til -2), blir verdiane for $g(Q)$ blir større i utplukka utan klimadata enn i utplukka med klimadata. Høgare $g(Q)$ verdiar gjer at funksjonen er meir sensitiv for endringar i lagring (Kirchner, 2009).

Ei subjektiv vurdering av plott frå Parameter Estimator kan ikkje påvise at utplukk utan klimadata gir dårlegare simuleringar enn utplukk basert på klimadata. For å kunne konkludere med at å plukke ut data utan bruk av klimadata gir gode resultat, må resultatane frå Parameter Estimator vurderast nøye i ein fullverdig hydrologisk modell og over ein lengre periode enn ein sommar. Dette er ikkje studert vidare i denne oppgåva.

I områder utan målingar av nedbør og temperatur kan denne metoden gi eit grovt estimat av parametrane i sensitivitetfunksjonen. I områder med dårlege/ lite representative klimadata kan det også fungere. Metoden krev mindre inputdata, og er derfor raskare å bruke om ein raskt vil vurdere eit nedfelt med Kirchner sin metode. Ein bør i tilfeller utan samanlikningsgrunnlag, vere klar over at utplukka er svært lite restriktivt og at dette kan føre til ei underestimering av $g(Q)$. Felt som gjev dårlege resultat med den originale modellen kan til dømes ha dårlege eller ikkje-representative nedbørdata, og derfor bli betre når ein heilt utelet å bruke dei ved filtreringa.

5.5 ENKI

5.5.1 Kalibreringsprosessen

I kalibreringsprosessen forsøker optimaliseringa i ENKI å søke mot god vassbalanse og heile tida å forbetre simuleringane for det dårlegaste feltet. For at å unngå at kalibreringsprosessen skal ta alt for lang tid, er derfor dei tre dårlegaste simulerte felta erstatta med missing kodar. Optimaliseringa brukar då ikkje tid på å optimalisere felta. Vivali som gir R^2 verdiar rundt -0.57 (HBV –modellen), har bra vassbalanse, men sein simulert vårflom. Dette ser ikkje ut til å vere tilfellet for dei andre nedbørfelta i regionen. Halledalsvatn med R^2 verdiar rundt 0 og Brekke bru med R^2 –verdiar rundt 0.27, er også tatt vekk. For Brekke bru og Halledalsvatn er ikkje vassbalansen i orden, både HBV-modellen og KirchnerMod simulerer under halvparten av vatnet som er målt i feltet. Å ikkje ta omsyn til felta er ei enkel løysing, men regionen inneheld fortsatt 10 målestasjonar for vassføring, som gir mykje data å analysere. Sjå figur D.1 som viser eit kalibreringsforsøk for alle 13 felta i regionen.

Ei forklaring på dei store avvika i vassbalansen kan vere at areala i rasterfila Delfelt ikkje representerer det verkelege nedbørfeltet til målestasjonen. Felt som ligg oppstøms det målte feltet og drenerer til feltet påverkar målingane, men kan ha eit anna ID nummer i rasterfila. Dette er manuelt endra for felta i regionen, men feil kan oppstå. For Halledalsvatn er det ikkje sikkert heile nedbørarealet er med i regionen, då feltet ligg heilt aust ved grensa til regionen. For små felt kan cellestørrelsen spele inn på vassbalansen. Til dømes er Kløvtveitvatn som har eit areal på 4.5 km^2 er prepresenterer 4 cellar à 1 km^2 i modellen, ein differanse på 11 %.

Dersom areala i rasterfila er rett, kan avvika komma av uvisse i komponentane i vassbalanselikninga; nedbør, fordamping eller lagring. For å tvinge vassbalansen på plass har ein tradisjonelt tydd til empirisk korrelasjon av nedbør ($P_{\text{kor}}/S_{\text{kor}}/P_{\text{grad}}$). Uvisse i vassføringsmålingar basert på vassføringskurver er gjerne 5 % for ein godt oppmålt stasjon, 10 % dersom grunnlaget er dårlegare. Slike avvik er systematiske feil, og blir ikkje jemna ut over tid. I nedbørmålingar, utan skikkelig vindkorrelasjon, kan feilen komme opp i 50 % for døgndata. Desse avvika er meir tilfeldige, og kan kansellerast ut for langtidsvassbalansen. I tillegg kjem feil i representativitet, som særleg på Vestlandet med store gradientar, kan vere dårleg. Simuleringane går over 5 hydrologiske år, og ein kan derfor anta at lagringa, dS , blir tilnærma null i langtidsvassbalansen. Både HBV-modellen og KirchnerMod nyttar same potensielle fordamping gjennom HydraEP, aktuell fordamping kan imidlertid variere. Sett i lyset av dette kan relativt store avvik forklarast, men Halledalsvatn og Brekke bru har fortsatt så store avvik at dei ikkje er med vidare i kalibreringa.

Figur 4.13 og 4.14 viser samanhengen mellom R^2 -verdiar og parametrane som er optimalisert i kalibreringa av HBVSnow. Plotta viser at kvaliteten på simuleringane er mest sensitiv for endringar i T_x , vist til høgre i figur 4.14. T_x er omslagstemperaturen mellom snø og nedbør. Mange av nedbørfelta i regionen er kystfelt som er karakterisert med flommar/ smelteepisodar gjennom heile vinteren. Dette gjer at omslagstemperaturen snø/regn ofte er i bruk, og får stor innverknad på kvaliteten av simuleringane. Nedbørfelt i høgfjellet passerer kanksje berre omslagstemperatuen eit par gonger på eit år; om hausten i omslaget regn/snø og om våren frå snø til regn. Når omslagstemperaturane berre blir "brukt" eit par gonger i året, har verdiane ikkje så stor innverknad på resultatet. T_x har stor innverknad på felta i ENKI regionen og derfor er denne parameteren slept fri i kalibreringa av responsrutinene.

Tabell D.1 som viser resulta frå kalibreringa av HBVSnow, viser at C_x er noko høgare for Kirchner sin modell enn HBV-modellen. C_x er daggradssfaktoren som bestemmer kor mykje snø som smeltar per grad og dag. Ein lågare C_x verdi gir mindre og seinare flomtoppar, då smelteprosessen tek lenger tid. CFR er høgare for HBV-modellen. CFR representerer tilfrysing av vatn i snømassene. T_s er relativt mykje høgare for HBV – modellen enn KirchnerMod. T_s er ein grense verdi for når smelting oppstår. Lågare temperatur gir mindre og tidlegare flomtoppar. At dei optimaliserte verdiane varierer noko, kan ha samanheng med dei ulike føresetnadane modellane bygger på. Kalibreringa

av HBVSow er utført på kalibrerte parametersett for resesjonlikningane, som deretter er kalibrert igjen basert på resultata i tabell D.1 og fri T_x .

Figur 4.15 viser korleis gjennomsnittleg R^2 -verdi for regionen i kalibreringa av Kirchner sin modell med 3 parametrar utvikla seg. Svingingane i R^2 -verdi er store, sjølv om K_2 er relativt stramt bestemt. Svingingane går ned til R^2 -verdi minus 10^6 . Etter ca. 200 iterasjonar ser kalibreringa ut til å stabilisere seg på i overkant av R^2 lik 0.60. Ved 260 iterasjonar dett imidlertid verdien betydelig. Ved studier av figur D.5 og digitalt vedlagt Excelfil, er det klart at parameterkombinasjonen i denne iterasjonen er svært uheldig for feltet Holmen, som dreg ned den gjennomsnittlege R^2 -verdien. Det store fallet i R^2 -verdi for Holmen vitnar om stor parameteruvisse; små endringar i parametersettet kan gje store utslag for enkelt felt og/eller regionen. Etter om lag 300 iterasjonar stoppa kalibreringa og beste parametersett til då er nytta som optimalt parametersett.

Kalibreringsgrensene for Kirchner sin modell med kvadratisk sensitivitetsfunksjon er erfaringsbasaerte; dei bygger på gjennomsnittverdiar av parametrane for felta frå Parameter Estimator. Gjennomsnittet for alle parametrane er med i intervalla, mens grensene rundt gjennomsnitta er satt med ulike formål. I intervallet for andregradsleddet er nedre grense satt for å få med null, i tilfellet optimum fins ved ei lineær linking. Øvre grense er satt relativt låg for å få eit smalt intervall. Forsøk med større intervall for andregradsparameteren, gav store utslag, med over 10^6 avvik i R^2 . Intervallet for førstgrads- og konstantleddet er satt for å forsøke å få med yttergrensene av estimerte parameterar frå Parameter Estimator. På grunn av det smale intervallet for andregradsleddet og ein del innskrenkingar i intervalla for dei andre parametrane etter kvart, er det for ein del felt ikkje mulig å komme til same resultat som i Parameter Estimator, då nokre parametrar ligg utanfor kalibreringsintervalla.

Ved å sette kunnskapsbaserte, relativt smale intervall må ein akseptere at konklusjonane av kalibreringa er betinga av vala. Ein kan ikkje slå fast om det er måledata eller intervallgrensene som har bestemte resultatata. Det ein kunne gjort var å starte med store intervall og undersøke kor mykje informasjon om parametrane som ligg i data og målfunksjonar. På grunn av dei store svingingar i målfunksjonane ved større intervall, vart intervalla redusert til kunnskapsbaserte intervall. Ved å sette kunnskapsbaserte intervall må ein akseptere at resultatet er avhengig av intervallgrensene.

Plotta i figur 4.16 viser tydelege toppar for dei ulike kalibrerte parametrane i kalibreringa av Kirchner sin modell med kvadratisk sensitivitetsfunksjon. K_2 har ein topp mellom 0.05 og 0.1. K_1 ein topp ved i overkant 0.5, og K_0 i underkant av -3.5. Dette stemmer med parametrane i tabell 4.3 som gir den beste tilpassinga med målfunksjonen R^2 , målt som gjennomsnittsverdiar for regionen. Ved studium av plotta i figur 4.16 må ein vere klar over den høge korrelasjonen mellom parameterane. Dersom ein sett inn yttergrensene for K_2/C_1 i regresjonslikningane som er presentert under 4.3 *Korrelasjon mellom parametrar frå Parameter Estimator*, kan ein berekne intervall for K_1/C_2 og K_0/C_3 . Ved å bruke likningane blir intervallet for C_2 frå 1.02 opp til 1.82, og for C_3 -4.78 til -3.78, berekna

med R^2 på 0.86 og 0.81. At ikkje intervalla ikkje stemmer med plotta i figur 4.16 viser at kalibreringa også er påverka av andre faktorar enn korrelasjonen mellom parametrane.

Vedlegg D, avsnitt D.1 og D.3 viser tilsvarende plott for kalibreringa av høvesvis HBV – modellen si responsrutine og KirchnerMod med 2 parametrar. Svingingane for R^2 i kalibreringa av HBV -modellen er langt mindre enn for kalibreringane av KirchnerMod, figur 4.15 og vedlegg D. Svingingane i kalibreringa av Kirchner si responsrutine er mykje mindre når andregradsleddet er låst til null; frå å svinge mange tidals tusen i R^2 verdi, varierer no verdien mellom -0.8 og 0.60.

Sensitivitetsplotta i figur D.3, viser at kvaliteten på kalibreringane i HBV –modellen er lite avhengige av K_1 , K_0 , Tres, LP, perc og Beta. K_2 , øvre sone i HBVResponse, ser ut til å ha størst innverknad på kvaliteten av simuleringane. K_2 kunne vore større, slik at ein fikk med toppen som ser ut til å ligge til høgre, over 0.6. Det fins nokre punkt ved K_2 om lag lik 0.7 som er under toppunktet, men det er vanskelig å sjå om dette er som følgje av endringar i andre parametrar eller om toppunktet er funne. Ein auke i K_2 gjer at store flomtoppar blir større i volum og spissare, samtidig som mindre flomhendingar blir redusert i volum. T_x er relativt stabil i R^2 -verdi for negative parameterverdier, men heller svakt nedover over null.

Tabell 4.3 viser resultatata frå kalibreringa av Kirchner sin modell med 3 og 2 parametrar. Tabellen viser at det er små avvik i K_1 og K_0 mellom kalibreringane. Ein del av forklaringa på dette kan vere at K_2 parameteren som er kalibrert for Kirchner si responsrutine med 3 parametrar er relativt låg, 0.046, som gir lite krumming og ei tilnærma lineære likning. Tabell 4.4 viser resultat frå kalibreringa av markvatn og avrenningsdelen i HBV -modellen. Parameteren som skil seg mest frå anbefalte parametrar av Killingtveit (1995), er K_2 og T_x . K_2 representerer rask avrenning, og ein høg verdi gir store, raske flommar. Dette kan vere typisk for Vestlandet, der felta i regionen ligg. Alle kalibreringane har negativ T_x parameter. Når parameter T_x er negativ, fell nedbøren som regn sjølv om gjennomsnittstemperaturen over døgnet er negativ. T_x representerer eit gjennomsnitt over døgnet og i delar av døgnet kan det vere pluss grader, sjølv om gjennomsnittstemperaturen er negativ.

Tabell 4.3 og 4.4 viser at den høgaste R^2 -verdien er funnen for Kirchner sin modell med K_2 låst til null. I kalibreringa av Kirchner sin modell med 3 parametrar, der K_2 ikkje er låst, går kalibreringsintervallet ned til null, utan at det ser ut til at det fins eit optimum der. Plottet av R^2 mot K_2 i figur 4.16 viser ein topp mellom 0.05 og 0.1. Kanskje kan det relativt store avviket mellom T_x verdiane vere med på å forklare dette. Sensitivitetsplotta frå Kirchner sin modell gir relativt flate toppverdier for T_x , likevel skil 0.15 °C dei to.

Tabell 4.5 viser kor god tilpassinga er for dei enkelte nedbørfelta i regionen er, når gjennomsnittleg R^2 -verdi for regionen er høgast. I høgre kollonne, viser tabellen resultatata av å sette estimerte parametrar frå Parameter Estimator inn i ENKI modellen. Simuleringane er gjennomført ved å opprette ein input database for kvart felt, og køyre denne med estimerte parametrar for feltet med same periode og målfunksjonar som elles

er nytta i ENKI. Dei estimerte parametrane gir langt dårlegare resultat enn dei kalibrerte parametrane, for samtlige felt og modellar. Resultata er ikkje i tråd med Kirchner (2009) sine resultat, som får R^2 -verdiar frå 0.795 til 0.931 frå estimerte parametrar. Med kalibrering oppnår Kirchner (2009) R^2 -verdiar frå 0.902 til 0.951. Kirchner oppnår også betre resultat med kalibreringa, men forskjellen i resulta med og utan kalibrering er mykje mindre enn i denne rapporten.

I simuleringa av nedbørfelta med estimerte parametrar er ikkje k_E kalibrert, slik Kirchner (2009) gjorde. Figur 4.17 og 4.18 viser forsøk på å sjå kva effekt k_E , skaleringsfaktor for fordamping, har. Både for Sandvenvatn og Bulken kan endringar i k_E heve R^2 -verdien, men berre eit par tidelar. Det er mulig effekten hadde vore større om k_E var slept fri i kombinasjon med at parametrane i Kirchner sin modell vart sleppt frie, men dette er ikkje undersøkt.

Ei mulig forklaring på dei dårlege resultatata er at timesverdiane nytta i Parameter Estimator for å estimere parametrane er av dårleg kvalitet. Timesdata er ofte ikkje kontrollert like nøye som døgndata, men tanke på til dømes isreduksjon. I kalibreringa i ENKI er det nytta døgnerverdiar. Kirchner (2009) nyttar eit forskingsfelt med gode hydrologiske data og relativt tett mellom klimastasjonane (4 i nedbørfeltet på 20 km²). Blant anna hadde Kirchner (2009) tilgang på 15-min vassføringsdata, som gir muligheten til å studere endringar i vassføringa i detalj.

I sine estimeringar av parametrane har Kirchner (2009) ofte fått negative verdiar for andregradsleddet i sensitivitetsfunksjonen. Då ingen av felta som var med i regionen til ENKI fikk dette i Parameter Estimator, inneheld ikkje kalibreringsintervalla negative verdiar for K_1 . Det er mange faktorar som kan ha påverka dei gode resultatata til Kirchner (2009) og dei relativt dårlege resultatata i tabell 4.5 som er vanskelege å vurdere utan tilgang på rådata som Kirchner har nytta og yttligare informasjon om framgangsmåten. Til dømes oppgir Kirchner verken kalibreringsintervall for parametrane eller søkealgoritme i kalibreringa av parametrane i sensitivitetsfunksjonen. Han har heller ikkje omtalt om dei to nedbørfelta han studerer er kalibrert under eit (som ein region) eller om dei er kalibrert kvar for seg med smale, spesialtilpassa kalibreringsintervall. Frå presentasjonen av nedbørfelta, der beste parametersett er vist for kvart felt, kan det verke som at Kirchner (2009) har kalibrert felta individuelt, utan at verken dette eller eventuelle konsekvensar er omtalt.

Kirchner (2009) simulerte to nedbørfelt med eit samla areal på 20 km². I denne oppgåva er det brukt nedbørfelt med større areal, der konsekvensar at modellen ikkje har ei routing rutine kan bli større. På den andre sida verkar dette lite sannsynleg; feltet med best simuleringar er nemlig det største, Bulken med eit areal på 1094 km². Andre forklaringar på avvika kan vere utplukka av data, inndelinga i intervall, uteliggjarar som får stor vekt og dårleg tilpassing av sensitivitetsfunksjonen føre til at parametrar frå Parameter Estimator gir så dårlege resultat.

Teuling et al. (2010) får gode resultat med Kirchner sin metode utan kalibrering, i eit nedbørfelt med areal 3.31 km². Teuling et al. nyttar ei anna rutine for å plukke ut data (jf. 2.3.1 *Data til resesjonsperiodane*) og ei seksjonsdelt form på sensitivitetsfunksjonen, slik at resulta ikkje direkte samanlignbare.

Ut i frå resultat i tabell 4.5 og tabell D.2, som viser høgaste oppnådde verdi for enkelt felt i kalibreringa, kan konsekvensen av å kalibrere nedbørfelta som ein regionon framfor å kalibrere eit og eit felt, studerast. Tabell 4.6 viser kor mange prosent av den optimale verdien i tabell D.2 som er tapt for kvart felt. Regionalisering har fleire fordelar; ein sparer tid, parametrane blir meir stabilt definert og ein kan nytte parametersettet for felt utan målingar med eit estimat for uvissa i simuleringa. Ulempa på den andre sida, er at ein ikkje får optimalisert enkelt felt og må godta ein reduksjon i R².

Ved bruk av HBV si reponsrutine taper ein minimalt på regionalisering. Ein taper i gjennomsnitt omlag dobbelt så mykje med Kirchner sin responsrutine, både basert på 3 og 2 parametrar. HBV –modellne har stabilt definerte parametrar med lita uvisse; noko ein kan sjå ved at svinganingane i kalibreringsprosessen er små og sensitivitetplotta for parametrane er relativt flate. Å tape 5 % kan rettferdigjerast i forhold til kva ein vinn på regionaliseringa, men oppmot tap på 10 % er betydelig.

Som tidlegare diskutert, verkar Kirchner si rutine sensitiv for endringar i parametrane. Dette var også tydeleg i kalibreringsprosessen, med store svingar mellom iterasjonane og tydelige toppar i sensitivitetplotta. Kirchner si responsrutine er meir avhengig av å få spesialtilpassa parametrarsett for kvar felt enn HBV –modellen er. Dette er også noko Kirchner (2009) legg opp til; ein sensitivitetfunksjon er estimert på målingar for eit felt og karakteriserer dermed feltet. At Kirchner si rutine basert på 3 parametrar skulle gi store tap var nærmast venta, utifrå den høge korrelasjonen mellom parameterane og parameteruvissa det medfører.

Formålet med å gå ned til ein lineær sensitivitetfunksjon var å redusere korrelasjonen og parameteruvissa i modellen, og dermed gjere kalibrering og regionalisering lettare. At denne metoden gir om lag like store tap i R²-verdi som Kirchner sin metode med kvadratisk sensitivitetfunksjon, kan vere eit teikn på at dette ikkje gir ønska effekt, eller at det har skjedd feil i prosessen. At Kirchner sin modell med 2 parametrar taper relativt mykje i regionaliseringa, kan antyde på at parametrane i den lineære sensitivitetfunksjonen også har høg parameteruvisse og samanheng mellom parametrane. Dette er imidlertid for tynt grunnlag å trekke ein konklusjon på, her må det fleire undersøkingar til.

I tabell 4.6 er det eit nedbørfelt som skil seg ut med store tap som følgje av regionaliseringa; Kløvtveitvatn. Dette kan komme av støy/målefeil i måleserien, eller feltet kan ha genuine eigenskapar som må kalibrerast spesifikt. Som tidlegare diskutert, estimerer Parameter Estimator ei veldig krum likning for Kløvtveitvatn, med høgt andre- og førstegradsledd, sjå figur 4.6. Denne likninga gir R² –verdi 0.388. Det beste parametersettet for Kløvtveitvatn i kalibreringa gir ei tilnærma lineær likning. Dette er ein

konsekvens av det smale, kunnskapsbaserte intervallet som vart nytta i kalibreringa. Både andregrands- og konstantleddet som vart estimert i Parameter Estimator for Kløvtveitvatn ligg utanfor kalibreringsgrensen som er nytta. Dermed tvingar kalibreringa Kløvtveitvatn til å få ei anna likning enn den estimerte. På den andre sida, ville det ikkje hatt nokon innverkan om intervalla hadde inkludert Kløvtveitvatn sin estimerte parameterverdiar, toppane i sensitivitetplots i figur 4.16 hadde framleis vore langt frå dei estimerte parametrane for Kløvtveitvatn. I vedlegg D fins det sensitivitetplott med merkt beste verdi i regionaliseringa og beste verdi for Kløvtveitvatn frå dei tre kalibreringprosessane. Plotta viser at Kløvtveitvatn spesielt er følsomt for endringar i K_2 for HBV –modellen, K_0 for Kirchner med 3 parametarar, og K_1 og K_0 for Kirchner si responsrutine med 2 parametarar, sjå høvesvis figur D.4, D.6 og D.9.

Det er vert å merke seg at den meir lineære likninga kalibreringa i ENKI for den kvadratiske sensitivitetfunksjonen kjem fram til, gir eit betre resultat enn den krumme likninga Parameter Estimator tilnærmar, med R^2 –verdi 0.653. Som diskutert under 5.1.2 *Simulerte felt*, er likninga i Parameter Estimator sterkt påverka av nokre låge vassføringar, som resulterer i den krumme sensitivitetfunksjonen. Dette viser at det er forbetringspotensiele i tilnærmingalgoritmen i Parameter Estimator; hadde den ikkje lagt så stor vekt på dei låge vassføringane hadde likninga vorte mindre krum og dermed hadde likninga låge nærmare den kalibrerte likninga og gitt eit betre resultat.

Eit gjennomgåande trekk i diskusjonen av kalibreringsprosessen er at resulta kunne sett annleis ut med andre val i prosessen. Dette gjeld ikkje berre frie parametarar, kalibreringsintervall og verdiar for faste parametarar. Det gjeld også målfunksjonen som er nytta. R^2 framhevar periodar med høg vassføring. Hadde til dømes $\ln R^2$ eller likelihood målfunksjon vore nytta som målfunksjon, hadde fokuset låge meir på periodar med låg vassføring. Kirchner (2009) nytta $\ln R^2$ som målfunksjon i kalibreringa av sensitivitetfunksjonen. Ei anna tidsopløysning til dømes timar eller 15-min intervall, ville kunne avslørt avvik ein ikkje ser basert på døgnmiddel. Bruk av andre kalibreringsalgoritmar, t.d. vektorbaserte, kunne også bidrage til andre resultat.

5.5.2 Simuleringar i ENKI

Figur 4.19 viser resultatata av simuleringar i ENKI med HBV -modellen og kalibrert KirchnerMod basert på ein kvadratisk sensitivitetfunksjon i forhold til observert vassføring for Kløvtveitvatn. Frå plottet ser simuleringane bra ut; både dynamikk og timing ser ut til å treffe bra. I tabell 4.8 som viser vassbalansen, ser ein likevel at modellane berre simulerer 70 % av vassmengda som er målt. Ved nærmare undersøkingar ser ein at begge simuleringane simulerer for lite vatn ved låge vassføringar, sjå meir detaljert plott figur E.1. Kløvtveitvatn har eit nedbørfelt på 4.5 km^2 , som i modellen er representert av fire cellar på 1 km^2 , ein reduksjon på 11 %. Frå figur E.1 verkar Kirchner sin metode veldig verkar skarp; den simulerer store flomtoppar og dett deretter nærmast til null.

Frå figur 4.20 og E.2, viser at det same er tilfellet for Kirchner med 2 parametarar, som også er veldig skarp. Kirchner si responsrutine basert på esimerte parametarar frå Parameter

Estimator er lite detaljert, den glattar ut likninga frå Kirchner sin metode med 2 parametrar. Timinga på flomhendingane for denne simuleringa er ganske bra, men i volum treff den verken i periodar med lite eller mykje vatn.

Tabell 4.7, som viser kvadrert korrelasjon mellom tidsseriane, viser at alle simuleringane har omlag same avvik frå observert vassføring. Frå plotta såg det ut til at simuleringa basert på resultat frå Parameter Estimator burde vore dårlegare, men ettersom dei andre Kirchner metodane er så skarpe blir korrelasjonen relativt lik. HBV og Kirchner med 2/3 parametrar har høy korrelasjon, og simulerer omlag same vassføring. Korrelasjonen mellom tidsseriane frå Kirchner kalibrert med 2 og 3 parametrar er perfekt, 1.00. Korrelasjonen mellom Kirchner basert på Parameter Estimator og dei andre modellane er låg. Ingen av kalibreringsrutiene simulerer feltet særskilt godt og feltet taper mykje, oppmot 30 %, på å bli kalibrert i ein region. Kan tyde på at feltet har genuine eigenskapar som må handterast individuelt.

Figur 4.21 viser resulta av simuleringar for nedbørfeltet Bulken, med HBV –modellen og Kirchner si responsrutine med 3 parametrar. Frå figur 4.21 ser ut som at timinga er bra. Ein del flommar blir underestimert, men elles er også dynamikken bra. Figur E.3 som berre viser eit år og dermed viser meir detaljar, viser at vurderinga stemmer bra. I det hydrologiske året 00/01 overestimerer både HBV –modellen og Kirchner med 3 parametrar flommar om vinteren og underestimerer flommar om sommaren.

Figur 4.22 viser simuleringar med Kirchner sin metode kalibrert for to parametrar og Kirchner sin metode utan kalibrering for Bulken. Figuren viser at simuleringa med KirchnerMod kalibrert med 2 parametrar ser veldig lik ut som KirchnerMod kalibrert med 3 parametrar; timinga er bra, men ein del flomtoppar blir underestimert. Simuleringa basert på parametrar frå Parameter Estimator glattar ut den kalibrerte simuleringa; periodar med mykje vatn blir underestimert og periodar med lite vatn blir overestimert. Figur E.4, som viser eit hydrologisk år meir detaljert, gir det same inntrykk. Resultatet er tilsvarende som for Kløvtveitvatn; simuleringa basert på estimerte parametrar verkar lite sensitiv for hendingar i feltet. Simuleringa skil seg frå Kløvtveitvatn ved at Kirchner si responsrutinene ikkje er like skap. Estimeringa av sensitivitetsfunksjonen bygger på resesjonsperiodar. Med denne bakgrunnen burde Kirchner si responsrutine med estimerte parametrar simulerte desse periodane godt. Avvik for simuleringar basert på Kirchner sin metode utan kalibrering er derimot store alle hydrologiske hendingar i simuleringsperioden.

Tabell 4.9 og 4.10 bekreftar at resultata frå HBV –modellen og kalibrerte resultat frå Kirchner med 2 og 3 parametrar for Bulken er bra; kvadrert korrelasjon med observerte data er over 0.80 og tapa i vassbalansen er under 10 %. Tabell 4.5 viser også gode resultat for Bulken, R^2 –verdien i kalibreringsprosessen er over 0.80 i alle kalibreringane. Feltet er med på å dra opp gjennomsnittet, og taper tilnærma ingenting på å inngå i regionaliseringa. Tabell 4.5 viser også at Bulken får best tilpassing av felta i regionen, basert på estimerte parameterar i Parameter Estimator. Både korrelasjonen og

vassbalansen er langt betre enn tilsvarnade resultat for Kløvtveitvatn. Bulken verkar som et lett felt å simulere, utan spesielle eigenskapar.

Simuleringar frå dei andre nedbørfelta som inngår i regionen i ENKI er presentert i vedlegg E. Generelt er resultatata for HBV –modellen og kalibrert Kirchner med 3 og 2 parametar gode og relativt like, medan KirchnerMod utan kalibrering fangar få hendingar. Simuleringane frå ENKI skil seg på fleire måtar frå simuleringane frå Parameter Estimator, vedlegg B. At Parameter Estimator ikkje har snørutine, fører for mange felt til at simuleringane for første del av sommaren er dårlege, og modell prestasjonen er vanskeleg å vurdere. Figur E.5 og E.6 viser same perioden frå Parameter Estimator og ENKI for nedbørfeltet Bulken. Plotta viser betre simuleringar på begynnelsen av sommaren for simuleringa frå ENKI som har snørutine. Simuleringa frå ENKI verkar også mindre skarp, vassføringa dett ikkje til null slik i simuleringa frå Parameter Estimator. Plottet frå Parameter Estimator gir eit innrykk av at resesjonsperioden stemmer betre enn det innstrykket plottet frå ENKI gir. Inntrykket kan komme av at tidsaksen i plottet frå Parameter Estimator er veldig konsentrert. Dømet viser kor vanskelig det er å vurdere plotta frå Parameter Estimator då dei viser lite detaljar.

Ein viktig observasjon frå simuleringane i ENKI er at kvadrert korrelasjon mellom tidsseriane frå kalibrert KirchnerMod med 2 og 3 parametar er perfelt, 1.00, for alle felta. Kirchner sin metode med 2 eller 3 parametar gir tilnærma same resultat; å ta vekk ein parameter får ingen konsekvens for den simulerte tidsserien. Med datasettet og målfunksjonane som er brukt er Kirchner sin modell med kvadratisk sensitivitetsfunksjon overparametrisert. Overparametrisering er ikkje ein eigenskap ved modellen aleine; jo meir kalibrerings informasjon ein har, jo fleire parametar kan ein bestemme. Forholdet mellom modellen og data avgjer om ein modell er overparametrisert. Dersom ein legg på fleire målfunksjonar kan det hende ein oppnår betre resultat med 3 parametar enn 2. Så lenge ein ikkje tek parametar ut av samanhengen, og trekk konklusjonar basert på enkelt parametar, er ikkje overparametrisering eit problem. Ved forsøk på regionalisering av ein parameter, kan derimot overparametrisering gi ustabile resultat. I artikkelen frå 2009 foreslår Kirchner at responsrutina hans ikkje er overparametrisert, basert på at kalibrerte parametar er konsistente på tvers av åra i kalibreringa. Resultatet viser at modellen ikkje er sensitiv for særreignheiter i kalibreringsdata, og dermed antyer Kirchner at modellen ikkje er overparametrisert.

Som nemnt, har ikkje Kirchner (2009) detaljert skildra kalibreringprosessen han har utført. Det er vanskeleg å vite sikkert kva som er årsaka til skilnadane mellom Kirchner (2009) sine resultat og resultatata i denne rapporten, utan å ha tilgang til Kirchner sine rådata. Kirchner (2009) har heller ikkje diskutert korrelasjon mellom parametar i sensitivitetsfunksjonen eller parameteruvise i forhold til kalibreringa han har utført. Kirchner (2009) konkluderer med at modellen han legg fram gir like gode resultat som ein meir parameterrik modell, utan at det går fram kva modell som er nytta.

6. Konklusjon

Den høgaste oppnådde korrelasjon mellom parametrar i sensitivitetsfunksjonane estimert i Parameter Estimator og fysiske parameterar ved nedbørfelta var 0.63 mellom skogprosent og konstantleddet, C_3 . Dei oppnådde korrelasjonane er så låge at ein ikkje kan seie at parametrane i sensitivitetsfunksjonane har nokon direkte, lineær samanheng med fysiske parametrar. Estimerte parametrar i Parameter Estimator skildrar ei matematisk likning som er karakteristisk for feltet og har lita eller inga fysikk samanheng.

Resultata i oppgåva tyder på at ein kvadratisk sensitivitetsfunksjon slik Kirchner (2009) legg fram, ikkje er ei optimal form på sensitivitetsfunksjonen. Korrelasjonen mellom parametrane i funksjonen er høge; mellom andre - og førstegradsleddet 0.86, mellom andregradsleddet og konstantleddet 0.59 og mellom førstegrads- og konstantleddet 0.81. Gjennom kalibreringsprosessen tyder det på som at dette gjev stor parameteruvisse. Iterasjonane gir store utslag målt i R^2 -verdi, sjølv om andregradsleddet er relativt stramt bestemt. Sensitivitetsplotta for kalibrerte parametrar viser tydelige toppar for alle parametrane i kalibreringa. Kirchner sin metode med 3 parametrar taper mykje på å inngå i ei regionalisering, der ein region med fleire felt blir kalibrert basert på gjennomsnittleg R^2 prestasjon. Basert på datasettet og målfunksjonen som er nytta, og kvadrert korrelasjon mellom tidsseriar for Kirchner sin metode med 3 og 2 parametrar, er Kirchner sin metode med 3 parametrar overparametrisert. For kvaliteten på simuleringane frå kalibreringa har det er har tilnærma inga effekt å gå frå ei kvadratisk likning med 3 parametrar til ei lineær likning med 2 parametrar.

Oppgåva har ikkje gitt eit klart svar på om ei lineær likning gir lågare korrelasjon mellom parametrane og meir stabilt definerte parametrar, og dermed er betre eigna enn den kvadratiske sensitivitetsfunksjonen. Den lineære funksjonen tapte om lag like mykje som den kvadratiske i regionaliseringa, noko som kan tyde på at parameteruvissa er stor. Svingane i kalibreringa var derimot redusert frå fleire titals tusen til -0.8 til 0.63, noko som viser betre stabilitet.

Kvaliteten på simuleringane med Kirchner (2009) si rutine utan kalibrering er dårlege, med oppnådde R^2 -verdiar frå 0.091 til 0.538, simulert i ein hydrologisk modell over 5 hydrologiske år. Det dårlege resultatet kan henge saman med at andregradslikninga ikkje er optimal eller feil i tilnærminga av parametrane i Parameter Estimator. Parameter Estimator estimerer til dømes ein veldig krum sensitivitetsfunksjon for nedbørfeltet Kløvtveitvatn som gir R^2 0.388 utan kalibrering. Kalibreringsprosessen tilpassar ei tilnærma lineær likning for Kløvtveitvatn som gir R^2 0.653. Dette resultatet kan tyde på at ein lineær sensitivitetsfunksjon kan gi betre resultat. Det er også eit teikn på at tilnærmingalgoritmen i Parameter Estimator ikkje optimal, den legg for stor vekt på låge vassføringar som resulterer i ein krum funksjon (høgt andre- og førstegradsledd).

Kvaliteten på simuleringane frå Kirchner utan kalibrering og ein kalibrert HBV-modell er stor, R^2 i frå den kalibrerte HBV-modell er 0.425 til 0.812, når regionen er kalibrert under eitt. Gjennomsnitt i regionen under kalibreringa av HBV-modellen var på det høgaste 0.623. Når Kirchner sin modell med kvadratisk sensitivitetsfunksjon er kalibrert

er skilnaden med HBV -modellen liten. Kalibrert gir Kirchner si responsrutine R^2 verdier frå 0.454 til 0.833, gjennomsnittleg 0.63 for regionen. Kirchner si responsrutine med lineær sensitivitetsfunksjon oppnår høgast gjennomsnittleg R^2 verdi i kalibreringa, med 0.632. Forklaringa til avvika kan vere at døgndata som det er kalibrert for i ENKI er av betre kvalitet enn timesdata som er nytta i Parameter Estimator, eller feil i utplukket av data, inndeling i intervall, tilnærming av sensitivitetsfunksjonen og skilnadar mellom det hydrologiske systemet i røynda og det idealiserte enkle, dynamiske systemet i Kirchner sin modell. Resultat skil deg betydelig frå Kirchner (2009) sine resultat, som oppnådde R^2 -verdier frå 0.795 til 0.931 utan kalibrering og 0.902 til 0.951 med kalibrering, men ein kvadratisk sensitivitetsfunksjon.

Konsekvensen av regionalisering er større med Kirchner (2009) si responsrutine enn HBV -modellen. Kirchner med 2/3 parametar taper om lag 10 %, medan HBV -modellen taper 5 %. Forklaringa til avviket ligg truleg i den høge korrelasjonen mellom parametar i Kirchner si rutine med kvadratisk sensitivitetsfunksjon og den høge parameteruvissa som følj med. At Kirchner si responsrutine med 2 parametar gir så høge tap er noko uventa, då parametranne i denne likninga verkar meir stabilt definert, og er vanskelig å forklare.

Resultata i denne rapporten er basert på ei lang rekke val som har påverka resultata. Svare oppgåva har gitt på problemstillingane er gitt alle vala, blant anna at intervalla i kalibreringa av Kirchner sin modell er kunnskapsbaserte. For vidare arbeid med temaet kan modellen som er bygd opp i ENKI nyttast til fleire forsøk, med ulike kalibreringsintervall, algoritmar og målfunksjonar. Å gjere gjennomføre ein god kalibreringsprosess basert på velgrunna og velgjennomtenkte val krev erfaring og god tid. I Parameter Estimator kan det gjerast forsøk med å estimere lineære sensitivitetsfunksjonar og deretter prøve parametranne ut i ENKI modellen.

7. Referansar

- Alfredsen K., 2009, Forelesning *Hydrologisk modell*, TVM 4105 Hydrologi, haust 2009
- Bergström S., 1976, Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. SMHI report, Nr.RHO 7.
- Bergström S. et al., 1996, Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model, *Journal of Hydrology*
- Beven, Keith J., 2001, *Rainfall- Runoff Modeling, The Primer*, John Wiley & Sons, LTD.
- Brutsaert, W., and Nieber J. L., 1977, Regionalized drought flow hydrographs from a mature glaciated plateau, *Water Resour. Res.*, 33, 637-643
- Chow V.T., Maidment D.R., Mays L.W., 1988, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Series in Water Recourses
- Dooge, J.C., 1977, Problems and methods of rainfall-runoff modeling. In: T.A. Ciriani, V. Malone and J.R. Wallis (Eds). *Mathematical models for surface water hydrology*. John Wiley and Sons Ltd. London, England
- Dooge, J.C., 1984, The water of the earth, *Hydrol. Sci. J.*, 29(2): 149-176
- Killingtveit Å, Sælthun N.R., 1995, *Hydrology, Hydropower development Volume no 7*, Norwegian Institute of Technology, Division of Hydraulic Engineering
- Killingtveit Å, 2011, Forelesning HBV_Overview, TVM4106 Hydrologisk modellering, haust 2011
- Kirchner J.W., 2006, Getting the right answers for the right reasons: Linking measurements, analyses, and models to advance the science of hydrology, *Water Resources Res.*, Vol. 42, W03S04, doi: 10.1029/2005WR004362
- Kirchner J. W., 2009, Catchments as simple dynamical systems: Catchment characterization, rainfall- runoff modeling, and doing hydrology backward, *Water Resour. Res.*, Vol. 45, W02429, doi: 10.1029/2008WR006912
- nve.no
- <http://www.nve.no/no/Vann-og-vassdrag/Hydrologi/Analysemetoder-og-modeller/HBV-modellen/>, besøkt 13.04.12
 - http://www.nve.no/global/vann%20og%20vassdrag/databaser%20og%20kart/data/oversikt/vannstand_vannforing.pdf, besøkt fleire gonger
- Petterson L-E, 2004, Aktive målestasjoner i Norge, nr 3 i Rapportserien 2004, Norges vassdrags- og energidirektorat

- Rinde T., 2008, DEMLab_manual, DEMLab – en plattform for implementering og evaluering av fordelte hydrologiske modeller
- Singh, V.P., 1988, Hydrologic Systems, Volume 1: Rainfall –runoff modeling, Prentice Hall, New Jersey
- Sivapalan M., Blösch G., Zhang L., Vertessy, 2003, Downward approach to hydrological prediction, Hydr. Process., 17(11), 2101-2111, doi: 10.1002/hyp. 1425
- Teuling A. J., Lehner I., Kirchner J. W., Seneviratne S.I., 2010, Catchments as simple dynamical systems: Experience from a Swiss prealpine catchment, Water Resources Res., Vol. 46, W10502, doi: 10.1029/2009WR008777, 2010
- Xu, Chong-yu, 2009, Statistical Methods in Hydrology (Lecture notes), Geotryckeriet Uppsala University (based on Haan C.T., 2002, Statistics Methods in Hydrology, Iowa State Univ Press, Ames, Iowa)
- Xu, Chong-yu, 2010, Introduction to Hydrological Models (Lärobok i avrinningsmodeller), Geotryckeriet Uppsala University
- Røhr, P. C., 2011, Fornøyelse av NVE hydrologiske simuleringssystem, nr.8, http://webby.nve.no/publikasjoner/rapport/2011/rapport2011_08.pdf

8. Vedlegg

Vedlegg A: Liste over alle målestasjoner til ENKI

Tabell A.1 til A.4 gir informasjon om målestasjonane som er nytta i regionen til ENKI. Målestasjonane er vist med rosa sirkel (nedbørstasjonar), mørkblå stjerne (temperaturstasjonar) og svart kryss (vassføring) på kartet i figur 3.2. Nettverket som er oppgitt blir automatisk til eit nettverk i ENKI når tabellane er lagt inn i inputdatabasen. Nedbør- og temperaturstasjonane resulterer i to nettverk i ENKI; pstats/ tstats og pstat_elev/ tstats_elev. Det første nettverket representerer romleg fordeling av målestasjonane med tidsseriar, det andre representerer romleg fordeling i z-retning med høgdene stasjonane ligg på.

Data om nedbør- og temperaturstasjonar er frå klima (via frå SINTEF Energi (Kolberg, pers. med.)). Vassføringsdata er frå NVE sin hydra database.

Tabell A.1 Nedbørstasjonar, første del

STNR	Namn	Nettverk	Punkt ID	Refsystem	xcoord	ycoord	Moh (m)
47020	NEDSTRAND	pstats	1	utm-32n	317885.92	6582849.14	10
32310	SELJORD PRESTEGÅRD	pstats	2	utm-32n	479171.827	6594985.32	397
32900	HØYDALSMO	pstats	3	utm-32n	455099.771	6595740.81	572
46850	HUNDSEID I VIKEDAL	pstats	4	utm-32n	330338.39	6607326.56	159
33560	VINJESVINGEN	pstats	5	utm-32n	432882.439	6610562.79	471
46400	NESFLATEN	pstats	6	utm-32n	377152.027	6614416.52	72
47500	ETNE	pstats	7	utm-32n	329119.942	6617452.23	35
48050	BØMLO - FINNÅS	pstats	8	utm-32n	288660.464	6627445.53	23
47890	OPSTVEIT	pstats	9	utm-32n	333033.115	6639210.15	38
50450	FANA - STEND	pstats	10	utm-32n	297139.059	6687491.41	54
50250	TYSSE	pstats	11	utm-32n	321668.348	6697530.96	41
50350	SAMNANGER	pstats	12	utm-32n	329217.435	6707117.3	370
51400	BREKKHUS	pstats	13	utm-32n	344274.75	6736825.18	202
52110	FJELLANGER II	pstats	14	utm-32n	340346.88	6743990.62	456
52600	HAUKELAND	pstats	15	utm-32n	313695.641	6748140.08	196
53070	VIK I SOGN III	pstats	16	utm-32n	369709.124	6773210.73	65
53080	VIK - VANGE	pstats	17	utm-32n	369676.018	6774070.33	30
52990	ORTNEVIK	pstats	18	utm-32n	345850.325	6778265.24	4
25260	VATS - RANDEN	pstats	19	utm-32n	460572.434	6727197.43	863
32320	SELJORD - LØNNESTAD	pstats	20	utm-32n	479957.299	6597934.68	162
49351	TYSSEDAL IA	pstats	21	utm-32n	364458.345	6667257.1	32
50351	SAMNANGER II	pstats	22	utm-32n	329216.26	6707119.2	367
49631	EIDFJORD II	pstats	23	utm-32n	393789.625	6704725.29	20
52601	HAUKELAND - STOREVATN	pstats	24	utm-32n	314301.753	6749215.3	325
52440	HOLSNØY - LANDSVIK	pstats	25	utm-32n	284296.171	6725314.83	27
48250	FITJAR - PRESTBØ	pstats	26	utm-32n	294084.65	6647864.59	24
52750	FRØYSET	pstats	27	utm-32n	294509.309	6751784.11	13
47450	STRAUMØY	pstats	28	utm-32n	299152.229	6618251.64	37
48090	LITLABØ - DALE	pstats	29	utm-32n	299793.067	6633715.73	35
52400	EIKANGER - MYR	pstats	30	utm-32n	302003.718	6726248.06	72

Tabell A.2 Nedbørstasjonar, andre del

STNR	Namn	Nettverk	Punkt ID	Refsystem	xcoord	ycoord	Moh (m)
52930	BREKKE I SOGN	pstats	31	utm-32n	306558.713	6763529.93	240
47090	SKJOLD - FRØVIK	pstats	32	utm-32n	309028.189	6600944.13	5
48450	HUSNES	pstats	33	utm-32n	319306.917	6640757.51	13
50150	HATLESTRAND	pstats	34	utm-32n	327667.776	6660143.61	45
52970	SØREBØ	pstats	35	utm-32n	333119.577	6774104.69	4
48500	ROSENDAL	pstats	36	utm-32n	334208.5	6654134.06	54
51250	ØVSTEDAL	pstats	37	utm-32n	334268.161	6731943.74	316
52170	EKSINGEDAL	pstats	38	utm-32n	344944.26	6744178.83	450
50080	ØYSTESE - BORGE	pstats	39	utm-32n	345240.911	6696917.96	108
46150	SAND I RYFYLKE II	pstats	40	utm-32n	345718.122	6596551	25
47820	EIKEMO	pstats	41	utm-32n	347802.201	6638719.5	178
51470	BULKEN	pstats	42	utm-32n	348192.774	6726565.3	323
52220	GULLBRÅ	pstats	43	utm-32n	350493.349	6746852.6	579
49350	TYSSDAL I	pstats	44	utm-32n	364459.52	6667255.2	32
53180	BRANDSET	pstats	45	utm-32n	374422.436	6742028.03	460
49550	KINSARVIK	pstats	46	utm-32n	375279.243	6695036.98	108
49630	EIDFJORD	pstats	47	utm-32n	394005.39	6704951.46	5
53700	AURLAND	pstats	48	utm-32n	402455.41	6753342.95	15
49750	LISSET	pstats	49	utm-32n	405061.593	6699819.93	748
40900	BJÅEN	pstats	50	utm-32n	412237.918	6612516.02	927
33250	RAULAND	pstats	51	utm-32n	445781.114	6618918.43	715
31570	MØSVATN - HAUG	pstats	52	utm-32n	451792.881	6631143.4	942
25240	VATS	pstats	53	utm-32n	462640.651	6728007.62	800
32850	KVITSEID - MOEN	pstats	54	utm-32n	470222.405	6585412.6	77
25100	HEMSEDAL - HÅLTO	pstats	55	utm-32n	474602.002	6748509.2	648
23720	VANG I VALDRES	pstats	56	utm-32n	477482.191	6776893.73	477
54600	MARISTOVA	pstats	57	utm-32n	448041.524	6775344.44	806
53160	JORDALEN - NÅSEN	pstats	58	utm-32n	376723.037	6753863.79	614
46460	RØLDAL KRAFTVERK	pstats	59	utm-32n	377699.95	6633634.21	390
31410	RJUKAN	pstats	60	utm-32n	476280.634	6638034.01	300

Tabell A.3, temperaturstasjoner

STNR	Namn	Nettverk	Punkt ID	Refsystem	xcoord	ycoord	Moh (m)
25590	GEILO - GEILOSTØLEN	tstats	1	utm-32n	456159.509	6709290.08	810
31620	MØSSTRAND II	tstats	2	utm-32n	454082.381	6633909.51	977
32920	ØYFJELL - TROVATN	tstats	3	utm-32n	455049.142	6604261.9	715
33890	VÅGSLI	tstats	4	utm-32n	408183.598	6626506.08	822
40880	HOVDEN - LUNDANE	tstats	5	utm-32n	408698.564	6606116.91	836
46610	SAUDA	tstats	6	utm-32n	351400.123	6615240.16	5
46910	NEDRE VATS	tstats	7	utm-32n	315993.866	6598444.86	64
48330	SLÅTTERØY FYR	tstats	8	utm-32n	280456.241	6647711.76	15
49580	EIDFJORD - BU	tstats	9	utm-32n	382363.785	6705355.41	165
50130	OMASTRAND	tstats	10	utm-32n	332899.254	6679397.06	2
50300	KVAMSKOGEN	tstats	11	utm-32n	329919.885	6699197.87	408
50500	FLESLAND	tstats	12	utm-32n	291818.884	6689655.57	48
50540	BERGEN - FLORIDA	tstats	13	utm-32n	297941.417	6699722.51	12
51590	VOSS - BØ	tstats	14	utm-32n	363027.353	6725857	125
51800	MJØLFJELL UH	tstats	15	utm-32n	387820.482	6731542.51	695
52290	MODALEN II	tstats	16	utm-32n	334433.49	6748922.77	114
52860	TAKLE	tstats	17	utm-32n	304711.54	6771153.7	38
53101	VANGSNES	tstats	18	utm-32n	373439.578	6784134.07	51
54120	LÆRDAL - MOLDO	tstats	19	utm-32n	419947.16	6771124.04	24

Tabell A.4, vassføringsstasjoner som er med ENKI

STNR	Name	Nettverk	Punkt ID	Refsystem	xcoord	ycoord
1412	Kløvtveitvatn	qstats	664	utm-32n	299219	6765192
155	Målset	qstats	1673	utm-32n	364819	6762392
1477	Brekke bru	qstats	742	utm-32n	397519	6747592
719	Svartavatn	qstats	756	utm-32n	330550	6728250
1516	Bulken	qstats	735	utm-32n	351850	6724550
1065	Røykenes	qstats	879	utm-32n	302969	6684692
333	Hølen	qstats	902	utm-32n	375600	6693505
209	Viveli	qstats	905	utm-32n	397919	6691392
610	Sandvenvatn	qstats	985	utm-32n	363319	6655492
389	Djupevad	qstats	1036	utm-32n	322519	6635392
1237	Stordalsvatn	qstats	1083	utm-32n	331719	6619892
295	Holmen	qstats	1195	utm-32n	325318	6599692
709	Halledalsvatn	qstats	877	utm-32n	471377	6706427

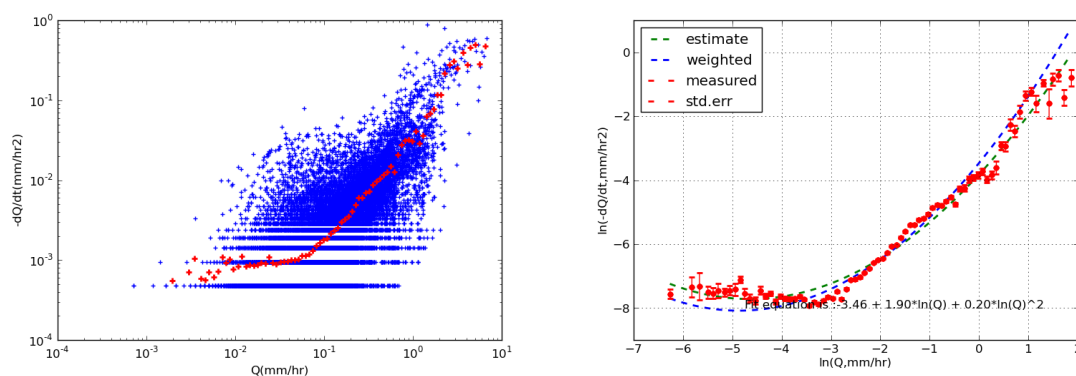
Punkt ID representerer ein link til rasterkartet Delfelt2, som gir polygon for nedbørfelta. Dei regulerte felta Vassbygdvatn, Lo bru og Eidevatn er ikkje med i regionen til ENKI, sjølv om dei geografisk sett ligg innanfor regionen.

Vedlegg B: Felldata og simuleringar frå Parameter Estimator

Data om nedbørfelta er mottatt frå SINTEF Energi (ved Lena Tøfte) til bruk i denne oppgåva.

B.1 Målset

Nedbørfeltet Målset er lokalisert like sør for Sognefjorden (nr.2 i figur 3.1), i Arnafjordvassdraget, Sogn og Fjordane. Ut frå arealet er P_{back} satt til 6 timar. Som figur 4.1 viser gir dette likninga $0.20 \ln(Q)^2 + 1.90 \ln(Q) + (-3.46)$. Likninga er basert på 36 644 utvalte måleverdiar som er delt i 79 bins. Dei utvalte verdiane tilsvarer 10 % av totale tilgjengelige dataverdiar. Den stipla blå ”weighted” linja blir brukt vidare i simuleringa av Q (figur B.2).

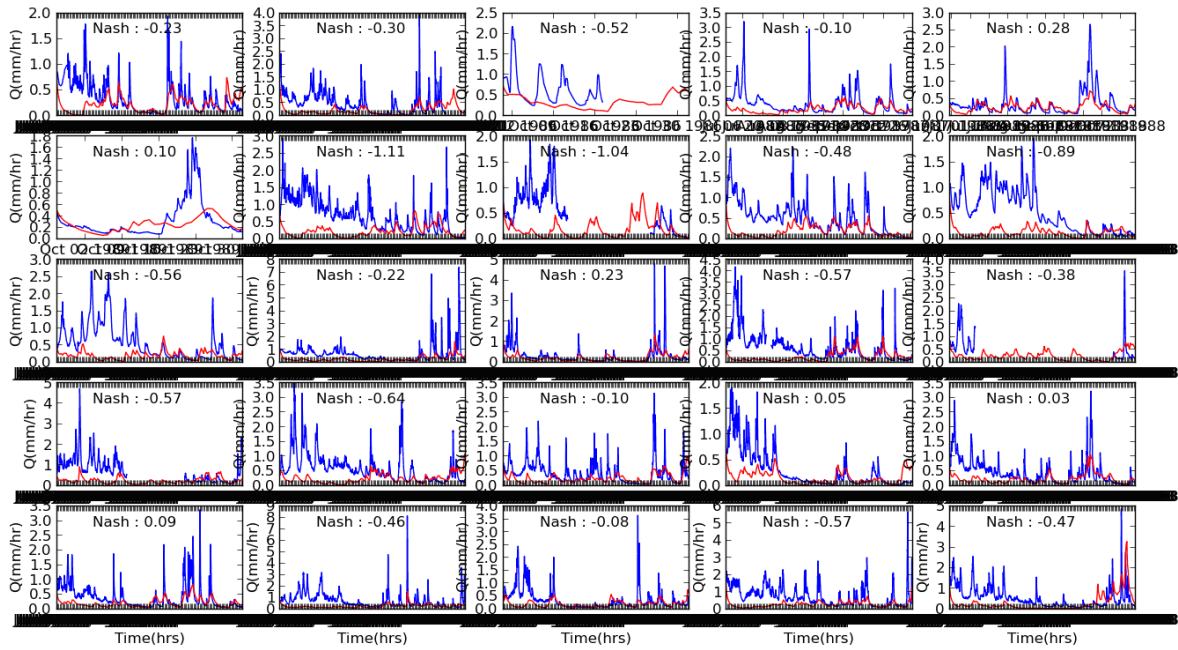


Figur B.1 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Målset

Tabell B.1, karakteristiske parametarar Målset

Parameter	Verdi
Areal	7.57 km ²
Lengde på tidsserie	40 år (1970-2010)
Max høgde	1368 moh
Effektiv sjøprosent	2.56 %
Skogprosent	0 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	9 %
Snaufjellprosent	88.4 %
Middel tilsig	0.55 liter/sekund km ²

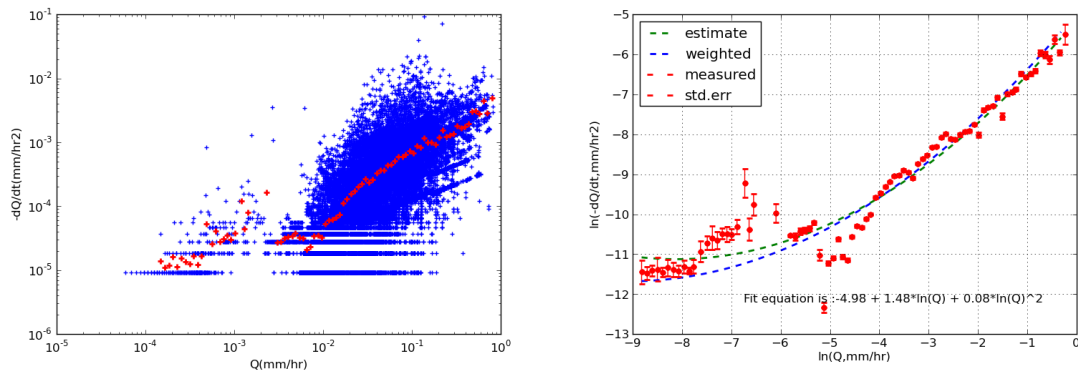
Dei ulike plotta i figur B.1 viser sommarhalvåret (01.06 – 31.10) for 25 år, 1970-1971 og 1986-2008. Åra 1972-1985 og 2009-2010 er ikkje simulert, fordi det manglar for mykje data for desse åra.



Figur B.2 Simulert avrenning (raud) og observert avrenning (blå), basert på klimadata for Målset

B.2 Viveli

Viveli er vist som nummer 11 på kartet i figur 3.1, ved Eio, Veig, aust i Hordaland. Viveli er påverka av ei mindre regulering; høgt oppe i feltet, ved Heisantjørna bli 17 km² overført til Numedalsfeltet (nve.no/xhydra). Målestasjonen er konsesjonspålagt. P_Back satt til 36 timar. Tabell B.2 i vedlegg B.2 viser dei karakteristiske parametranne til feltet.



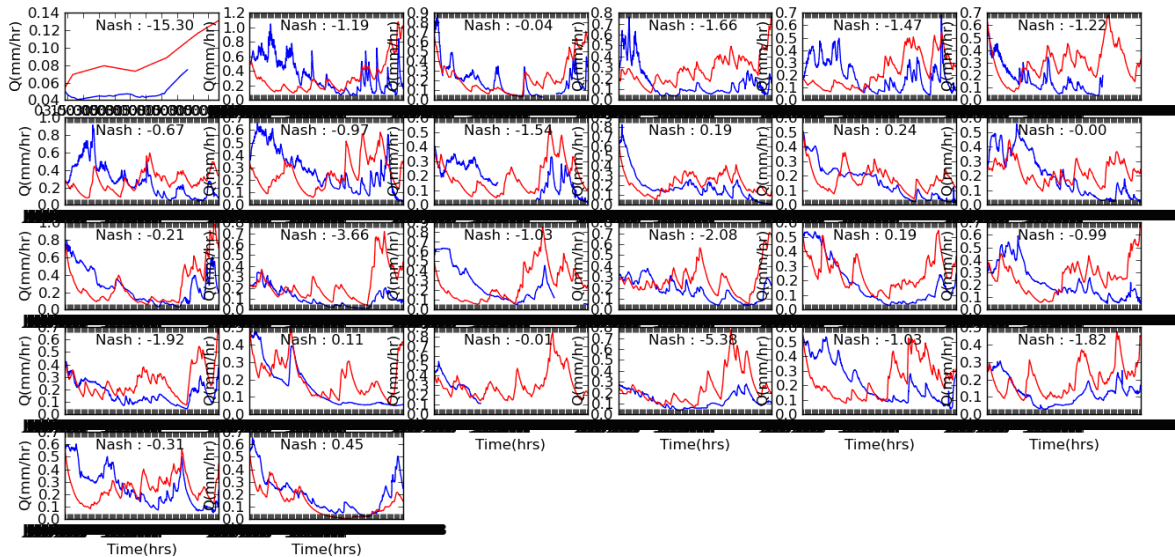
Figur B.3 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Viveli

Likninga $0.08\ln(Q)^2 + 1.48\ln(Q) + (-4.98)$ er basert på 38 272 utvalte måleverdiar i 82 bins. Alle utvalte data er vist til venstre på figur 4.2. Utvalde data tilsvarer 16 % av alle data for feltet.

Tabell B.2, karakteristiske parametrar Viveli

Parameter	Verdi
Areal	391 km ² (-17 km ²)
Lengde på tidsserie	28 år (1982-2010)
Max høgde	1686 moh
Effektiv sjøprosent	0.08 %
Skogprosent	0.84 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	7.4 %
Snaufjellprosent	88.56 %
Middel tilsig	18.1 liter/sekund km ²

Plotta tilsvarer sommarhalvåret (01.06 til 31.10) for 1982 til 2008 (for 1982 er det berre 27.10 til 31.10 som er simulert, då det kun er data for denne perioden). 2009 og 2010 manglar for mykje data og er derfor ikkje simulert.

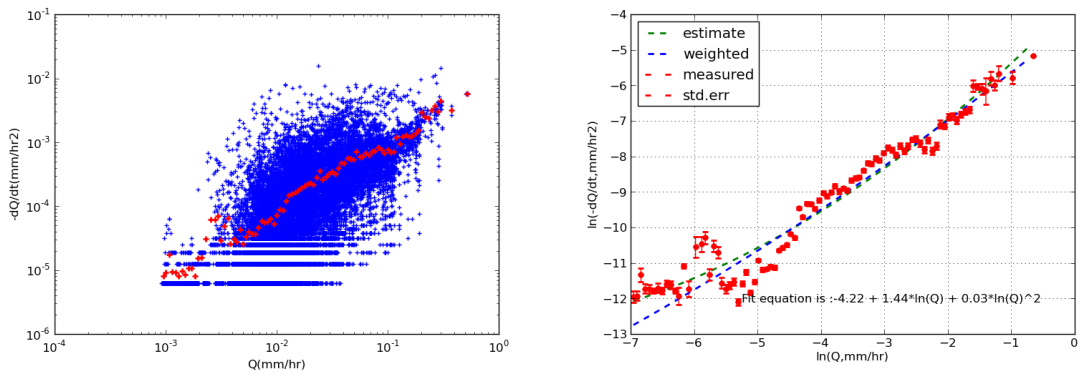


Figur B.4 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning for Viveli

B.3 Etna

Målestasjonen i nedbørfeltet til Etna er vist som nummer 16 i figur 3.1. Dette er nord i Buskerud og ein del av Randfjordvasdraget (i Drammenvassdraget). Målestasjonen er konsesjonspålagt.

P_{back} er satt til 36 timar. Punktskya til venstre på figur 4.3 vis dei 26 524 utvalde datapunkta med blå kryss og middelvarden for dei 91 intervalla er markert med raude kryss. Det er 13 % av tilgjengelig data som er valt ut i Parameter Estimator. Figuren til høyre viser at likninga $0.03 \ln(Q)^2 + 1.44 \ln(Q) + (-4.22)$.

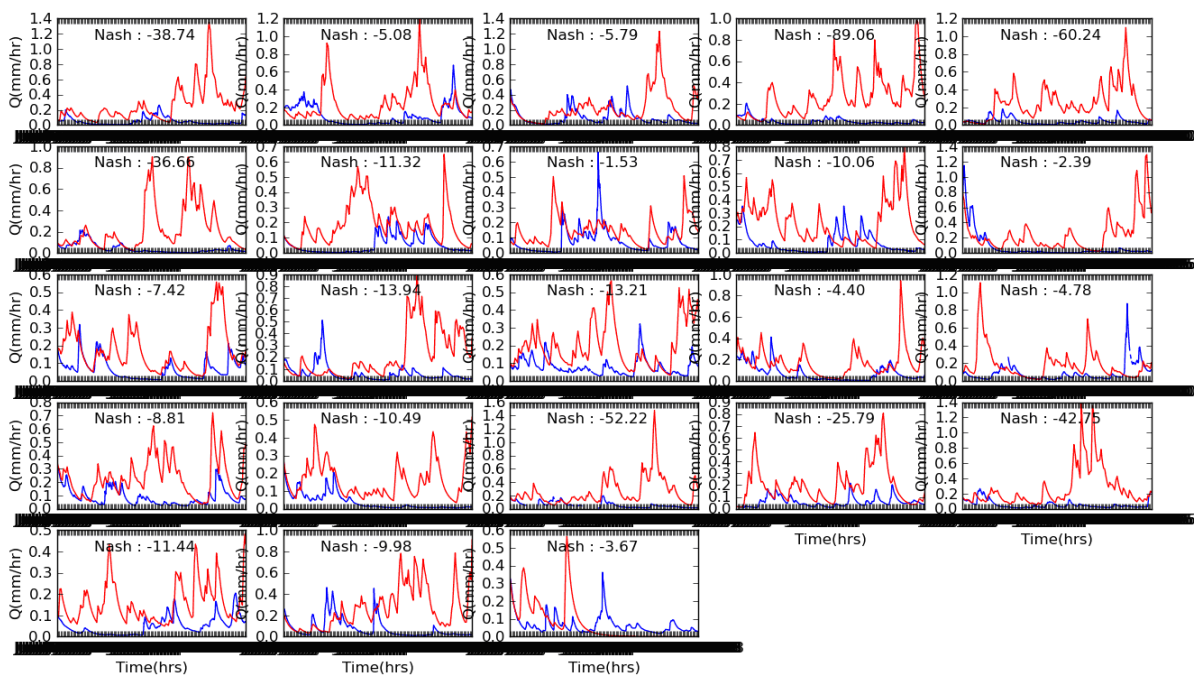


Figur B.5 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Etna

Tabell B.3, karakteristiske parametrar Etna

Parameter	Verdi
Areal	570 km ²
Lengde på tidsserie	24 år (1986-2010)
Max høgde	1678 moh
Effektiv sjøprosent	0.3 %
Skogprosent	46.7 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	4.4 %
Snaufjellprosent	12.7 %
Middel tilsig	7.26 liter/sekund km ²

Simuleringa viser alle år 1986-2008. 2009 manglar mykje data og 2010 har berre data til 15. jan, desse åra er derfor ikkje med i simuleringa.



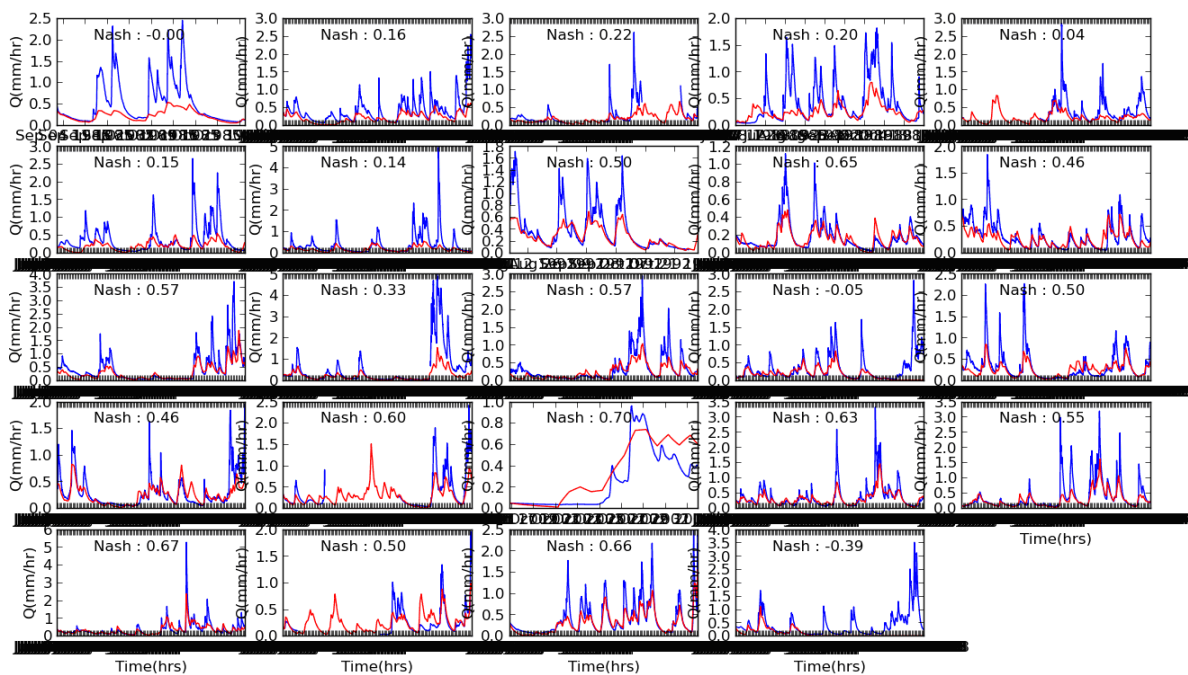
Figur B.6 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning for Etna

B.4 Holmen

Tabell B.4, karakteristiske parametrar Holmen

Parameter	Verdi
Areal	117 km ²
Lengde på tidsserie	25 år (1985-2010)
Max høgde	1186 moh
Effektiv sjøprosent	1.38 %
Skogprosent	30.3 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	7.9 %
Snaufjellprosent	43.5 %
Årleg tilsig	333 million m ³
Middel tilsig	10.56 liter/sekund km ²

Simuleringa i figur B.4 viser først 02.09 til 31.10 1985, der etter sommarhalvåret (01.06-31.10) for 1986-2008. 2009 og 2010 har for lite data til å bli simulert.

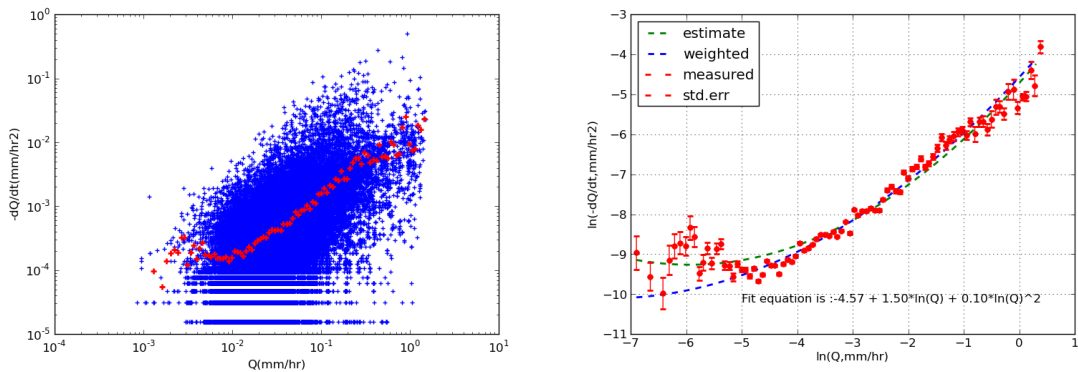


Figur B.7 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning for Holmen

B.5 Hølen

Målestasjonen til nedbørfeltet er vist som nr 10 på kartet i figur 3.1, ved Kinso aust i Hordaland. Frå 01.01.1916 er feltet påverka av ei lita regulering (magasinering).

P_Back er satt til 36 timar. Likninga $0.10\ln(Q)^2 + 1.50\ln(Q) + (-4.57)$ er basert på et utval av 65 699 data i 91 intervall, som vist i figur X. Utvalet representerer 19 % av alle tilgjengelige data.

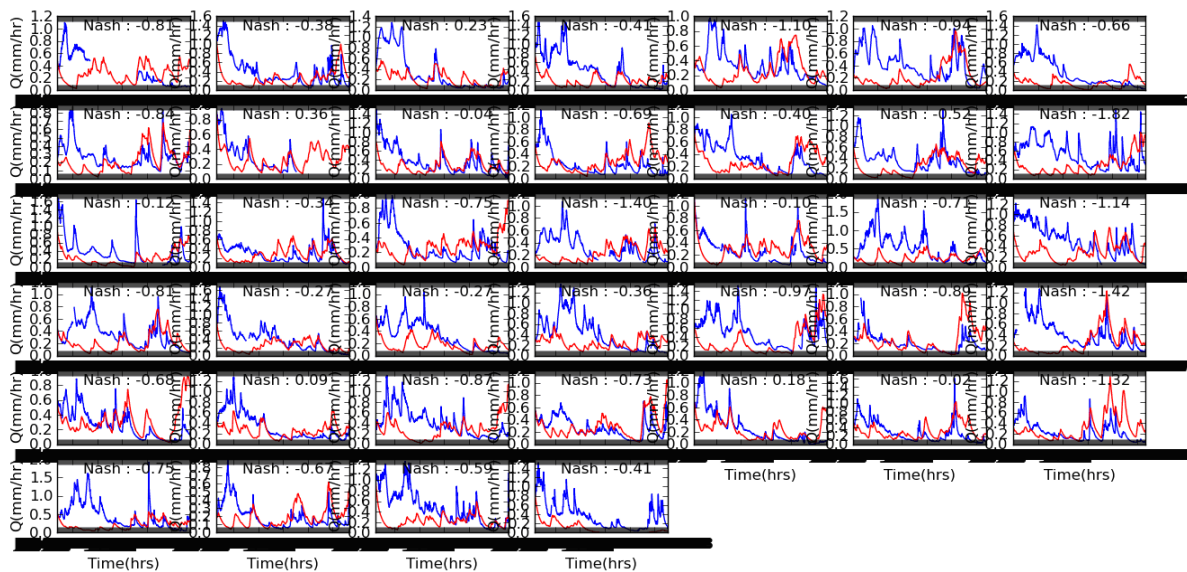


Figur B.8 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Hølen

Tabell B.5, karakteristiske parametrar Hølen

Parameter	Verdi
Areal	232 km ²
Lengde på tidsserie	41 år (1970-2010)
Max høgde	1686 moh
Effektiv sjøprosent	0 %
Skogprosent	1.85 %
Breprosent	0.35 %
Sjøprosent	0 %
Snaufjellprosent	88.4 %
Middel tilsig	12.37 liter/sekund km ²

Simuleringa i figur B.5 sommarhalvåret frå 1970 til 2008. 2009 og 2010 har for lite data til å bli simulert.

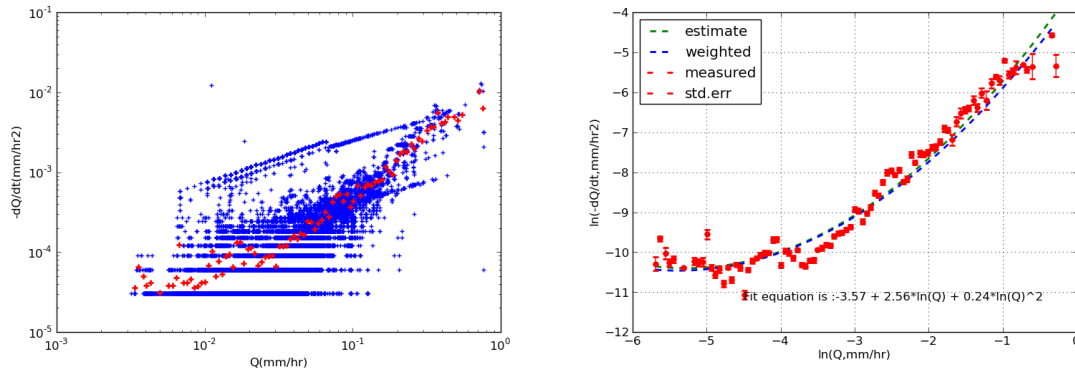


Figur B.9 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning for Hølen

B.6 Narsjø

Målestasjonen til Narsjø er vist som nummer 27 i figur 3.1, ein del av Glomma, Nøra nord i Hedmark. Målestasjonen er konsesjonspålagt (nve.no).

P_{back} satt til 12 timar. Likninga $0.24\ln(Q)^2 + 2.56\ln(Q) + (-3.57)$ er basert på eit utval av 19 230 datapunkt i 91 intervall. Dette tilsvarer 9 % av den totale datamengda.

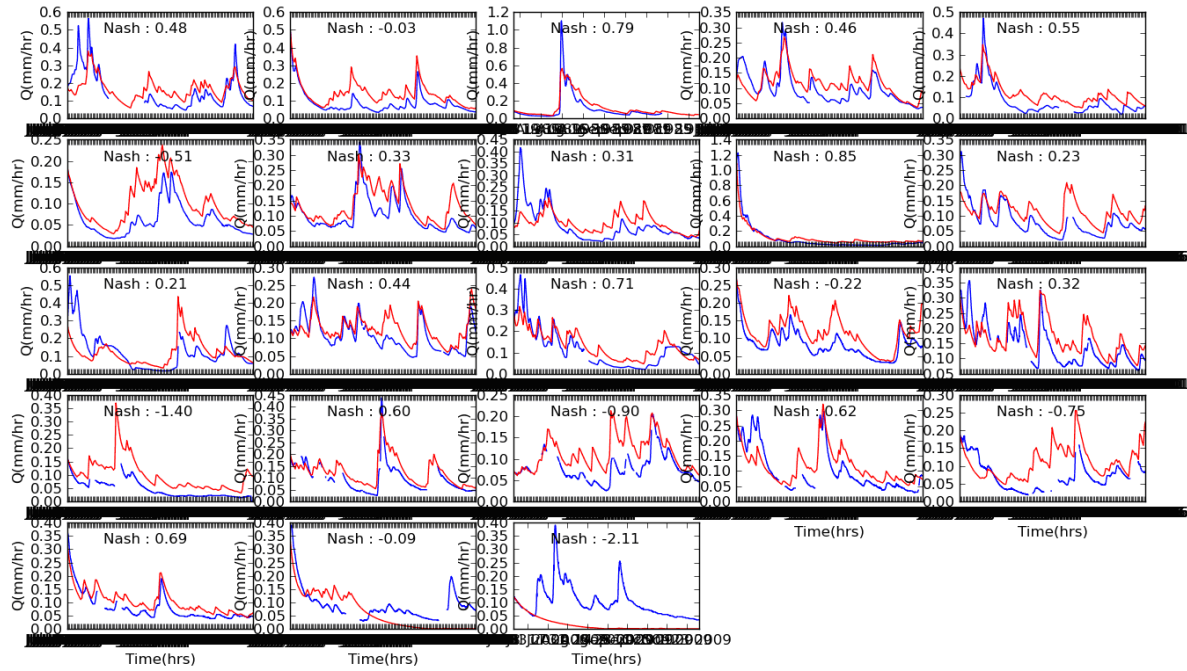


Figur B.10 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Narsjø

Tabell B.6, karakteristiske parametar Narsjø

Parameter	Verdi
Areal	119 km ²
Lengde på tidsserie	24 år (1986-2010)
Max høgde	1595 moh
Effektiv sjøprosent	1.64 %
Skogprosent	23.6 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	3.2 %
Snaufjellprosent	48.7 %
Middel tilsig	2.24 liter/sekund km ²

Simuleringane i figur B.11 viser sommarhalvåret (01.06 til 10.31) for 1986 til 2009.



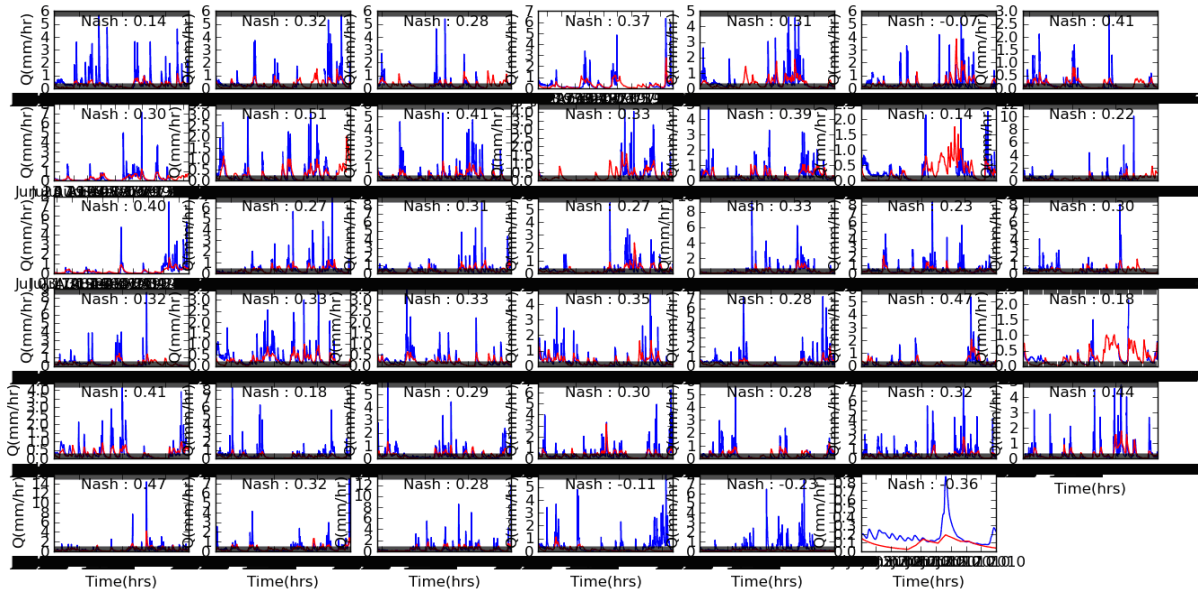
Figur B.11 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning for Narsjø

B.7 Djupevad

Tabell B.7, karakteristiske parametar Djupevad

Parameter	Verdi
Areal	31.9 km ²
Lengde på tidsserie	40 år (1970-2010)
Max høyde	1152 moh
Effektiv sjøprosent	- %
Skogprosent	42.5 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	2.9 %
Snaufjellprosent	50.6 %
Middel tilsig	3.44 liter/sekund km ²

Figur B.12 viser simuleringa for sommarhalvåret for 41 år, 1970-2010.



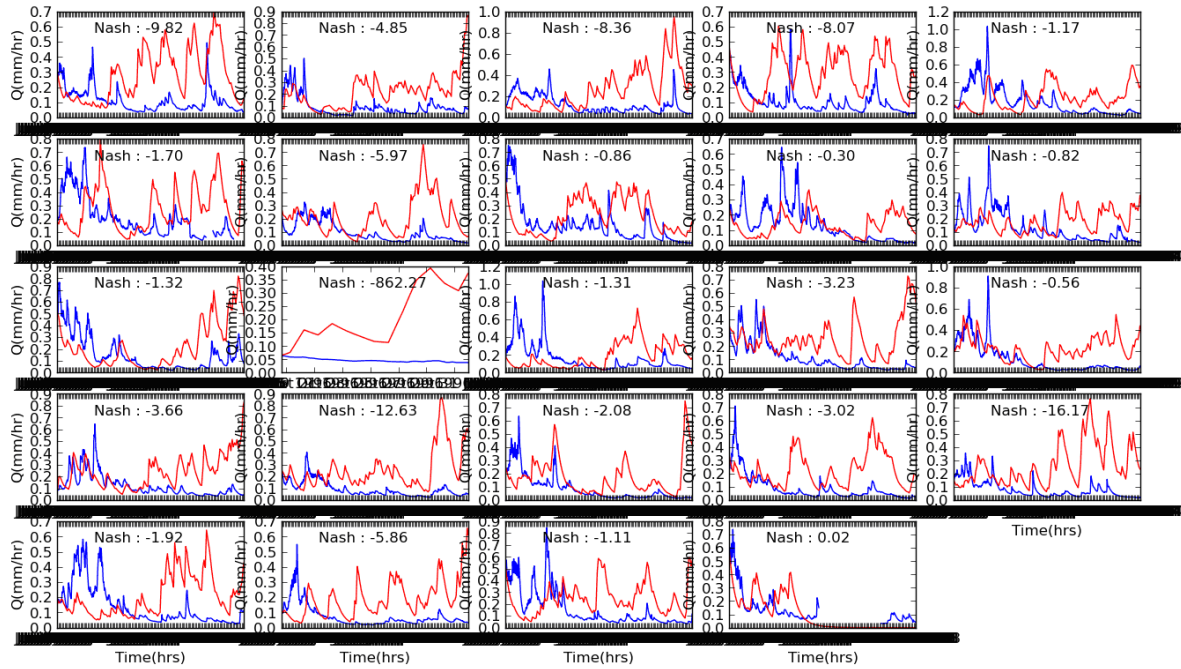
Figur B.12 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning, Djupevad

B.8 Lo bru

Tabell B.8, karakteristiske parametar Lo bru

Parameter	Verdi
Areal	562 km ²
Lengde på tidsserie	25 år (1985-2010)
Max høyde	1918 moh
Effektiv sjøprosent	0.39 %
Skogprosent	9.3 %
Breprosent	0.54 %
Sjøprosent	7.8 %
Snaufjellprosent	77.9 %
Middel tilsig	17.34 liter/sekund km ²

Simuleringa i figur B.13 viser sommarhalvåret 1985 til 2008.



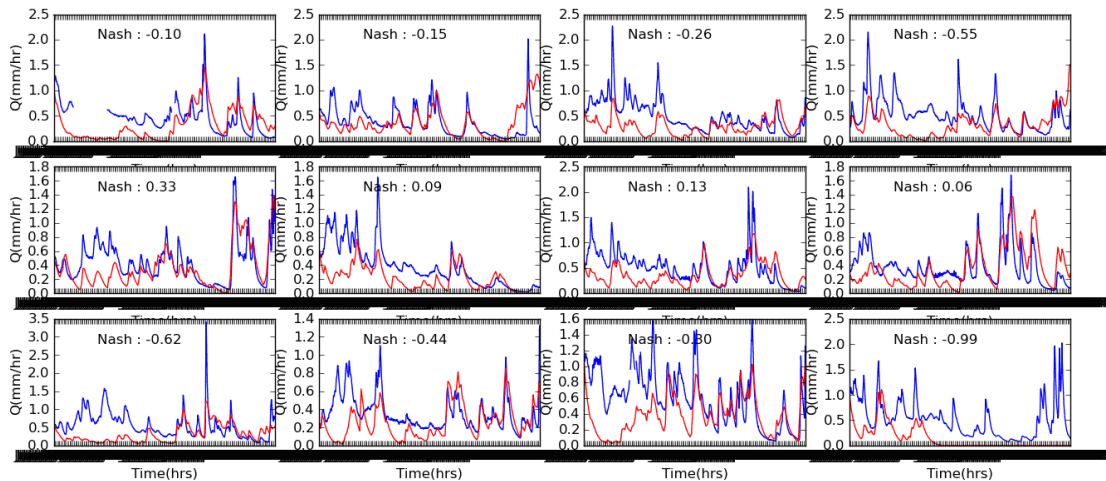
Figur B.13 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning for Lo bru

B.9 Sandvenvatn

Tabell B.9, karakteristiske parametrar Sandvenvatn

Parameter	Verdi
Areal	470 km ²
Lengde på tidsserie	13 år (1997-2010)
Max høgde	1652 moh
Effektiv sjøprosent	1.2 %
Skogprosent	21.3 %
Breprosent	7.5 %
Sjøprosent	6.6 %
Snaufjellprosent	59.7 %
Middel tilsig	40.78 liter/sekund km ²

Simuleringa i figur B.14 viser sommarhalvåret (1.6 til 31.10) 1997 til 2008.

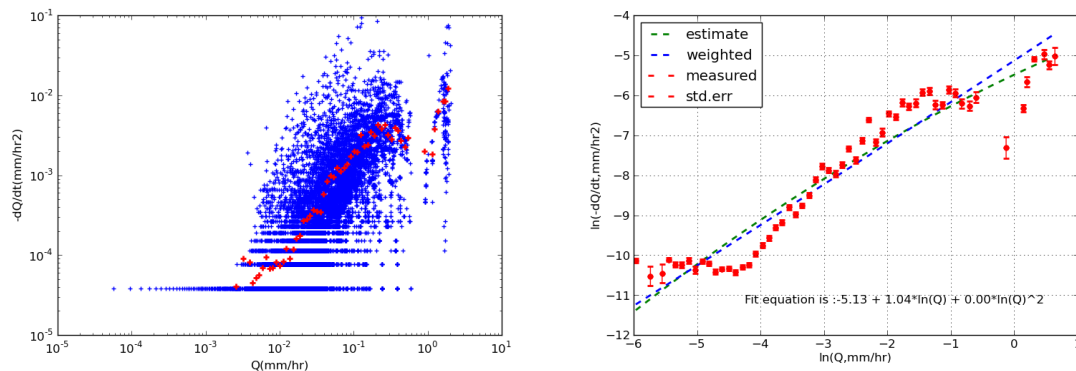


Figur B.14 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning for Sandvenvatn

B.10 Borgåi

Borgåi er vist som nummer 21 på karter i figur 3.1, i Numedalslågen, Buskerud. Målestasjonen er konsesjonspålagt. Vanskelig å finne godt målested for høy og låg vassføring (nve.no).

P_Back er satt til 12 timar. Likninga $0.00\ln(Q)^2 + 1.04\ln(Q) + (-5.13)$ er basert på eit utval av 16 983 i 57 intervall, så figur 4.10. Utvalet representerer 13 % av tidsserien for feltet.

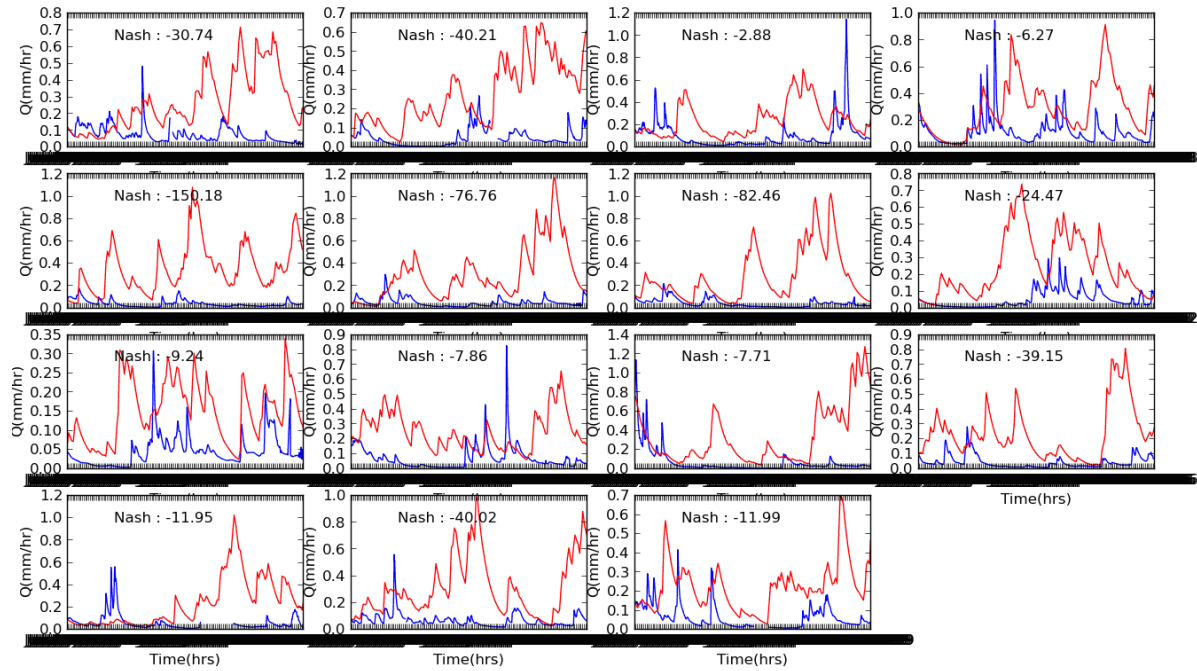


Figur B.15 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Borgåi

Tabell B.10, karakteristiske parametar Borgåi

Parameter	Verdi
Areal	94 km ²
Lengde på tidsserie	14 år (1985-1999)
Max høgde	1313 moh
Effektiv sjøprosent	0.29 %
Skogprosent	46.7 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	4.3 %
Snaufjellprosent	29.1 %
Middel tilsig	1.55 liter/sekund km ²

Figur B.16 visert simulert og observert avrenning for sommarhalvåret (01.06 til 31.10) for 1985 til 1999.

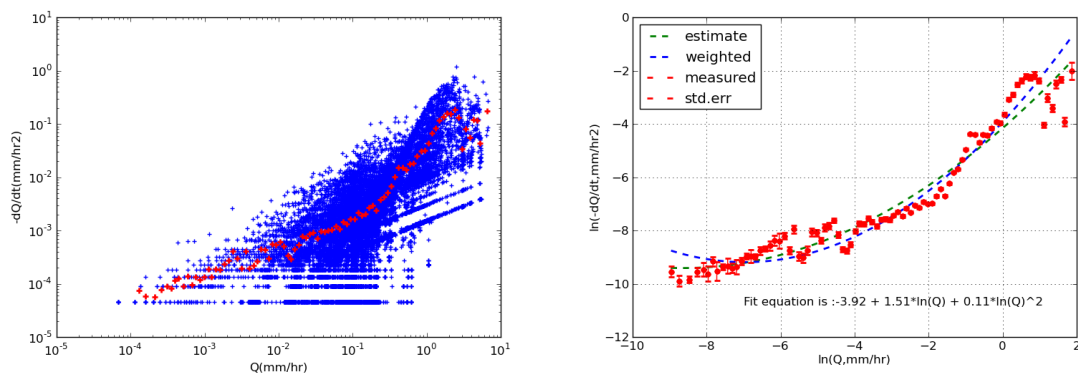


Figur B.16 Simulert (raud) og observert avrenning (blå) for Borgåi

B.11 Eidevatn

Eidevatn er vist som nummer 9 på kartet i figur 3.1, i Jondalselvi, Hordaland. Feltet er sterkt regulert med magasinering frå 02.22.1935 og overføringar både inn og ut sidan 1974. Vatn blir overført inn i feltet frå Kvanngrovatn i Storelvi og eit lite delt i Bleielvi. Vatn blir overført ut gjennom Jukla kraftverk i Øyreselva og vidare til Mysevattn i Austrepollrelva.

P_Back er satt til 12 timar ut frå arealet. Dette gir eit utplukk av 19 448 datapunkt, tilsvarende 12 % av den totale datamengda. Utvalde data er delt i 88 bin.



Figur B.17 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Eidevatn

Tabell B.11, karakteristiske parametrar Eidevatn

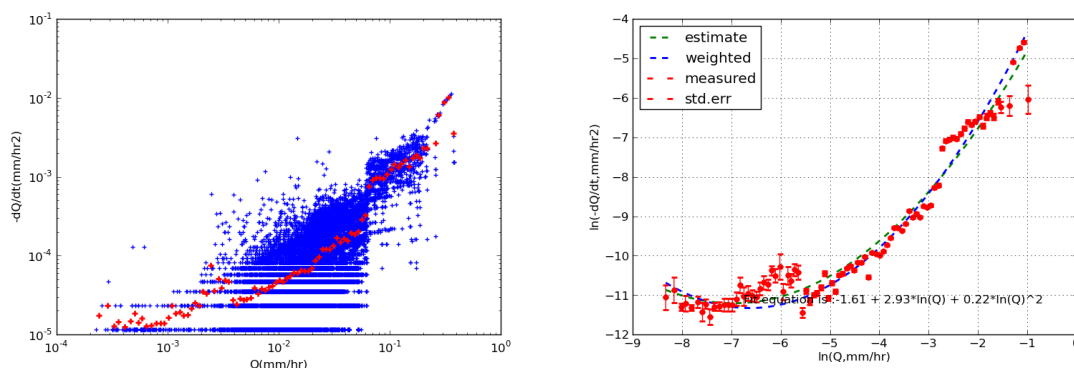
Parameter	Verdi
Areal	79.2 km ²
Lengde på tidsserie	19 år (1987-2006)
Max høgde	1642 moh
Effektiv sjøprosent	1.39 %
Skogprosent	27.1 %
Breprosent	8.9 %
Sjøprosent	6.7 %
Snaufjellprosent	52.5 %
Middel tilsig	7.54 liter/sekund km ²

Eidevatn gir feilmeldinga ”ValueError: math domain error. ValueError: (33, 'Domain error')” ved forsøk på simulering.

B.12 Eggedal

Eggedal er vist som nummer 22 på karet i figur 3.1, i Drammenselva ved Simoa. Målestasjonen er ein forvaltningsstasjon.

P_Back er satt til 36 timar. Figur 4.12 viser utplukket av 24 154 data som er delt inn i 91 bins, gjennomsnittsverdien er markert med røde stjerner. Utvalde data representerer 11 % av den totale datamengde.

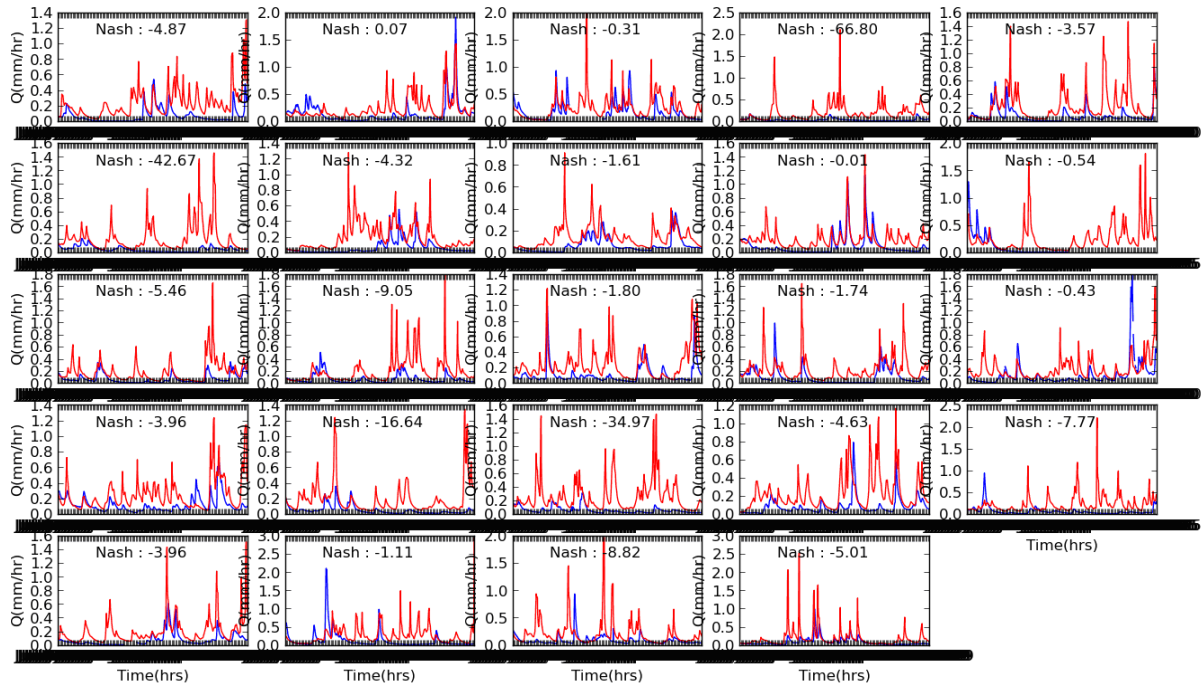


Figur B.18 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Eggedal

Tabell B.12, karakteristiske parametrar Eggedal

Parameter	Verdi
Areal	309 km ²
Lengde på tidsserie	24 år (1986-2010)
Max høgde	1463 moh
Effektiv sjøprosent	0.57 %
Skogprosent	58.4 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	3.2 %
Snaufjellprosent	21.6 %
Middel tilsig	6.4 liter/sekund km ²

Figur B.19 viser 01. juni til 31. oktober for 1986 til 2010, totalt 24 plot.

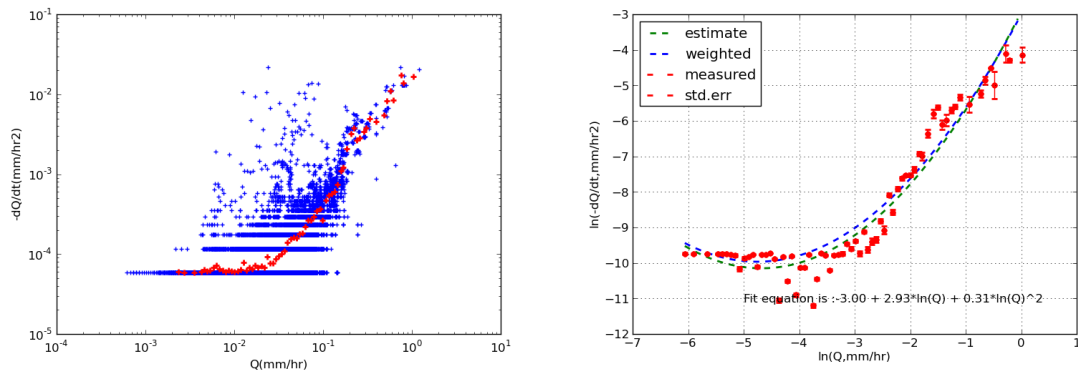


Figur A.19 Simulert (raud) og observert (avrenning) for Eggedal

B.13 Halledalsvatn

Halledalsvatn er vist som nummer 17 på kartet i figur 3.1, i Halledalselva i Numedalslågen, Buskerud. Målestasjonen er konsesjonspålagt.

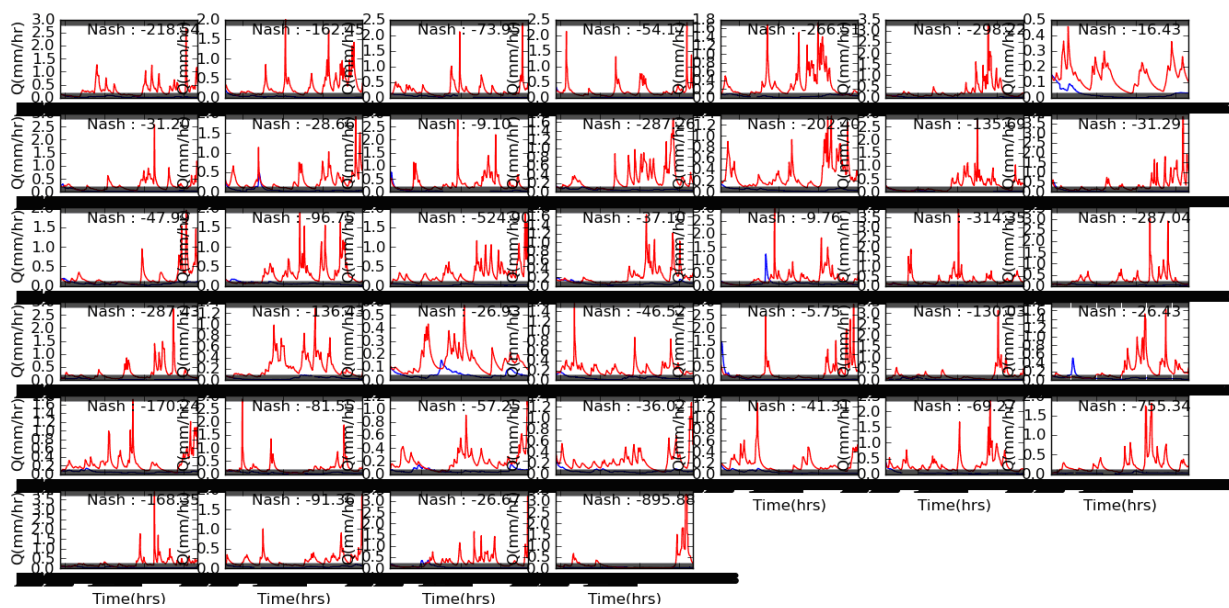
P_Back er satt til 12 timar. Dette gir 32 485 utvalte datapunkt, tilsvarande 9 % av datamengda, i 68 bin.



Figur B.20 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Halledalsvatn

Tabell B.13, karakteristiske parametrar Halledalsvatn

Parameter	Verdi
Areal	61.6 km ²
Lengde på tidsserie	41 år (1970-2010)
Max høyde	1186 moh
Effektiv sjøprosent	3.58 %
Skogprosent	60.7 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	5.6 %
Snaufjellprosent	20.3 %
Middel tilsig	0.87 liter/sekund km ²

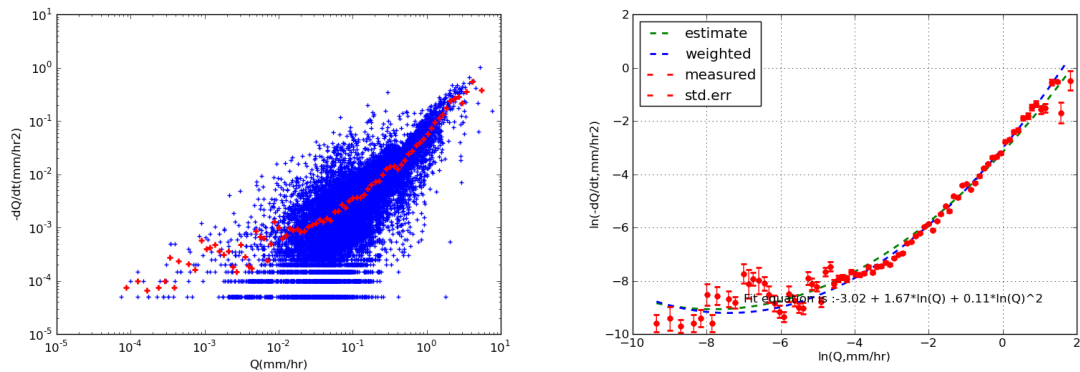


Figur B.21 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning for Halledalsvatn

B.14 Svartavatn

Svartavatn er vist som nummer 6 på figur 3.1, og ligg i Tysseelvi sør i Hordaland.

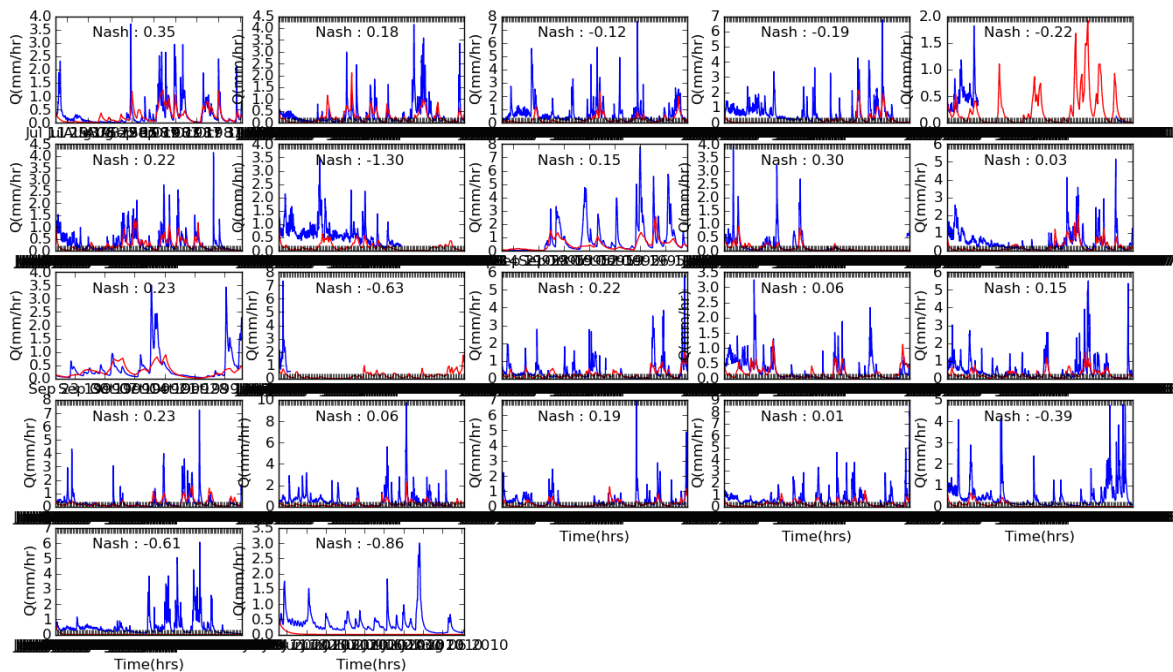
P_{back} er satt til 12 timar. Likninga $0.11\ln(Q)^2 + 1.67\ln(Q) + (-3.02)$ bygger på 19 537 utvalte data i 82 intervall. Utvalet representerer 10 % av den totale data mengda.



Figur B.22 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Svartavatn

Tabell B.14, karakteristiske parametrar Svartavatn

Parameter	Verdi
Areal	72.1 km ²
Lengde på tidsserie	23 år (1987-2010)
Max høgde	1110 moh
Effektiv sjøprosent	0.08 %
Skogprosent	21.4 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	3.1 %
Snaufjellprosent	66 %
Middel tilsig	7.43 liter/sekund km ²

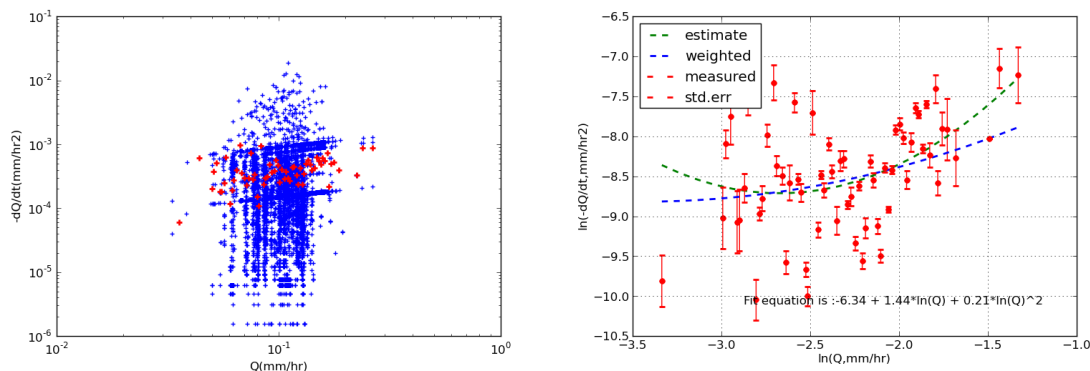


Figur B.23 Simulering (raud) og observert (blå avrenning, Svartavatn)

B.15 Storsjøen ndf. Øra

Storsjøen er vist som nummer 25 på kartet i figur 3.1, ved Rena i Glomma, vest i Hedmark. Feltet er regulert frå 01.01.1940 gjennom magasinering og frå 1971 også ved overføring inn til feltet. Vatn blir overført frå Glomma ved Høyegga til Rena gjennom Rendalen kraftstasjon.

Arealet av nedbørfeltet til målestasjonen er 2335 km².



Figur B.24 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Storsjøen ndf. Øra

Tabell B.15, karakteristiske parametar Storsjøen ndt. Øra

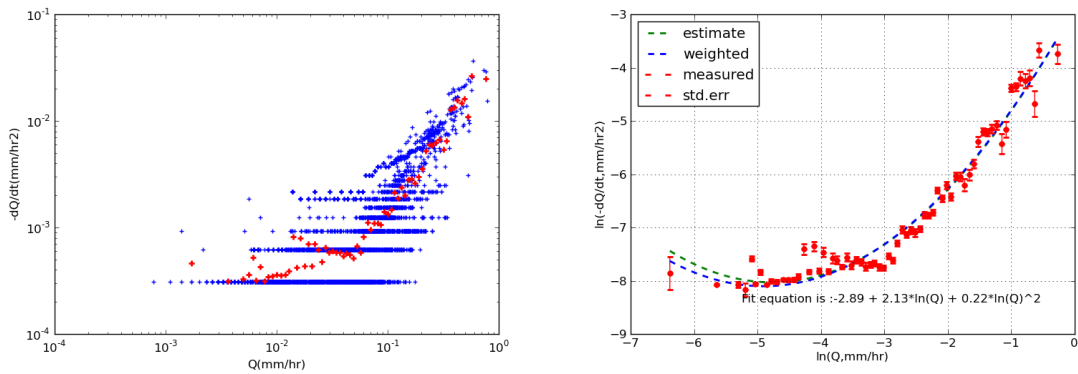
Parameter	Verdi
Areal	2335 km ²
Lengde på tidsserie	25 år (1985-2010)
Max høgde	- moh
Effektiv sjøprosent	2.11 %
Skogprosent	58.1 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	3.3 %
Snaufjellprosent	23.5 %
Middel tilsig	33.2 liter/sekund km ²

Simulering gir feilmeldinga ” ValueError: math domain error”.

B.16 Hangtjern

Hangtjern er market med nummer 19 på figur 3.1, Heieelvi i Drammensvassdraget. Målestasjonen er ein forvaltningsstasjon.

P_Back er satt til 6 timar. Likninga $0.22 \ln(Q)^2 + 2.13 \ln(Q) + (-2.89)$ er basert på 4 603 datapunkt i 67 intervall. Utvalet representerer 3 % av måleserien.

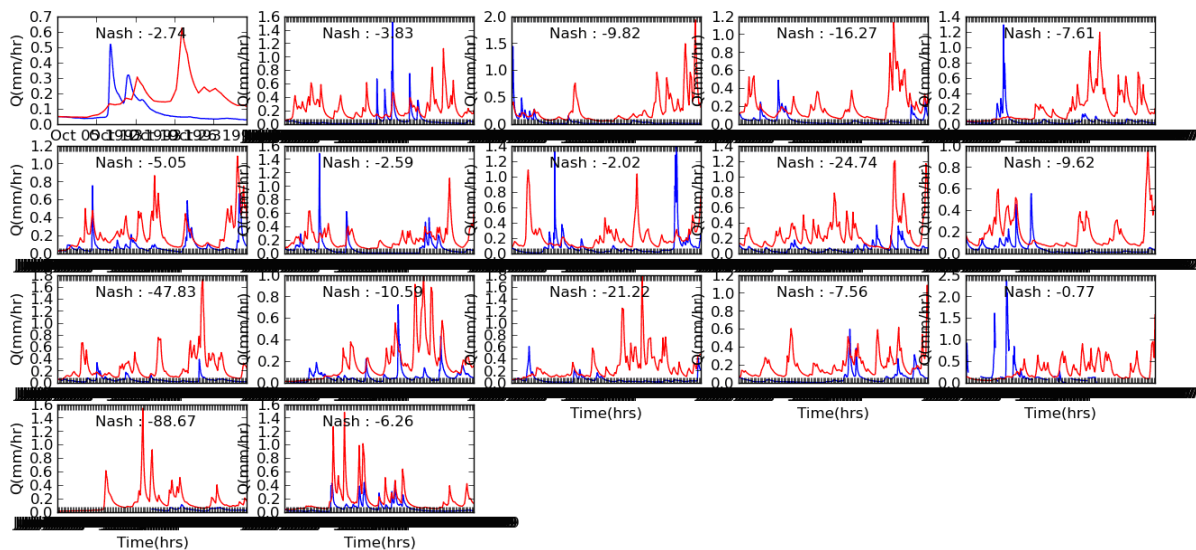


Figur B.25 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Hangtjern

Tabell B.16, karakteristiske parametrar Hangtjern

Parameter	Verdi
Areal	11.6 km ²
Lengde på tidsserie	17 år (1993-2010)
Max høgde	1047 moh
Effektiv sjøprosent	0.63 %
Skogprosent	75.4 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	2.4 %
Snaufjellprosent	6.3 %
Middel tilsig	0.26 liter/sekund km ²

Figur B.14 viser simulert og observert avrenning i sommarhalvåret for 1993 til 2010.



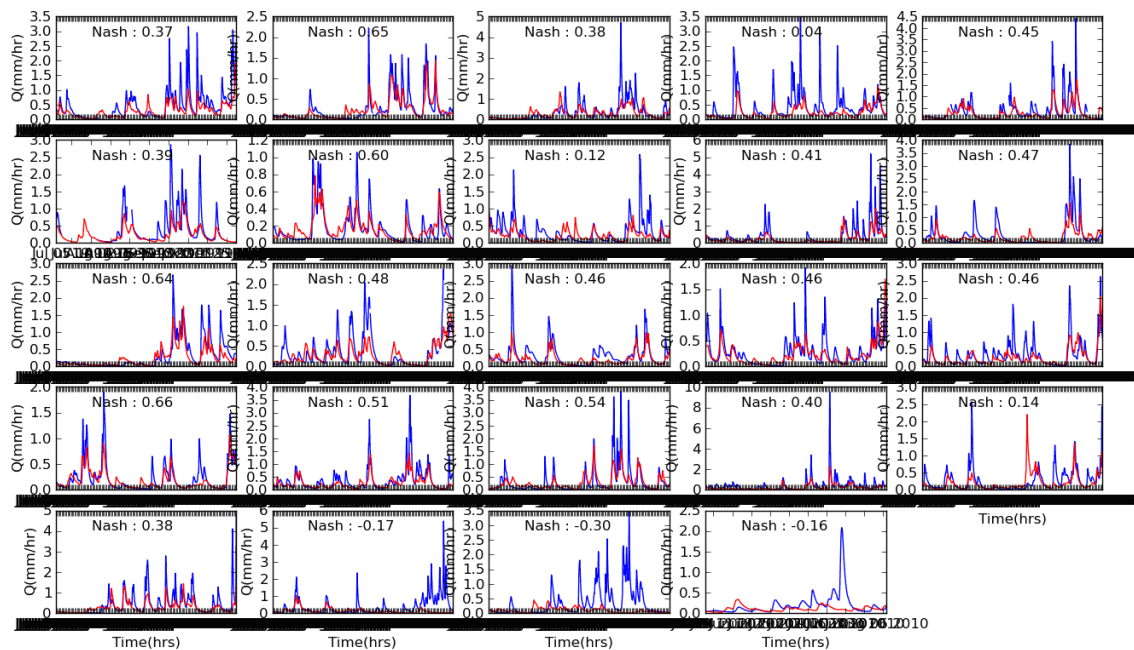
Figur B.26 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning, Hangtjern

B.17 Røykenes

Tabell B.17, karakteristiske parametrar Røykenes

Parameter	Verdi
Areal	50 km ²
Lengde på tidsserie	24 år (1986-2010)
Max høgde	960 moh
Effektiv sjøprosent	2.24 %
Skogprosent	52.2 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	3.9 %
Snaufjellprosent	31.7 %
Middel tilsig	5.0 liter/sekund km ²

Figur B.27 viser simulering for perioden 1986 til 2010 (for 2010 berre 01.06 til 06.08).

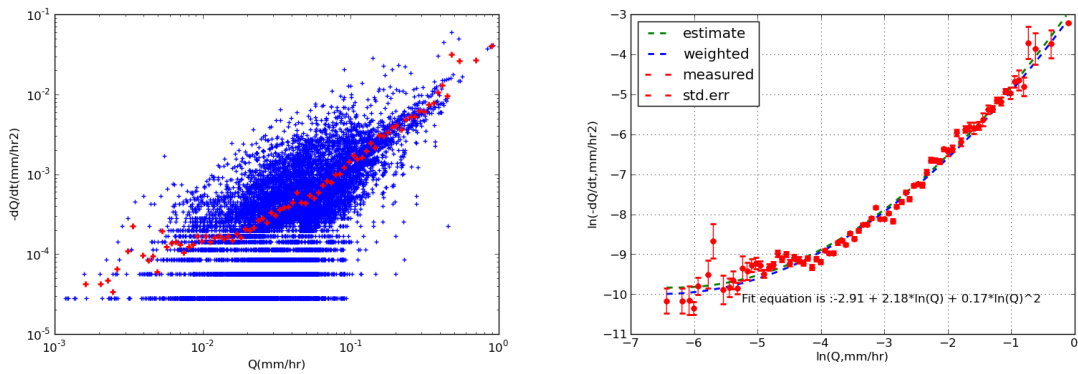


Figur B.27 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning, Røykenes

B.18 Jondalselv

Jondalselv er vist som nummer 24 på figur 3.1, i Jondalselv, Numedalslågen, Buskerud. Målestasjonen er ein forvaltningsstasjon. Stasjonen vart flytta i 1993 på grunn av stadige profil endringar.

P_Back er satt til 12 timar. Likninga $0.17 \ln(Q)^2 + 2.18 \ln(Q) + (-2.91)$ er basert på 16 429 datapunkt i 81 intervall. Dette representerer 11 % av data mengda.

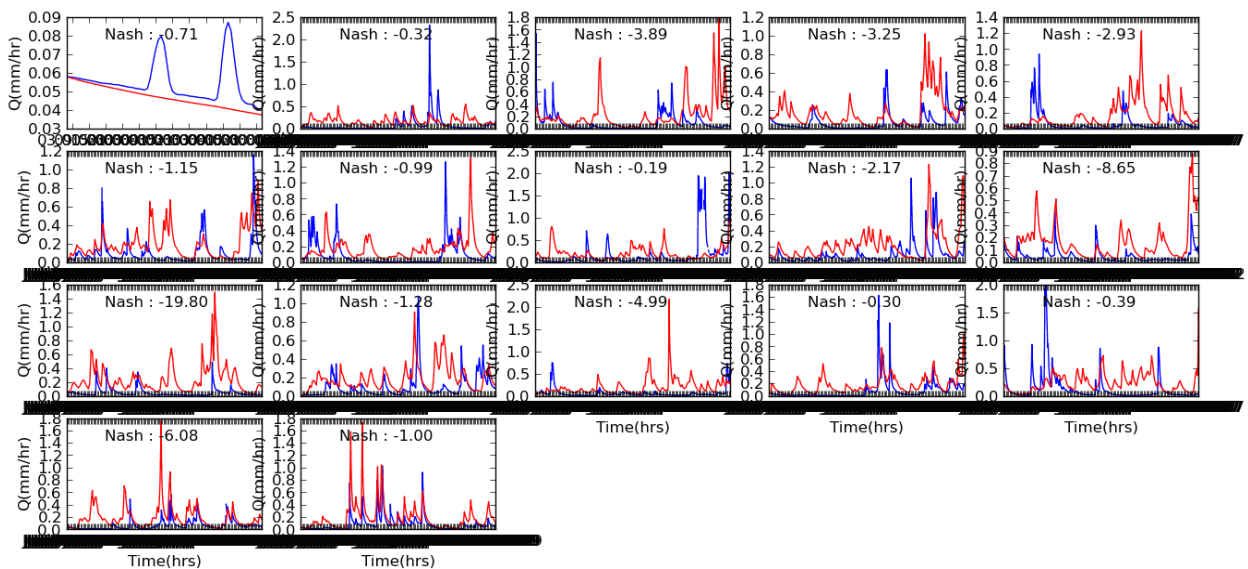


Figur B.28 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Jondalselv

Tabell B.18, karakteristiske parametar Jondalselv

Parameter	Verdi
Areal	127 km ²
Lengde på tidsserie	17 år (1993-2010)
Max høyde	921 moh
Effektiv sjøprosent	0.24 %
Skogprosent	77.4 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	3.4 %
Snaufjellprosent	9.6 %
Middel tilsig	2.87 liter/sekund km ²

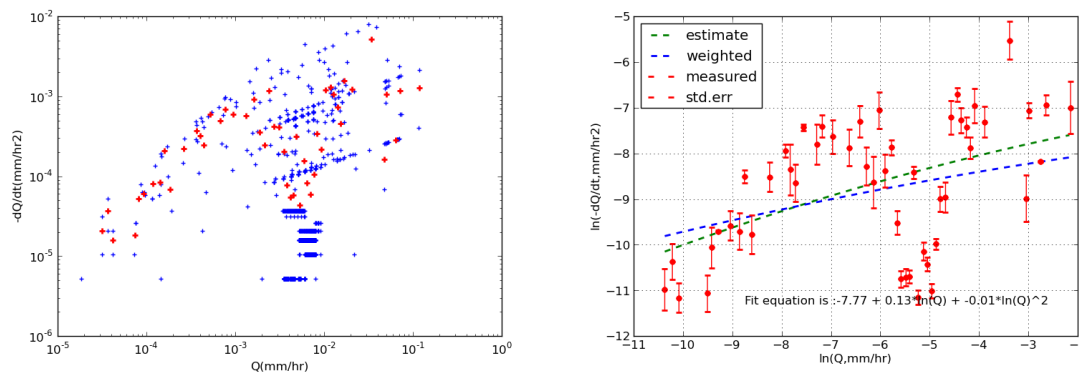
Figur B.16 viser simulering for 17 år, 1993 til og med 2009.



Figur B.29 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning, Jondalselv

B.19 Fønnebofjord

Fønnebofjord er vist som nummer 20 på kartet i figur 3.1, i Buskerud. Målestasjonen er konsesjonspålagt. Ny terskel og vassføringskurve frå 01.09.1987. Arealet som drenerer til denne målestasjonen er 688 km². På bakgrunn av dette arealet burde P_Back vere 36 timar. Dette gir et utval av 992 verdiar, 0.5 % av den totale data mengda. P_Back lik 1 time gir eit utval på 1 %.



Figur B.30 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Fønnebofjord

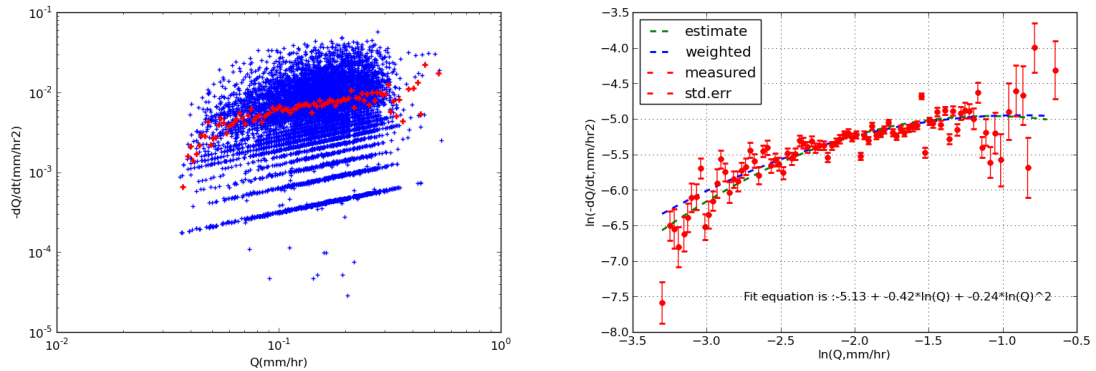
Tabell B.19, karakteristiske parametarar Fønnebofjord

Parameter	Verdi
Areal	688 km ²
Lengde på tidsserie	21 år (1986-2007)
Max høgde	1489 moh
Effektiv sjøprosent	0.73 %
Skogprosent	20.9 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	6.4 %
Snaufjellprosent	62.9 %
Middel tilsig	14.5 liter/sekund km ²

Forsøk på simulering gir feilmelding "ValueError: math domain error".

B.20 Vassbygdvatn

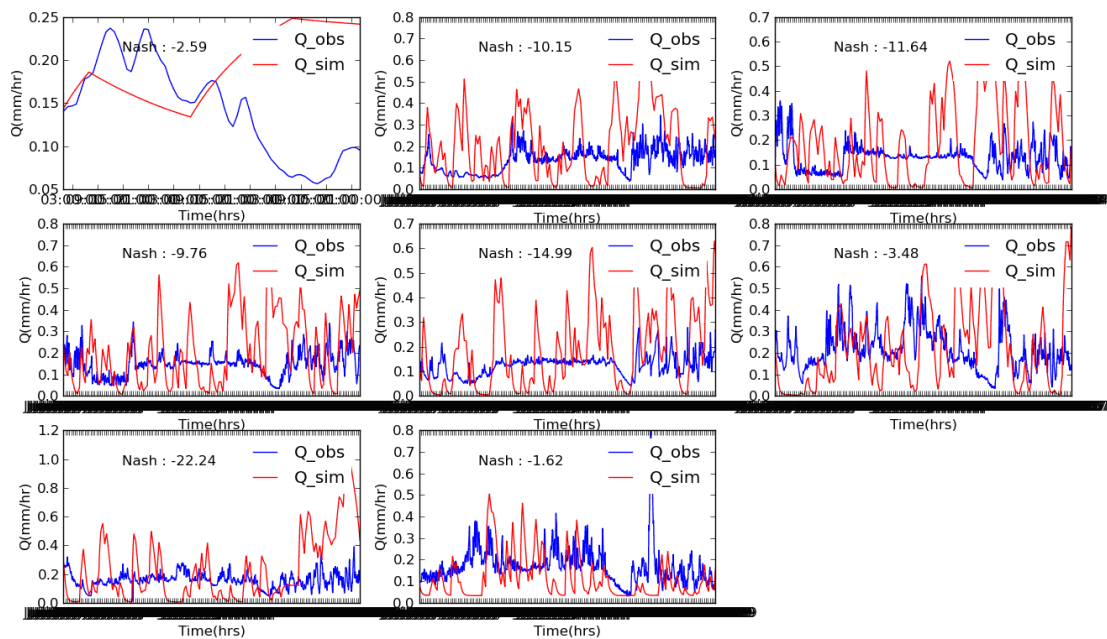
Vassbygdvatn er vist som nummer 4 på figur 3.1, dette er like ved felt nummer 3 Brekke bru, sør i Sogn og Fjordane. Feltet er regulert fra 19.08.1980.



Figur B.31 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Vassbygdvatn

Tabell B.20, karakteristiske parametrar Vassbygdvatn

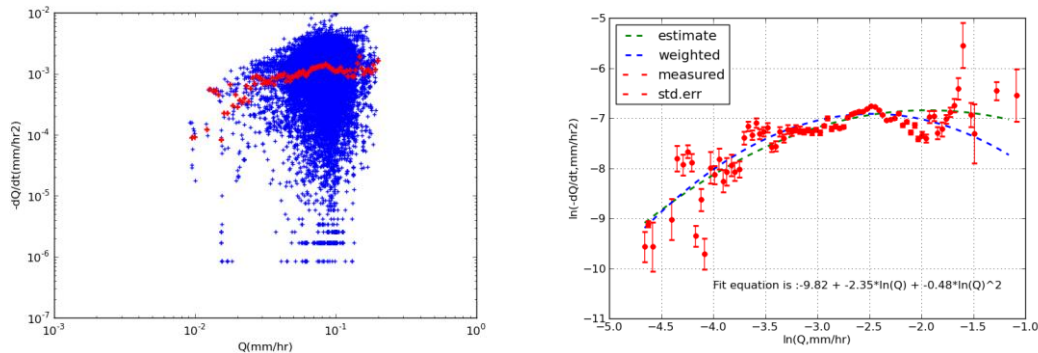
Parameter	Verdi
Areal	759 km ²
Lengde på tidsserie	8 år (2002-2010)
Max høgde	1767 moh
Effektiv sjøprosent	0.55 %
Skogprosent	5.4 %
Breprosent	2.3 %
Sjøprosent	11.2 %
Snaufjellprosent	79.1 %
Middel tilslag	36.1 liter/sekund km ²



Figur B.32 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning for Vassbygdvatn

B.21 Bergheim

Bergheim er vist som nummer 18 på kartet i figur 3.1, i Hallingdalselva, Drammenselva, Buskerud. Nedbørfeltet til Bergheim har eit areal på 4243 km². Bergheim er regulert med magasinering sidan 01.01.1940. Frå 21.06.1968 er det overført vatn til feltet frå Rødungen (43 km²).

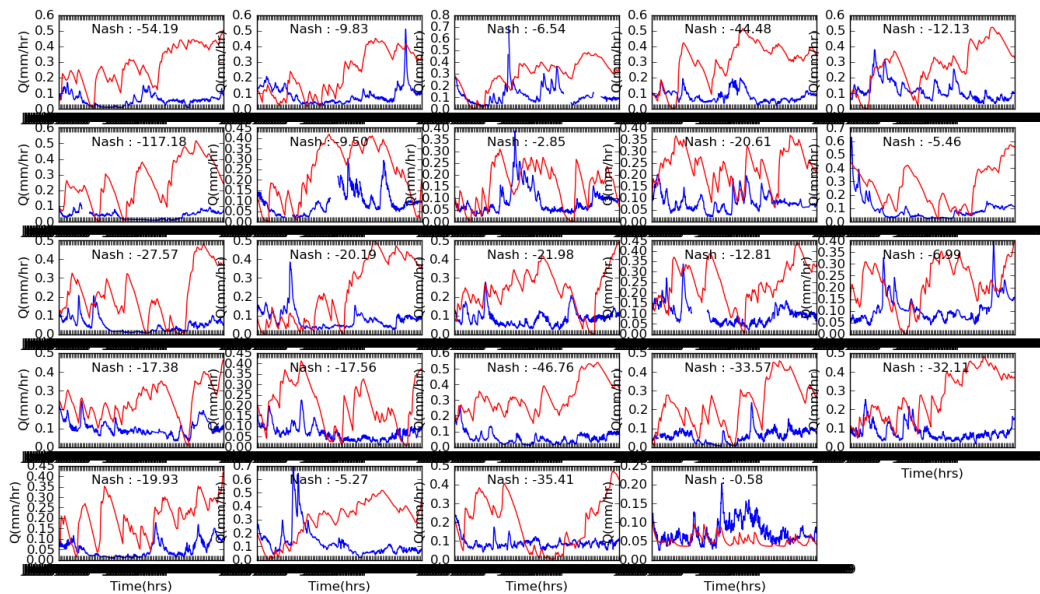


Figur B.32 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Bergheim

Tabell B.21, karakteristiske parametarar Bergheim

Parameter	Verdi
Areal	4243 km ²
Lengde på tidsserie	24 år (1986-2010)
Max høgde	1930 moh
Effektiv sjøprosent	0.15 %
Skogprosent	34.8 %
Breprosent	0.94 %
Sjøprosent	6.4 %
Snaufjellprosent	44.7 %
Middel tilsig	101 liter/sekund km ²

Figur B.33 viser simuleringar for sommarhalvåret 1986-2009.

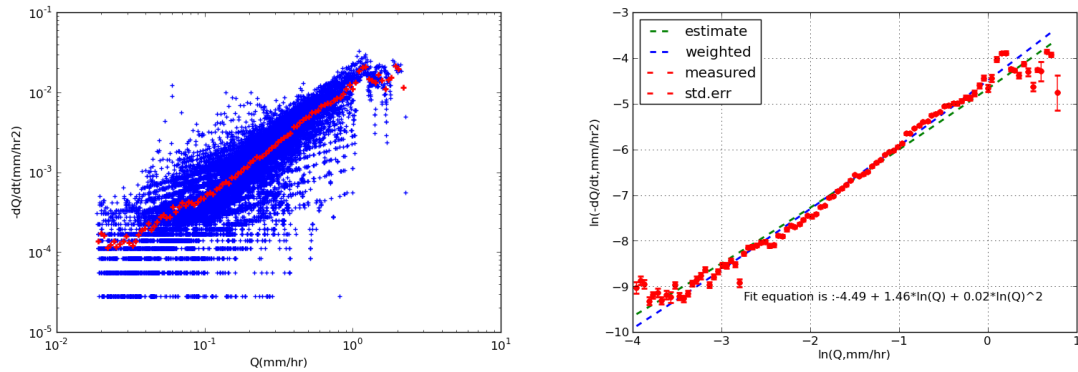


Figur B.33 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning, Bergheim

B.22 Stordalsvatn

Stordalsvatn er vist som nummer 14 på figur 3.1, i Etneelva, Hordaland.

P_Back er satt til 24 timer, ut frå arealet av nedbørfeltet. Likninga $0.02 \ln(Q)^2 + 1.46 \ln(Q) + (-4.49)$ er basert på 24 604 målingar i 98 bins. Utvalet representerer 11 % av data mengda.

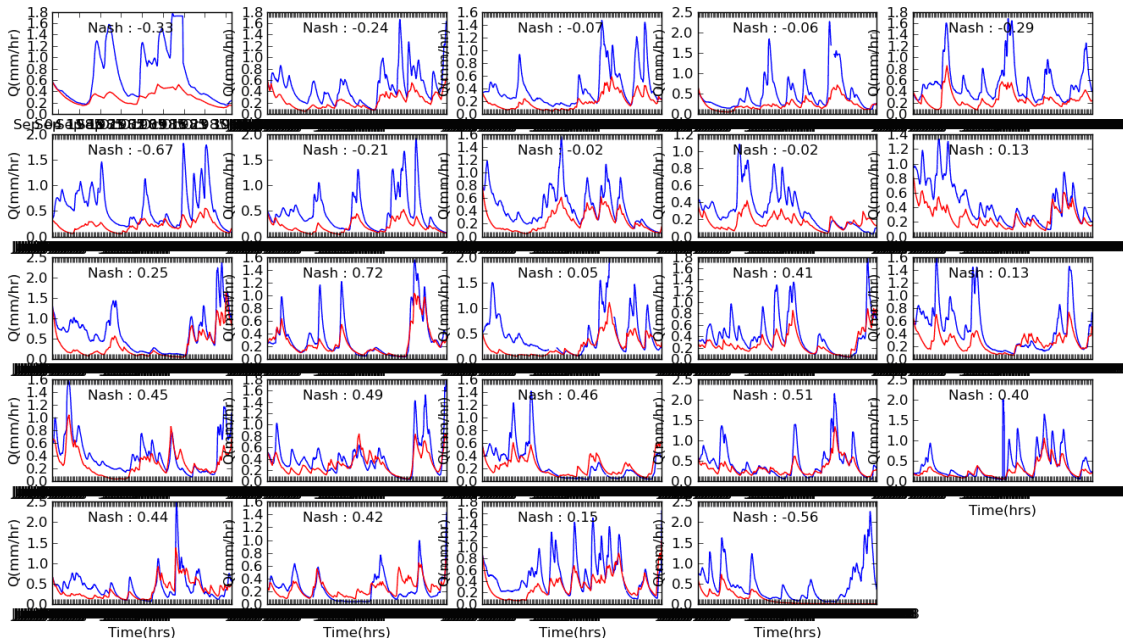


Figur B.34 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Stordalsvatn

Tabell B.22, karakteristiske parametar Stordalsvatn

Parameter	Verdi
Areal	129 km ²
Lengde på tidsserie	25 år (1985-2010)
Max høgde	1297 moh
Effektiv sjøprosent	6.38 %
Skogprosent	25.0 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	10.7 %
Snaufjellprosent	58.5 %
Middel tilsig	13.3 liter/sekund km ²

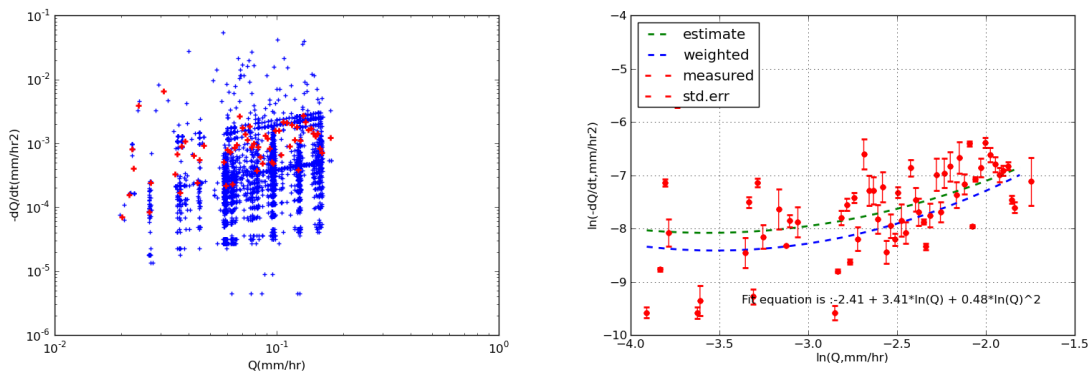
Figur B.19 viser simuleringar for sommarhalvåret frå 1985 til og med 2008.



Figur B.35 Simulert (rød) og observert (blå), Stordalsvatn

B.23 Glåmos bru

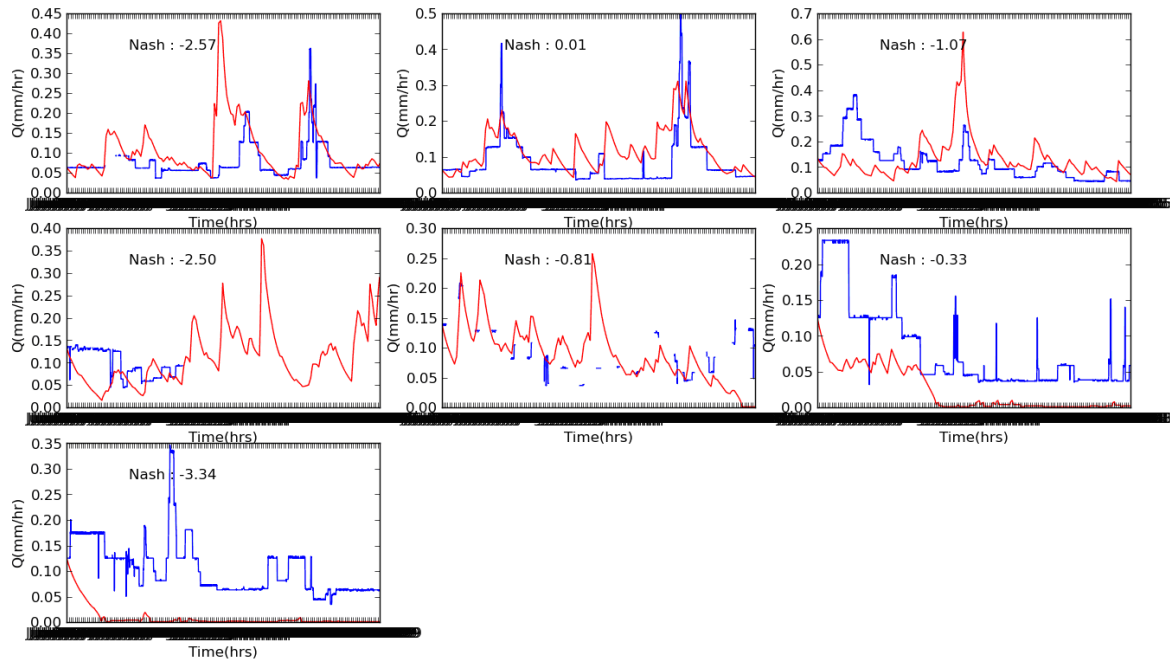
Glåmos bru er vist som nummer 28 på kartet i figur 3.1, i Glomma, søraust i Sør – Trøndelag. Feltet er regulert (magasinerings) frå 01.01.1923. Dette er også klart ut frå observert vassføring.



Figur B.36 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) Glomås bru

Tabell B.23, karakteristiske parametar Glåmos bru

Parameter	Verdi
Areal	797 km ²
Lengde på tidsserie	7 år (2003-2010)
Max høgde	- moh
Effektiv sjøprosent	5.8 %
Skogprosent	34.4 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	12 %
Snaufjellprosent	32.3 %
Middel tilsig	20.11 liter/sekund km ²



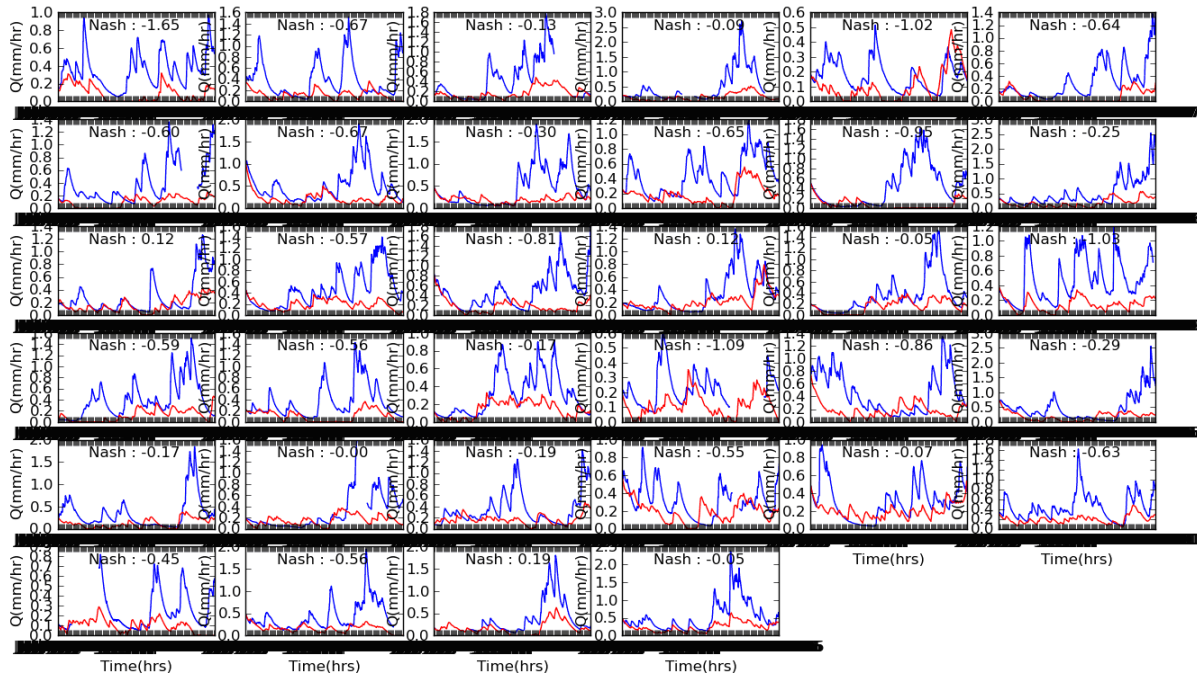
Figur B.37 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning, Glåmos bru

B.24 Kløvtveitvatn

Tabell B.24, karakteristiske parametrar Kløvtveitvatn

Parameter	Verdi
Areal	4.51 km ²
Lengde på tidsserie	35 år (1971-2006)
Max høyde	638 moh
Effektiv sjøprosent	21.0 %
Skogprosent	23.5 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	21.5 %
Snaufjellprosent	55.0 %
Middel tilsig	0.61 liter/sekund km ²

Figur B.38 viser simuleringar frå 1972 til 2005, totalt 34 år.

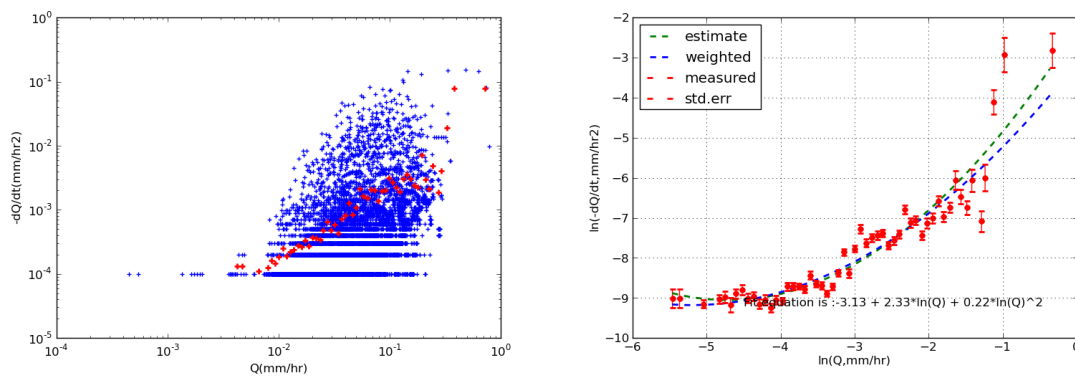


Figur B.38 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning, Kløvtveitvatn

B.25 Sørkja

Sørkja er vist som nummer 23 på kartet i figur 3.1, og ligg i Sørkjeåi, Numedalslågen.

P_{back} er satt til 12 timar. Dette gir eit utval av 8 873 datapunkt, dette tilsvarer 11 % av den totale tilgjengelege datamengda. Data er fordelt i 54 bin. Resultatet er likning $0.22 \ln(Q)^2 + 2.33 \ln(Q) + (-3.13)$.

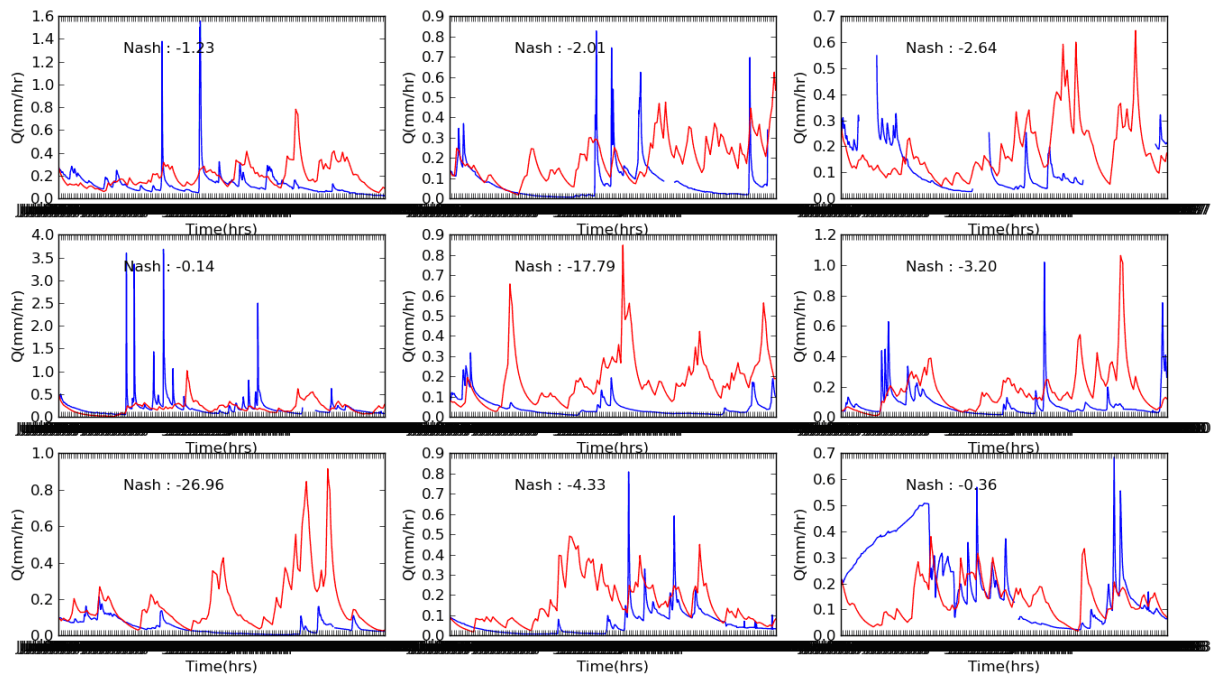


Figur B.39 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Sørkja

Tabell B.25, karakteristiske parametrar Sørkja

Parameter	Verdi
Areal	36.2 km ²
Lengde på tidsserie	12 år (1985-1993)
Max høgde	1206 moh
Effektiv sjøprosent	5.25 %
Skogprosent	67.5 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	11 %
Snaufjellprosent	9.4 %
Middel tilsig	0.98 liter/sekund km ²

Simuleringa vist på figur B.22 presenterer 9 år, frå 1985 til og med 1993.

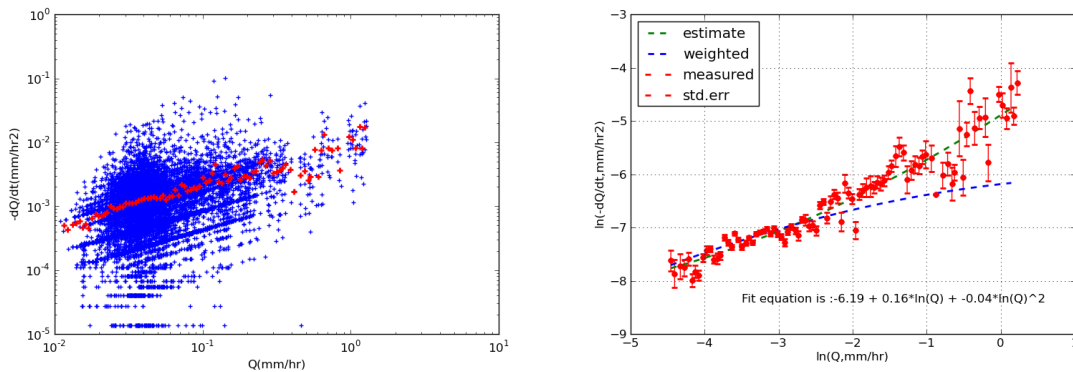


Figur B.40 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning, Sørkja

B.26 Brekke bru

Brekke bru er vist som nummer 3 på kartet i figur 3.1, og ligg i Flåmselvi. Frå 01.01.1939 er feltet påverka av ei lita regulering (magasinering).

P_Back er på bakgrunn av arealet satt til 36 timar. Likninga $-0.04\ln(Q)^2 + 0.16\ln(Q) + (-6.19)$ er basert på 13 078 datapunkt i 91 bins. Dette representerer 9 % av den totale datamengda.

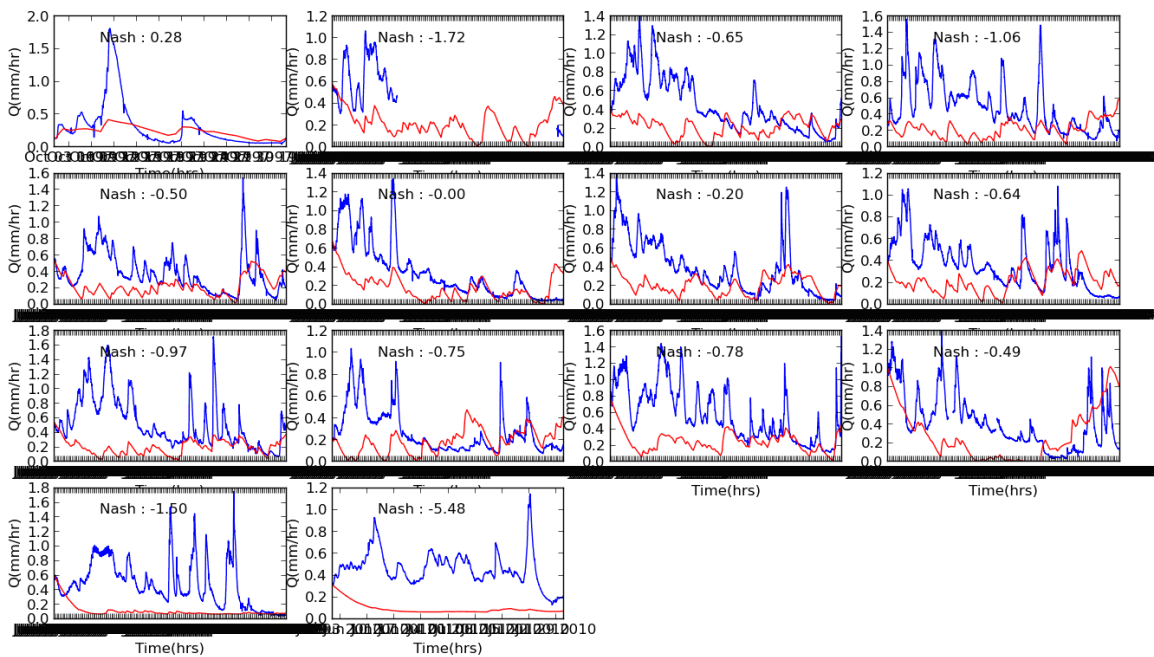


Figur B.41 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Brekke bru

Tabell B.26, karakteristiske parametarar Brekke bru

Parameter	Verdi
Areal	267 km ²
Lengde på tidsserie	13 år (1997-2010)
Max høgde	1759 moh
Effektiv sjøprosent	0.81 %
Skogprosent	11.3 %
Breprosent	3.04 %
Sjøprosent	4.2 %
Snaufjellprosent	77.2 %
Årleg tilsig	524 million m ³
Middel tilsig	16.62 liter/sekund km ²

Figur B.42 viser simuleringar for 01.10.1997 til 31.10.1997, og deretter alle år til 2010.

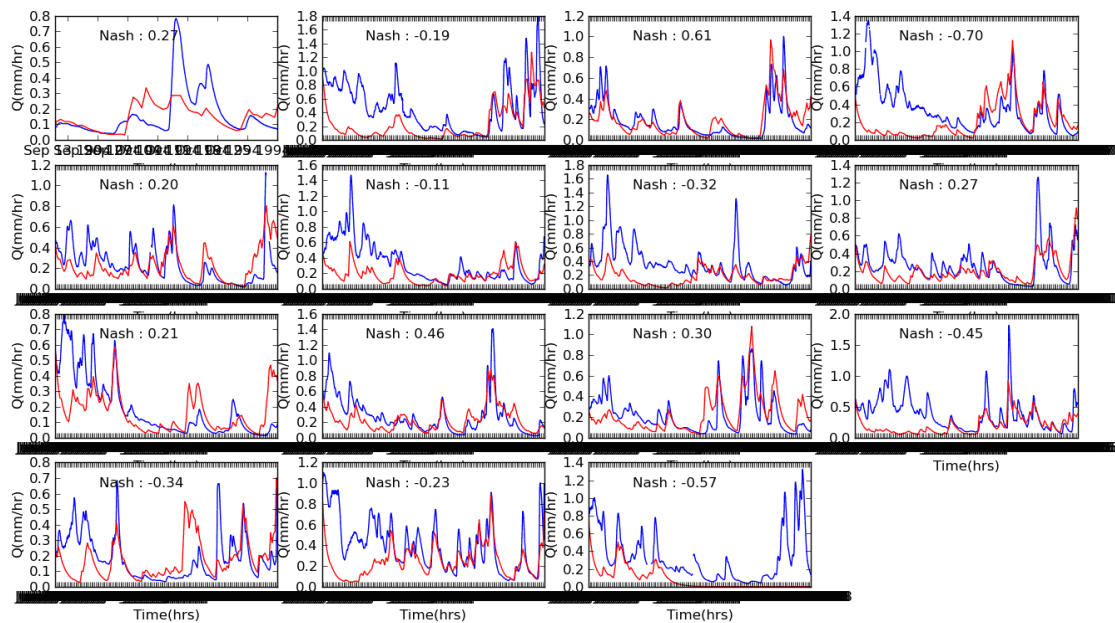


Figur B.42 Simulert (raud) og observert (blå) for Brekke bru

B.27 Bulken

Tabell B.27, karakteristiske parametrar Bulken

Parameter	Verdi
Areal	1094 km ²
Lengde på tidsserie	16 år (1994-2010)
Max høyde	1602 moh
Effektiv sjøprosent	0.89 %
Skogprosent	32.3 %
Breprosent	0.4 %
Sjøprosent	3.6 %
Snaufjellprosent	54.2 %
Middel tilsig	59.98 liter/sekund km ²

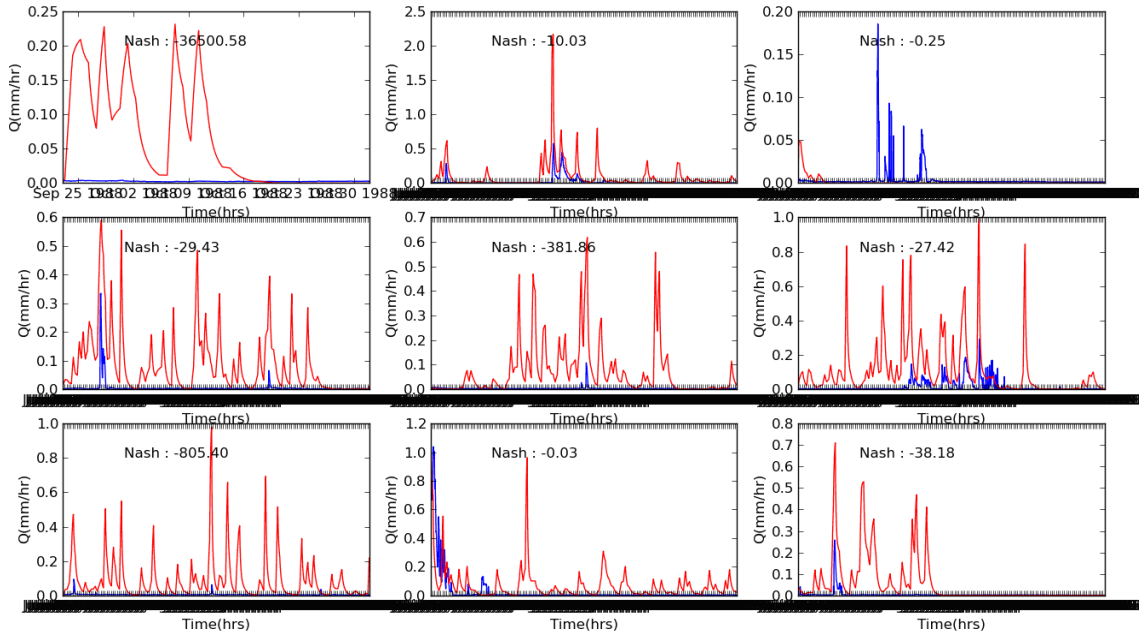


Figur B.43 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning for Bulken

B.28 Næverdalen

Tabell B.28, karakteristiske parametrar Næverdalen

Parameter	Verdi
Areal	791 km ²
Lengde på tidsserie	8 år (1988-1996)
Max høyde	1641 moh
Effektiv sjøprosent	0.03 %
Skogprosent	14.7 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	2.5 %
Snaufjellprosent	57.1 %
Middel tilsig	15.72 liter/sekund km ²

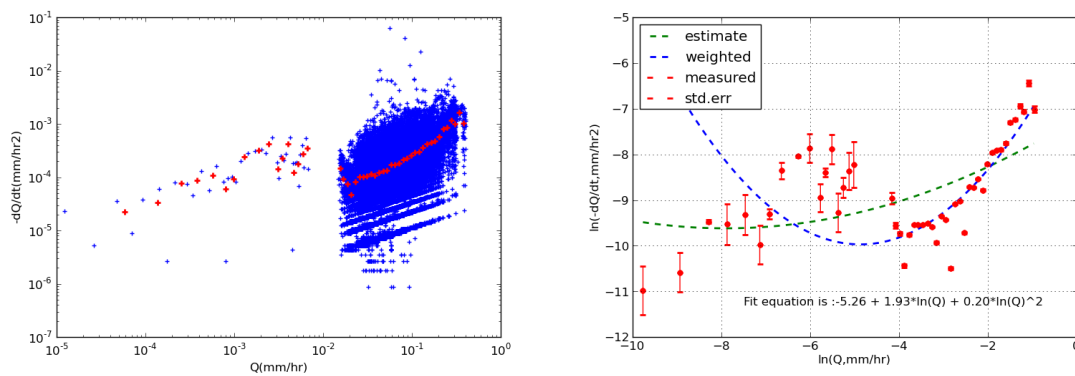


Figur B.44 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning for Næverdal

B.29 Nybergsund

Nybergsund er vist som nummer 26 på kartet i figur 3.1, og ligg i Trysilelva. Frå 01.01.1941 er feltet påverka av ei lita regulering (magasinering). Femunden

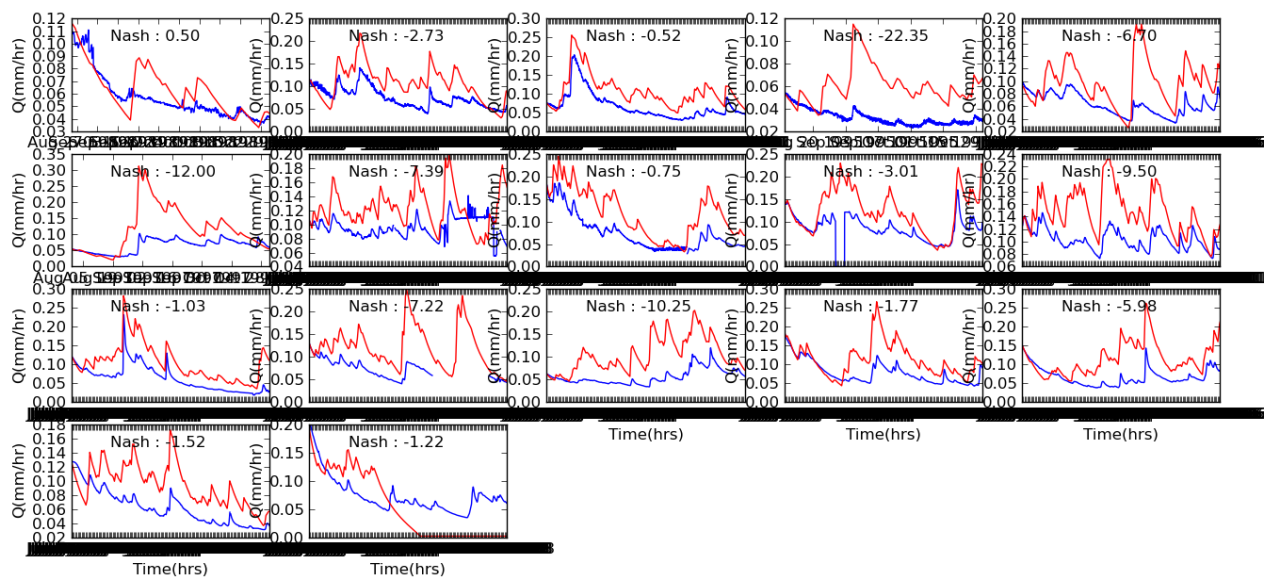
Nedbørfeltet til Nybergsund har eit areal på 4084 km².



Figur B.45 Resesjonsplot (venstre) og tilpassa likning til intervallgjennomsnitt (høgre) for Nybergsund

Tabell B.29, karakteristiske parametrar Nybergsund

Parameter	Verdi
Areal	4084 km ²
Lengde på tidsserie	21 år (1989-2010)
Max høyde	1748 moh
Effektiv sjøprosent	2.4 %
Skogprosent	44.8 %
Breprosent	0 %
Sjøprosent	8.4 %
Snaufjellprosent	26.3 %
Middel tilsiq	66.24 liter/sekund km ²



Figur B.46 Simulert (raud) og observert (blå) avrenning, Nybergsund

Tabell B.30 viser alle oppsummert. Regulerte felt er ikkje med.

Tabell B.30, Parametrar frå Parameter Estimator

Feltnavn	C1	C2	C3
Målset	0.20	1.90	-3.46
Viveli	0.08	1.48	-4.98
Etna	0.03	1.44	-4.22
Holmen	0.17	1.72	-3.80
Hølen	0.10	1.50	-4.57
Narsjø	0.24	2.56	-3.57
Djupevad	0.07	1.54	-3.39
Sandvenvatn	0.08	1.20	-4.50
Borgåi	0.00	1.04	-5.13
Eggedal	0.11	1.67	-3.02
Svartavatn	0.11	1.61	-3.26
Hangtjern	0.22	2.13	-2.89
Røykenes	0.08	1.74	-3.35
Jondalselv	0.17	2.18	-2.91
Stordalsvatn	0.02	1.46	-4.49
Kløvtveitvatn	0.28	1.58	-4.99
Sørkja	0.31	2.84	-2.84
Brekke bru	-0.04	0.16	-6.19
Bulken (Vangsvatnet)	0.07	1.50	-4.16
Halledalsvatn	0.31	2.93	-3.00
Gjennomsnitt	0.13	1.71	-3.94
Standard avvik	0.10	0.62	0.93
Variansse	0.01	0.39	0.86
Median	0.11	1.60	-3.69
Størst	0.31	2.93	-2.84
Minst	-0.04	0.16	-6.19

Vedlegg C: Inndeling i klassar –korrelasjon

Beskriv delinga i ulike klasser avhengig av simuleringskvalitet. Den einaste måten å rangere simuleringa er å grafisk, reint subjektivt vurdere kvaliteten. Tross i utfordringane vil det vere verdifullt for oppgåva å rangere simuleringa for ulike felt og leite etter fellestrekk. Kvaliteten på simuleringane er derfor reint subjektivt delt inn ulike felte inn 2 klasser ut frå kor bra simulert avrenning følgjer den observerte. Dette er gjort for å prøve å sjå felles trekk, og få nok data i kvar av kassene til å få representative verdiar for korrelasjon. B = beste del. D = dårligaste del.

Tabell C.1, Korrelasjon fysiske parametrar og resultat frå Parameter Estimator

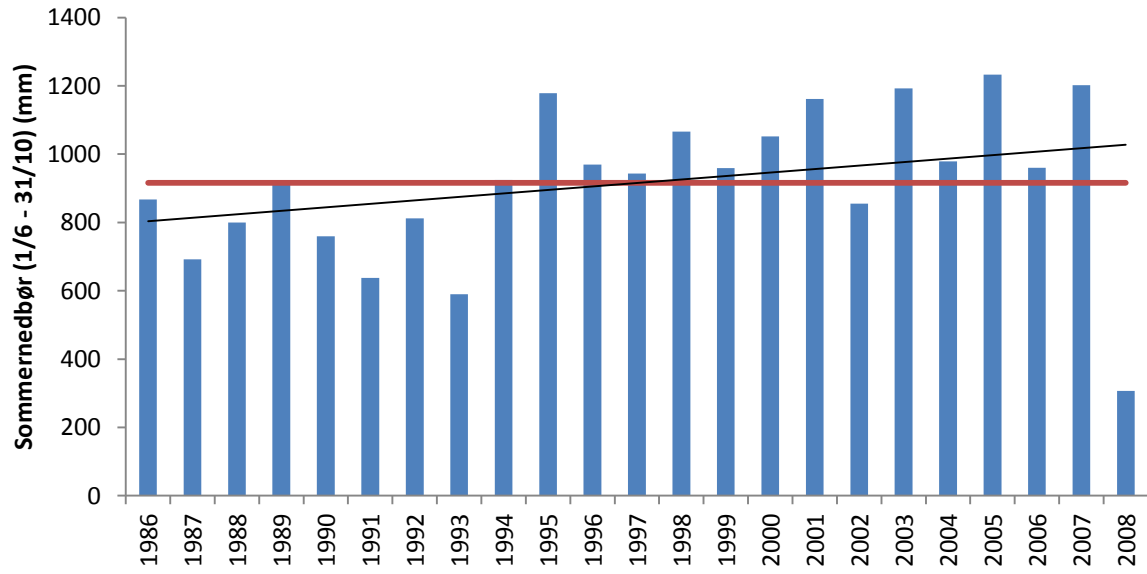
	Areal		Effektiv sjøprosent		Sjøprosent		Breprosent		Snaufjell prosent		Middel avrenning		Skog prosent	
	B	D	B	D	B	D	B	D	B	D	B	D	B	D
C₁	0.17	-0.6	-0.23	0.57	-0.09	0.47	-0.38	-0.36	-0.16	-0.42	0.04	-0.61	0.03	0.48
C₂	0.20	-0.46	0.04	0.12	-0.08	0.06	-0.52	-0.32	-0.36	-0.57	0.07	-0.52	0.29	0.64
C₃	0.28	-0.14	0.04	-0.29	0.02	-0.47	-0.45	-0.33	-0.44	-0.57	0.18	-0.30	0.44	0.59

Tabell C.2, Korrelasjon mellom beste og dårligaste simulerte felt

Korrelasjon mellom dei 9 beste simulerte felte		Korrelasjon mellom dei 11 dårligaste simulerte felte	
C ₁ -C ₂	0.90	C ₁ -C ₂	0.84
C ₂ -C ₃	0.92	C ₂ -C ₃	0.71
C ₃ -C ₁	0.82	C ₃ -C ₁	0.43

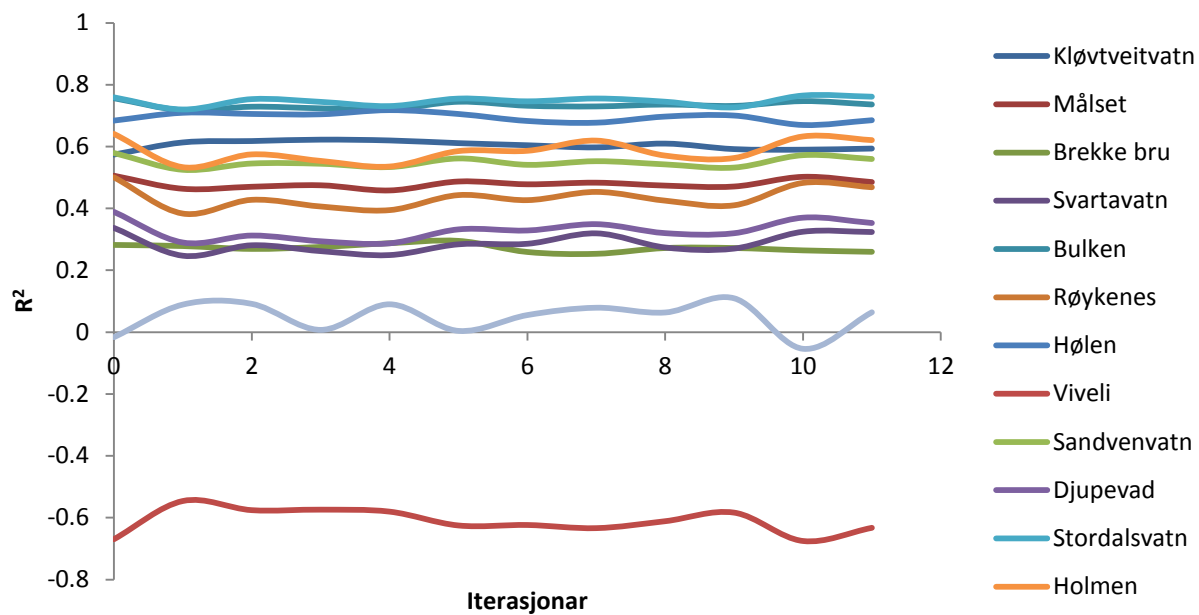
Inndelinga gir ikkje ny informasjon. Dei kan berre brukast til det same som korrelasjonstabellar i rapporten; til å konkludere med at parametrane i Kirchner sin modell ikkje har noko fysisk meining og har så høg korrelasjon at dei berre representerer eit parametersett.

Stor simuleringane for Stordalsvatn, B.22, ser det ut til at simuleringane blir noko betre med tida. Kan vere gjort endrignar i nedbørfeltet, byggd hus, vegar, som git tettare yter og deremd meir avrenning. Kan også ha samanheng med at med at årnedbøren ser til å auke med tida. Dette er imidlertid ikkje vurdert vidare, då det fins lite informasjon om andre endringar i nedbørfeltet.



Figur C.1 Sommernedbør for Stordalsvatn

Vedlegg D: Kalibrering i ENKI



Figur D.1 Kalibrering av HBV- modellen med alle 13 felt (manglar Halledalsvatn i forklaringa!)

Tabell D.1, Resultat av kalibreringa av HBVSnow

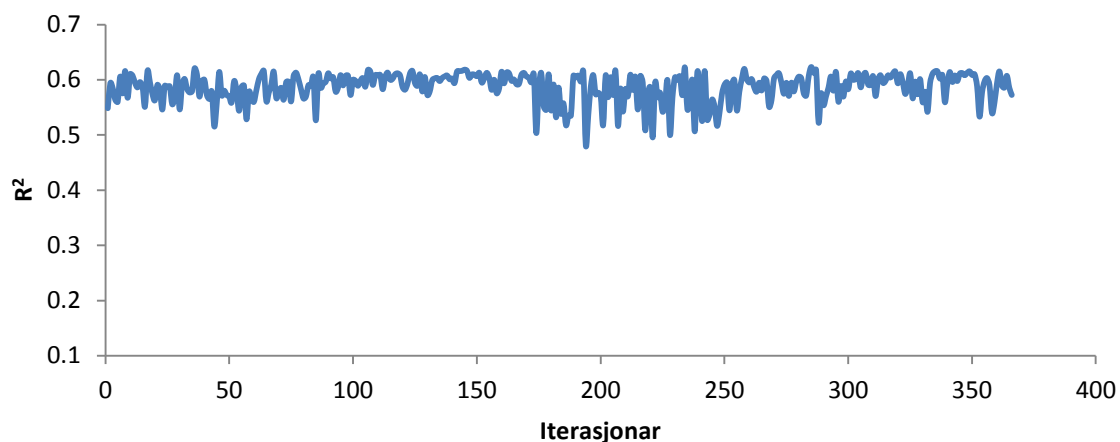
	C_x	CFR	T_s
Kirchner	3.40	0.0044	0.0134
HBV	3.28	0.0088	0.567

Tabell D.2, Høgast oppnådde R2-verdi i simuleringane

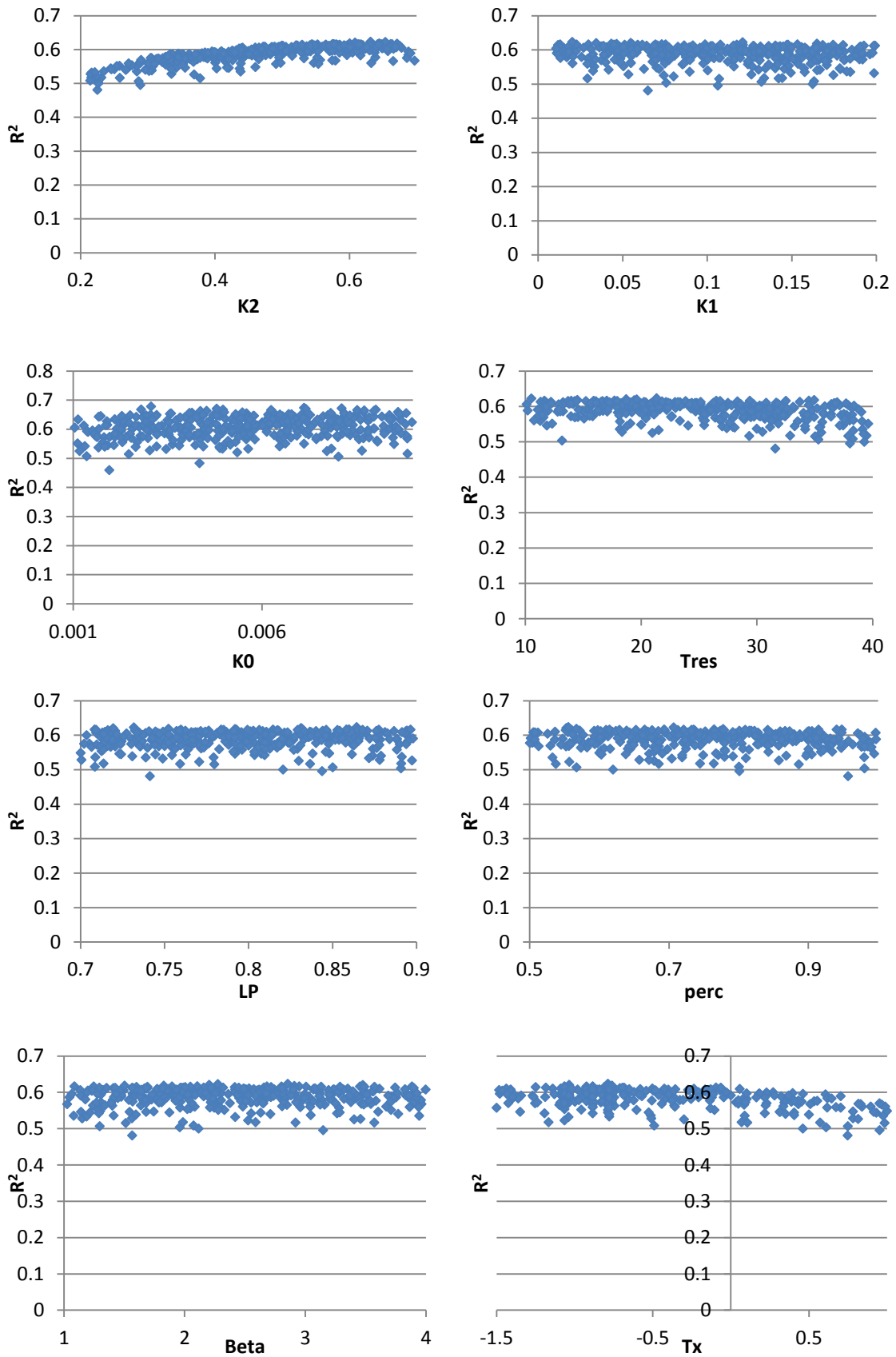
Felt	HBV	Kirchner 3 parametrar	Kirchner 2 parametrar
Kløvtveitvatn	0.6783	0.6533	0.6700
Målset	0.5246	0.5795	0.5816
Svartavatn	0.4728	0.5544	0.5915
Bulken	0.8211	0.8411	0.8433
Røykenes	0.5804	0.6844	0.6678
Hølen	0.8055	0.8209	0.8203
Sandvenvatn	0.6395	0.6906	0.6781
Djupevad	0.4655	0.5735	0.5757
Stordalsvatn	0.8214	0.8237	0.8254
Holmen	0.7349	0.7376	0.7326

D.1 Kalibrering av HBV- modellen

Figur D.2 viser korleis gjennomsnittet av målfunksjonen R2 for dei ti kalibrerte felta endrar seg med iterasjonane. På grunn av data problem er serien samansatt av to kalibreringar, ein fram til 160 og deretter ein fram til 360. Innstillingane og intervalla er dei same i begge kalibreringane. Dette var uheldig, men i tilfellet den første kalibreringa gav gode resultat er den med. Fleire iterasjonar gir også betre sensitivitetsplot for enkelt parametrar.

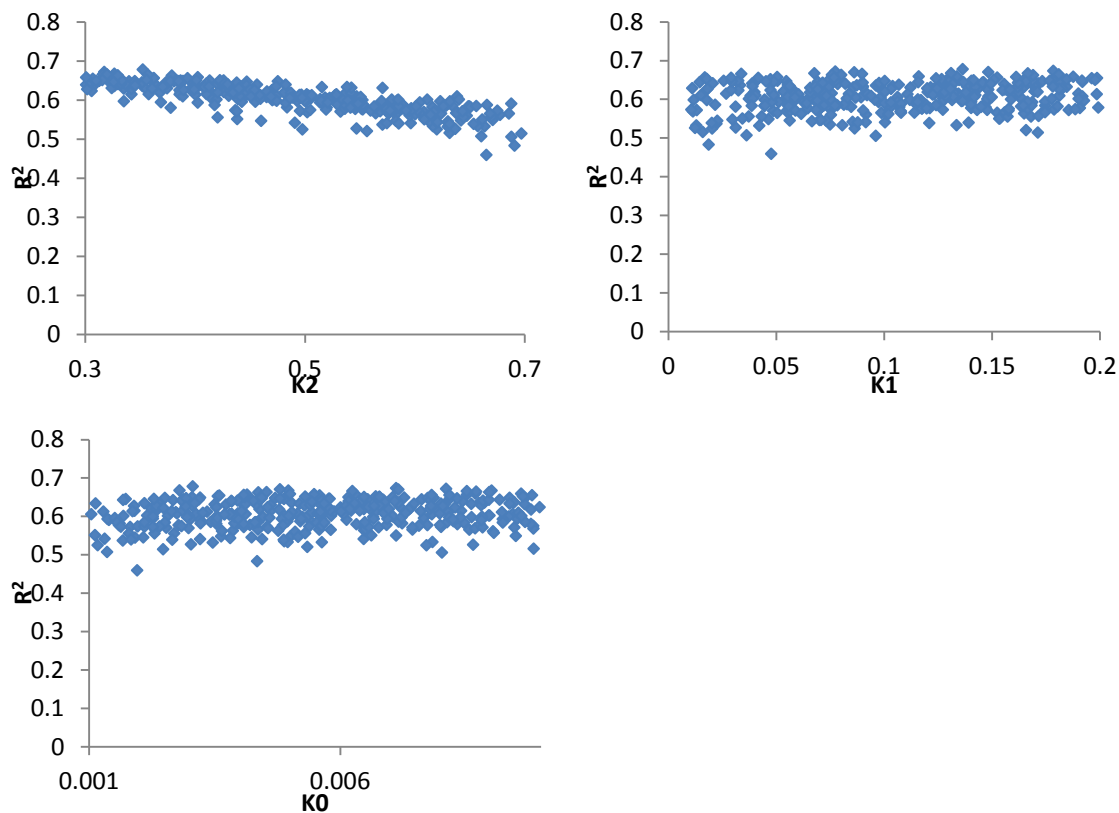


Figur D.2 Kalibrering av HBV –modellen



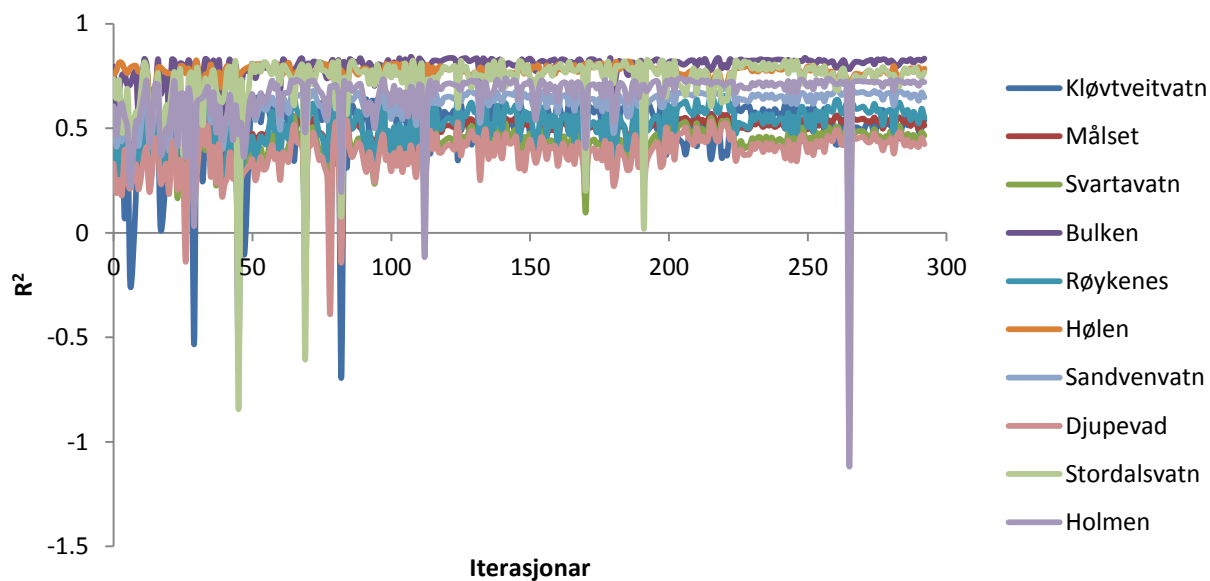
Figur D.3 Sensitivitetsplot for kalibrerte parametrar i HBV – modellen

Kløvtveitvatn taper for alle modellane relativt mykje på regionaliseringa, for å studere dette er sensitivitetsplot for karparametrane for dette feltet med.



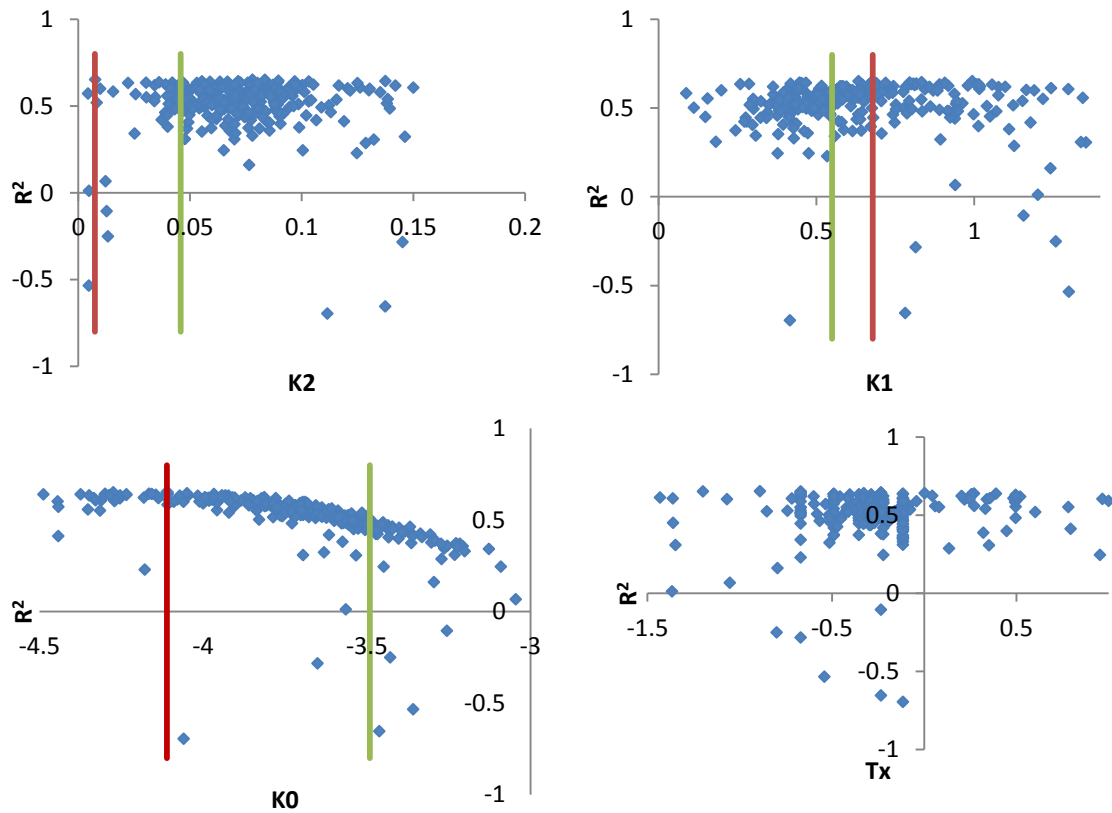
Figur D.4 Sensitivitetsplot for Kløvtveitvatn

Meir informasjon og fleire plott frå kalibreringa fins i det digitale vedlegget. D.2 Kalibrering av KirchnerMod med 3 parametar



Figur D.5 R^2 -verdi for nedbørfelta i kalibreringa av regionen i ENKI

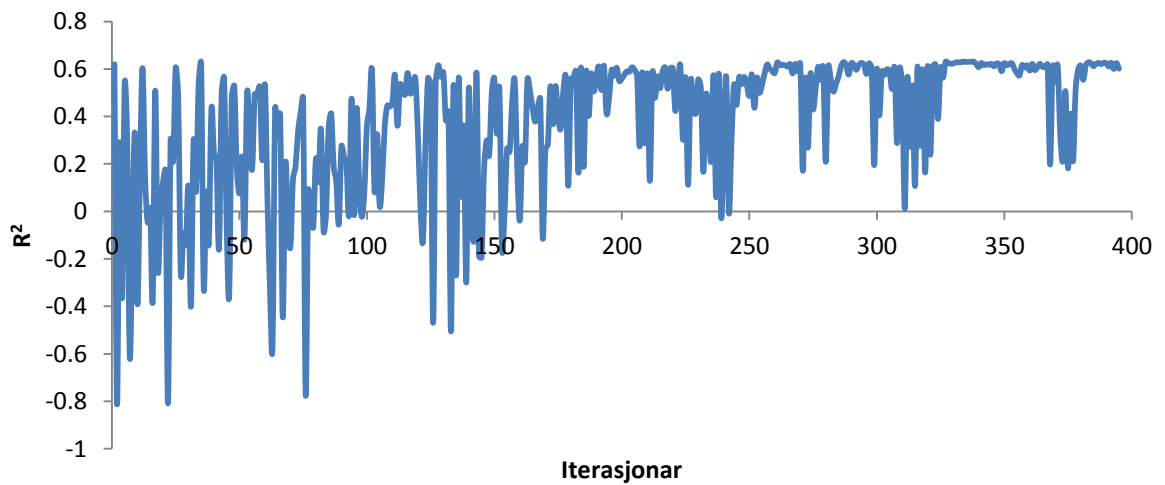
I figur D.6 representerer dei raude linjene parametrane som tilsvarer den høgaste R^2 – verdi for Kløvtveitvatn. Dei grøne linjene representerer parametrane som gir høgast R^2 – verdi for regionen.



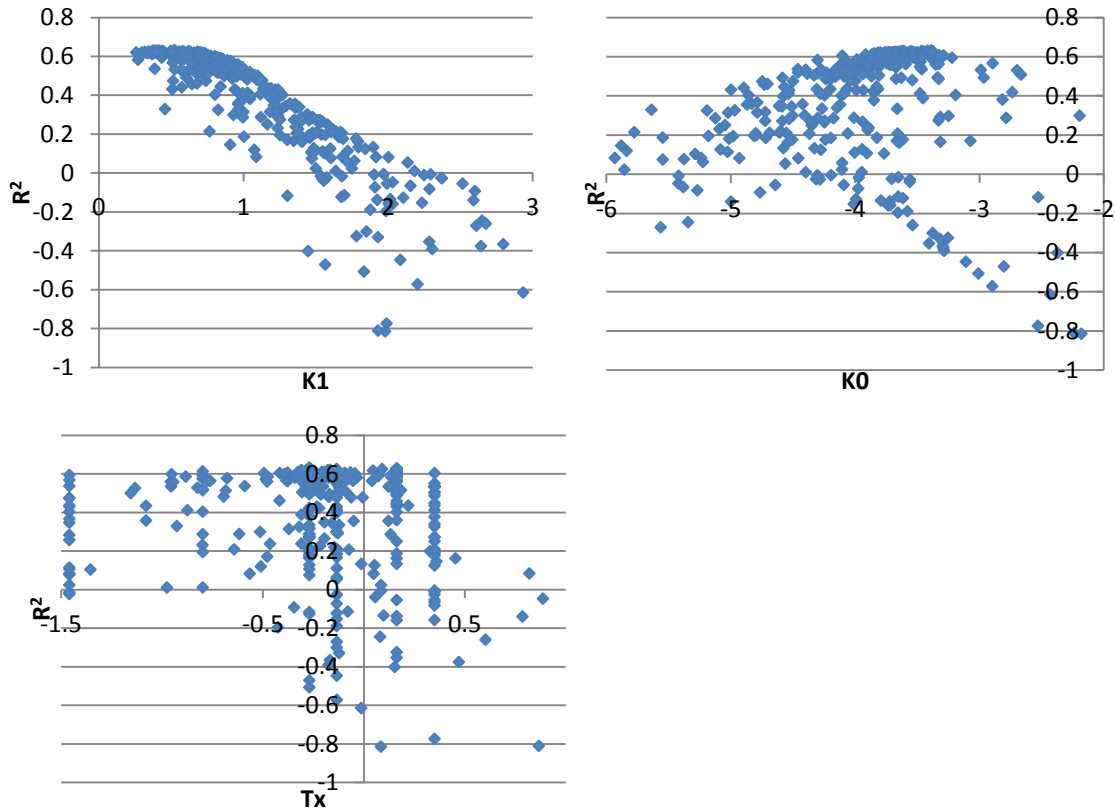
Figur D.6 Sensitivitet i parametrar i kalibreringa for Kløvtveitvatn

For ytligare detaljar i kalibreringa, sjå digitale vedlegg.

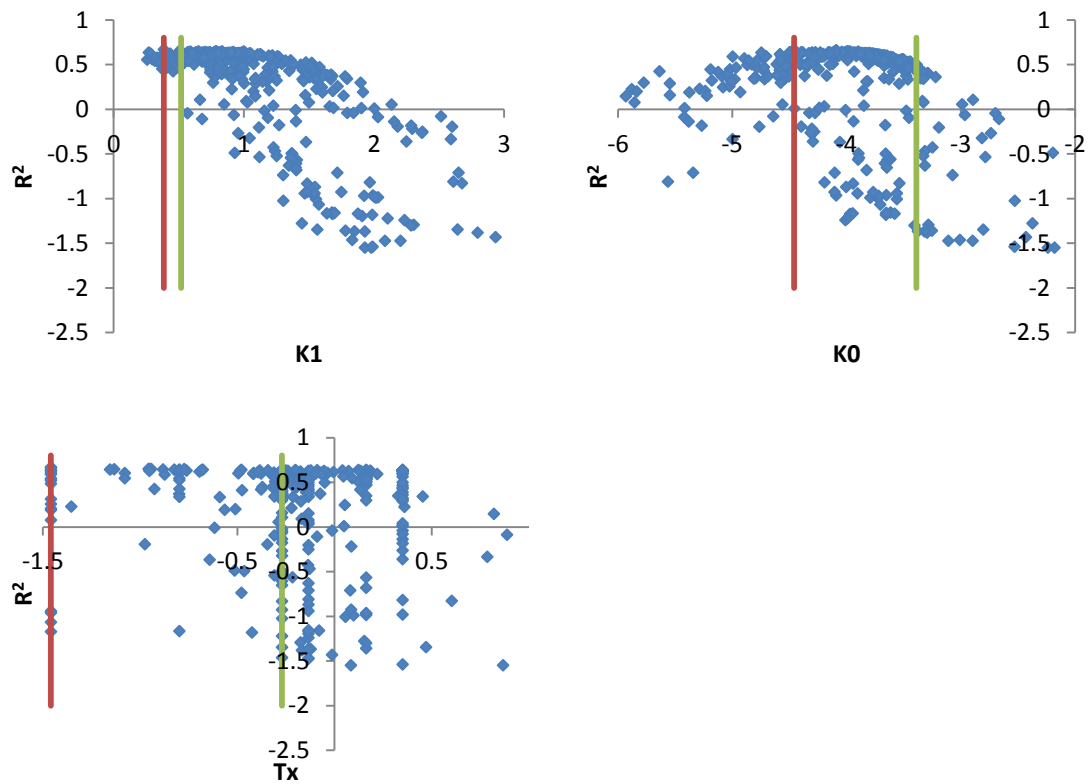
D.3 Kalibrering av KirchnerMod med 2 parametrar



Figur D.7 Iterasjonar i kalibreringar av KirchnerMod med K2 låst til null (2 parametrar i Kirchner sin modell)

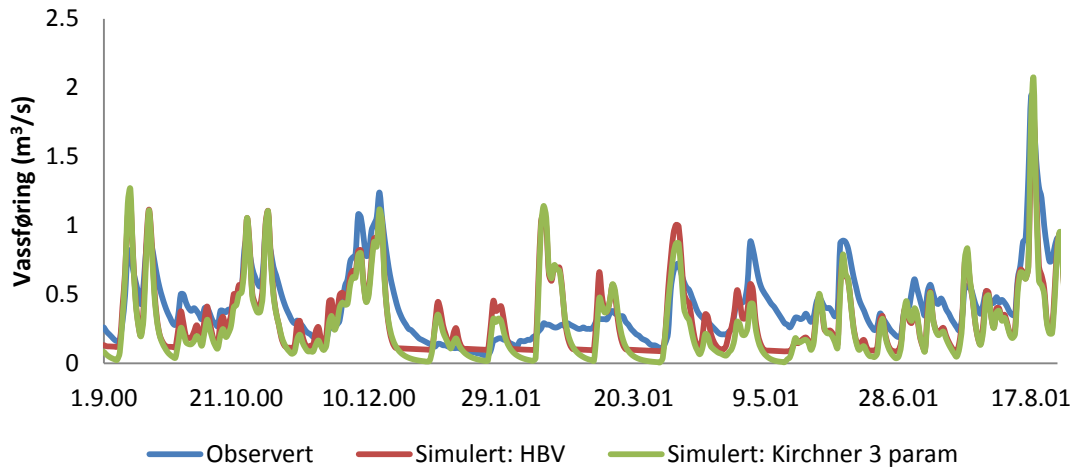


Figur D.8 Sensitivitet for parametrar i kalibreringa av KirchnerMod med K2 låst til null

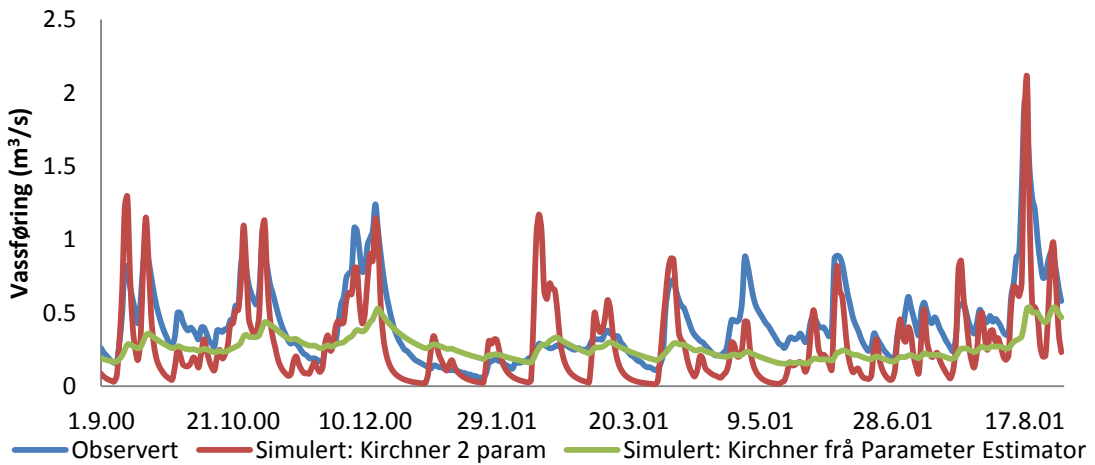


Figur D.9 Sensitivitetsplott for Kløvtveitvatn frå kalibreringa av Kirchner med K2 låst til 0. Linjene er tilsvarende som for figur D.6

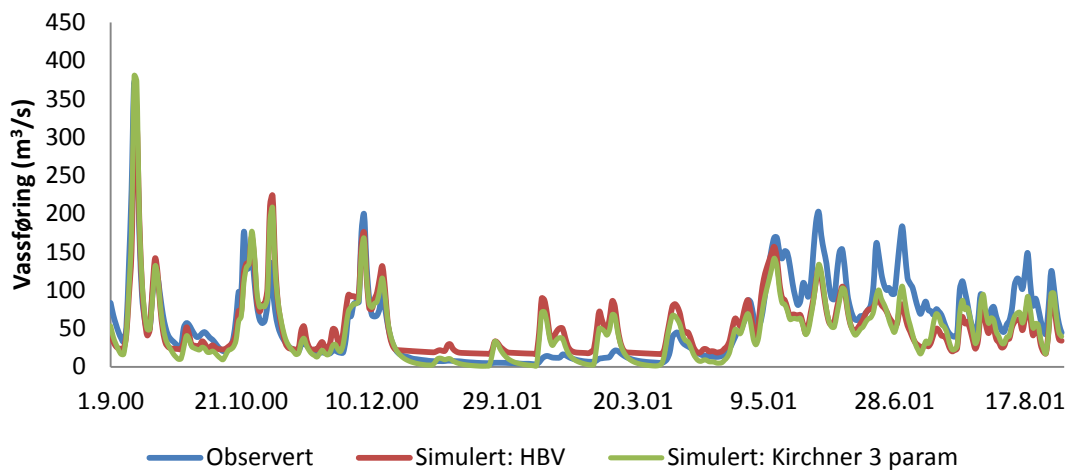
Vedlegg E: Simuleringar i ENKI



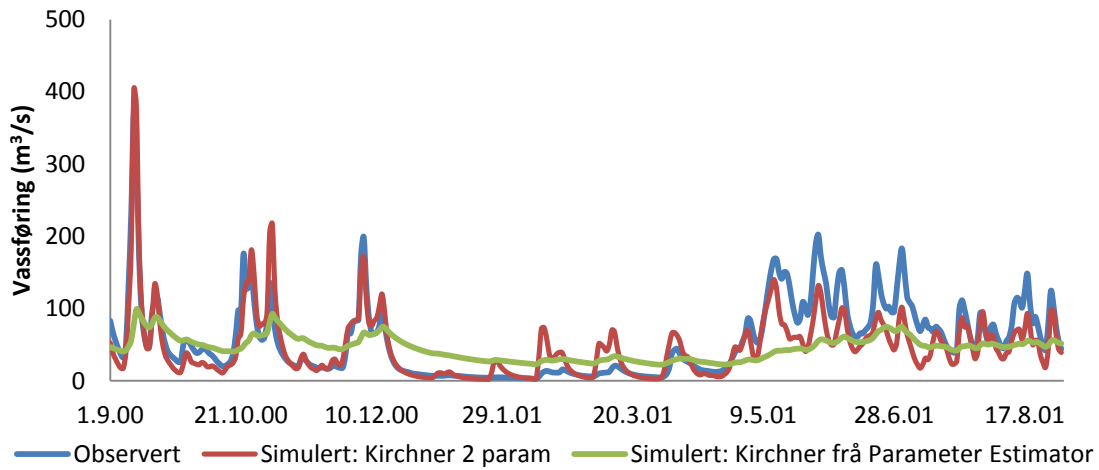
Figur E.1 Detaljer plott for hydrologisk år Kløvtveitvatn, 1



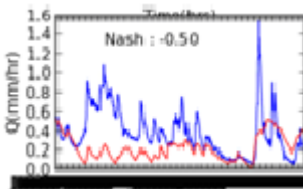
Figur E.2 Detaljert plott for hydrologisk år 00/01 Kløvtveitvatn, 2



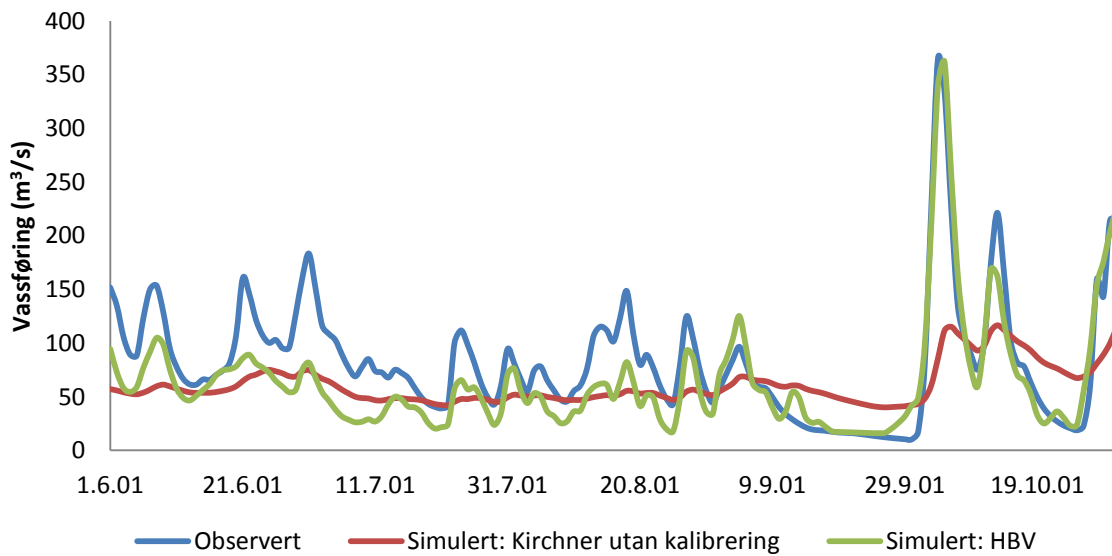
Figur E.3 Detaljert plott for hydrologisk år 00/01 Bulken, 1



Figur E.4 Detaljer plott Bulken for hydrologisk år 00/01, 2

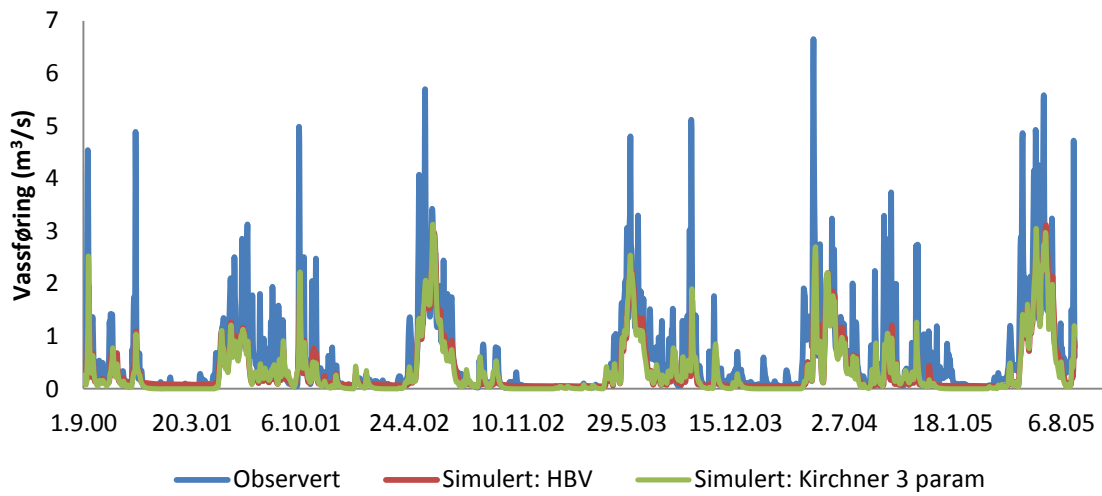


Figur E.5 Simulert (raud) og observert (blå) vassføring for Bulken, 01.06.00 til 31.10.00

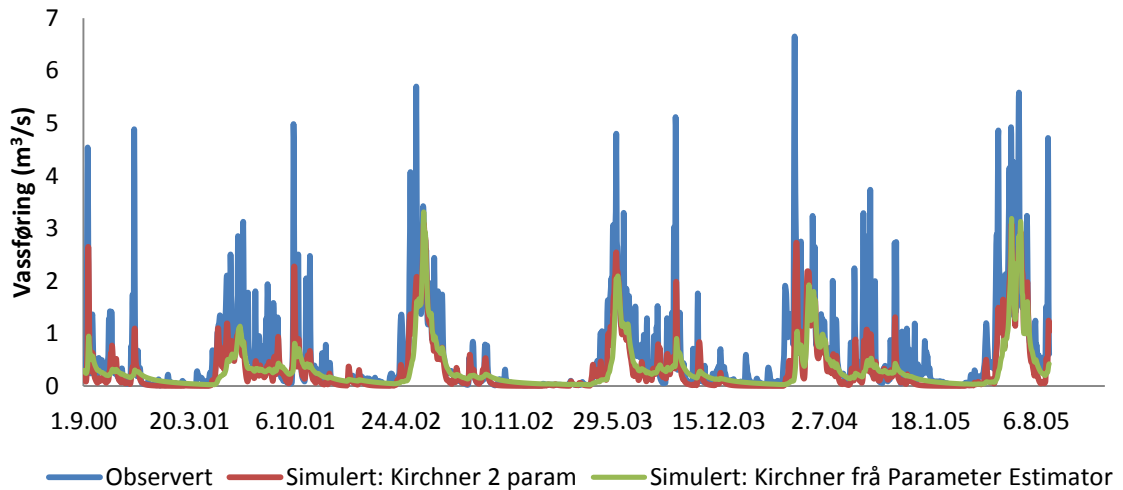


Figur E.6 Tilsvarende plott som figur E.5, men frå ENKI. Kvadrert korrelasjon mellom observert og Kirchner utan kalibrering er 0.31.

E.1 Målset



Figur E.7 Observert og simulert vassføring med HBV- modellen og kalibrert Kirchner med 3 parametrar, Målset



Figur E.8 Observert og simulert vassføring med Kirchner kalibrert for 2 parametrar og Kirchner med estimerte parametrar frå Parameter Estimator, Målset

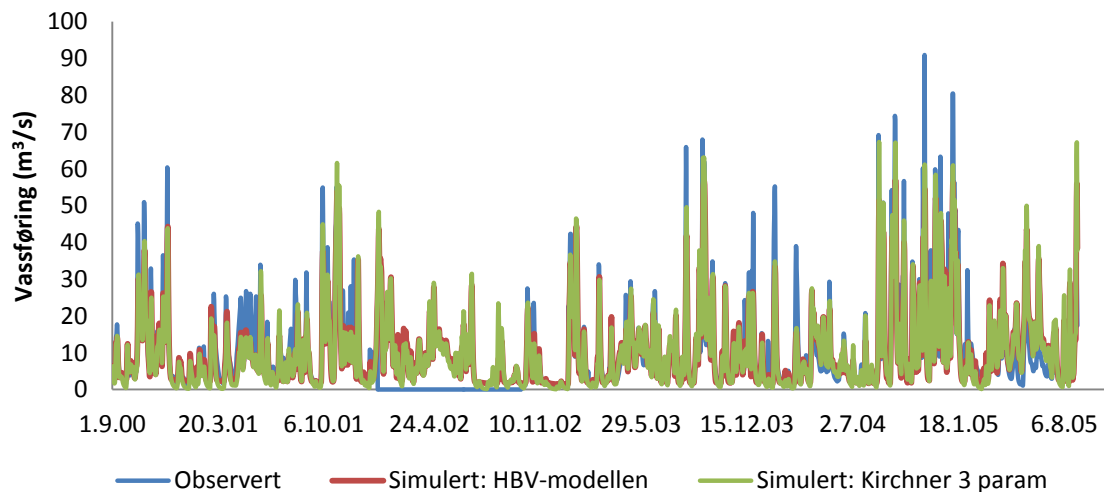
Tabell E.1, Vassbalanse: Total simulert vassføring (m³/s) for 5 hydrologiske år, Målset

Observert vassføring	Simulert: HBV- modellen	Simulert: Kirchner 3 parametrar	Simulert: Kirchner 2 parametrar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
1033	633	594	593	581
	61 %	57 %	57 %	56 %

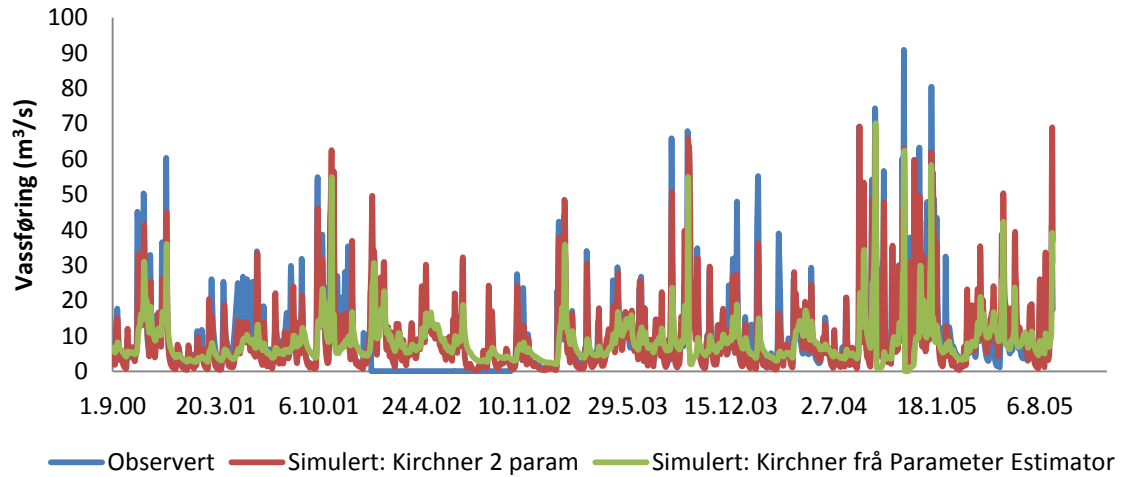
Tabell E.2, Kvadrert korrelasjon mellom tidsserier, Målset

	Simulert: HBV- modellen	Simulert: Kirchner 3 parametrar	Simulert: Kirchner 2 parametrar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
Observert	0.62	0.64	0.65	0.44
Simulert: HBV- modellen		0.97	0.97	0.85
Simulert: Kirchner 3 parametrar			1.00	0.81
Simulert: Kirchner 2 parametrar				0.80

E.2 Holmen



Figur E.9 Observert og simulert vassføring med HBV- modellen og kalibrert Kirchner med 3 parametrar, Holmen



Figur E.10 Observert og simulert vassføring med KirchnerMod kalibrert for 2 parametar og Kirchner med estimerte parametar frå Parameter Estimator, Holmen

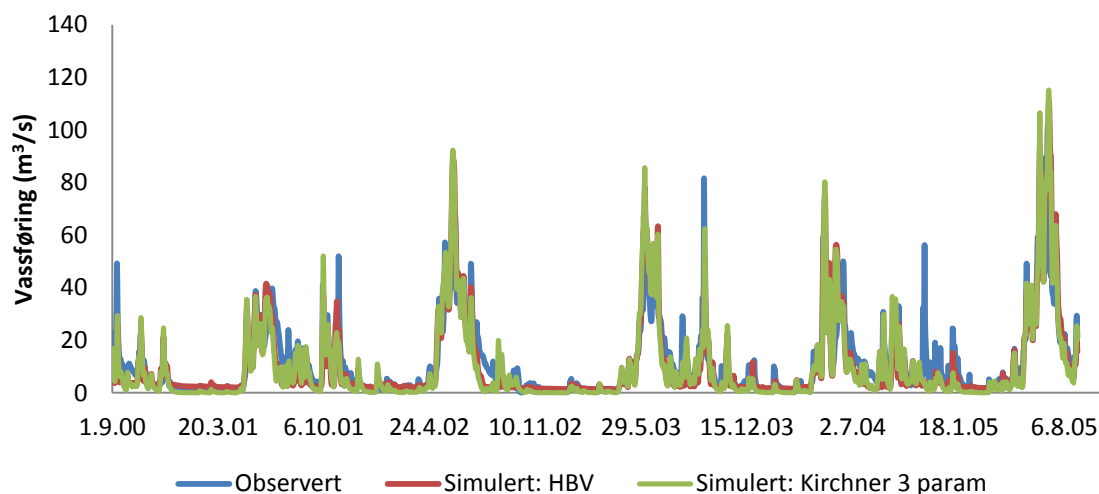
Tabell E.3, Vassbalanse: Total simulert vassføring (m^3/s) for 5 hydrologiske år, Holmen

Observert vassføring	Simulert: HBV-modellen	Simulert: Kirchner 3 parametar	Simulert: Kirchner 2 parametar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
16 909	18 297	18 219	18 213	15 086
	108 %	108 %	108 %	89 %

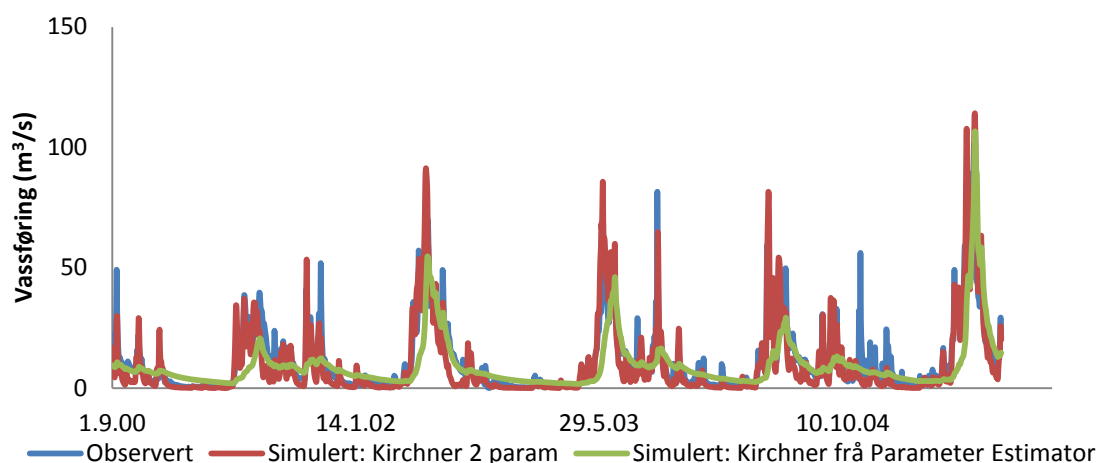
Tabell E.4, Kvadrert korrelasjon mellom tidsseriar, Holmen

	Simulert: HBV-modellen	Simulert: Kirchner 3 parametar	Simulert: Kirchner 2 parametar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
Observert	0.61	0.62	0.63	0.30
Simulert: HBV-modellen		0.97	0.97	0.54
Simulert: Kirchner 3 parametar			1.00	0.55
Simulert: Kirchner 2 parametar				0.55

E.3 Hølen



Figur E.11 Observert og simulert vassføring med HBV- modellen og kalibrert Kirchner med 3 parametrar, Hølen



Figur E.12 Observert og simulert vassføring med KirchnerMod kalibrert for 2 parametrar og Kirchner med estimerte parametrar frå Parameter Estimator, Hølen

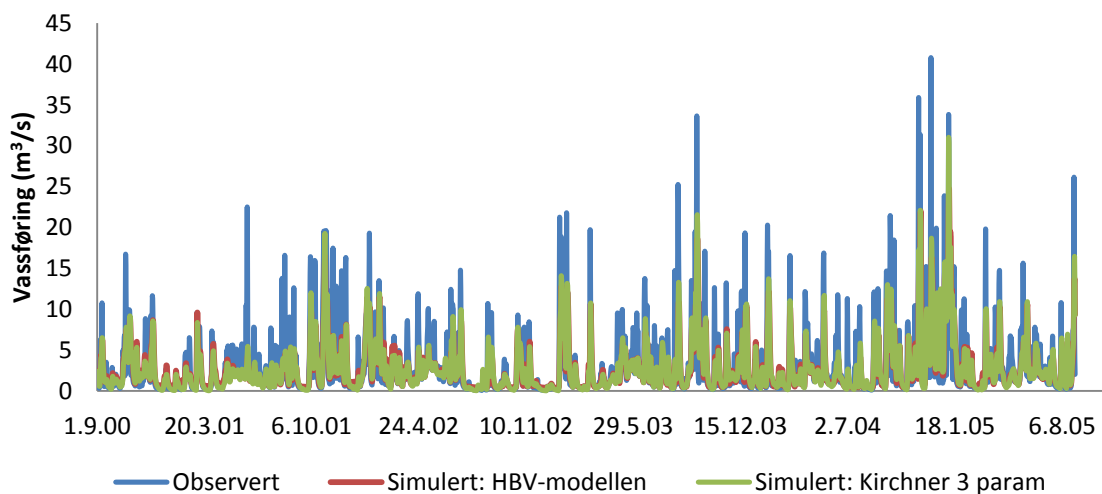
Tabell E.5, Vassbalanse: Total simulert vassføring (m^3/s) for 5 hydrologiske år, Hølen

Observert vassføring	Simulert: HBV- modellen	Simulert: Kirchner 3 parametrar	Simulert: Kirchner 2 parametrar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
20 563	18 634	17 943	17 918	17 526
	91 %	87 %	87 %	85 %

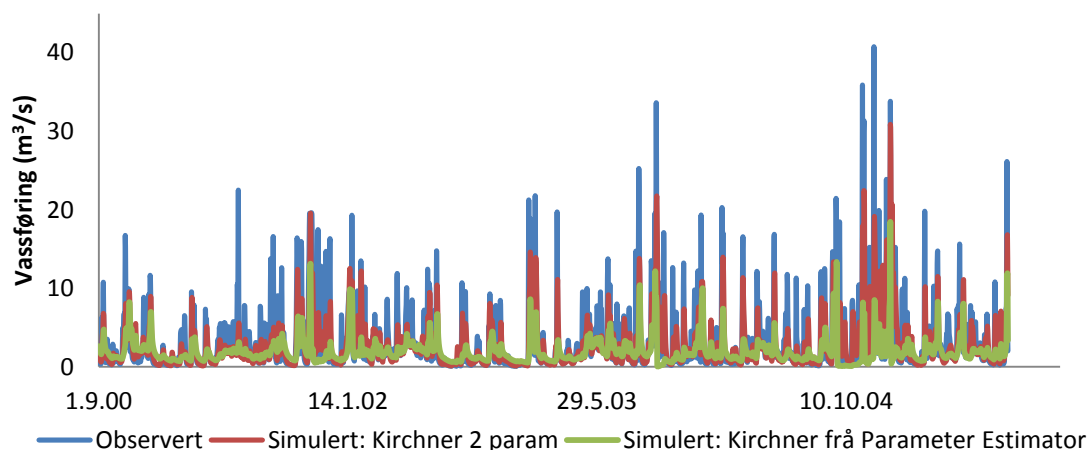
Tabell E.6, Kvadrert korrelasjon mellom tidsseriar, Hølen

	Simulert: HBV- modellen	Simulert: Kirchner 3 parametrar	Simulert: Kirchner 2 parametrar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
Observert	0.83	0.83	0.83	0.55
Simulert: HBV- modellen		0.97	0.97	0.62
Simulert: Kirchner 3 parametrar			1.00	0.56
Simulert: Kirchner 2 parametrar				0.55

E.4 Djupevad



Figur E.13 Observert og simulert vassføring med HBV- modellen og kalibrert Kirchner med 3 parametrar, Djupevad



Figur E.14 Observert og simulert vassføring med KirchnerMod kalibrert for 2 parametrar og Kirchner med estimerte parametrar frå Parameter Estimator, Djupevad

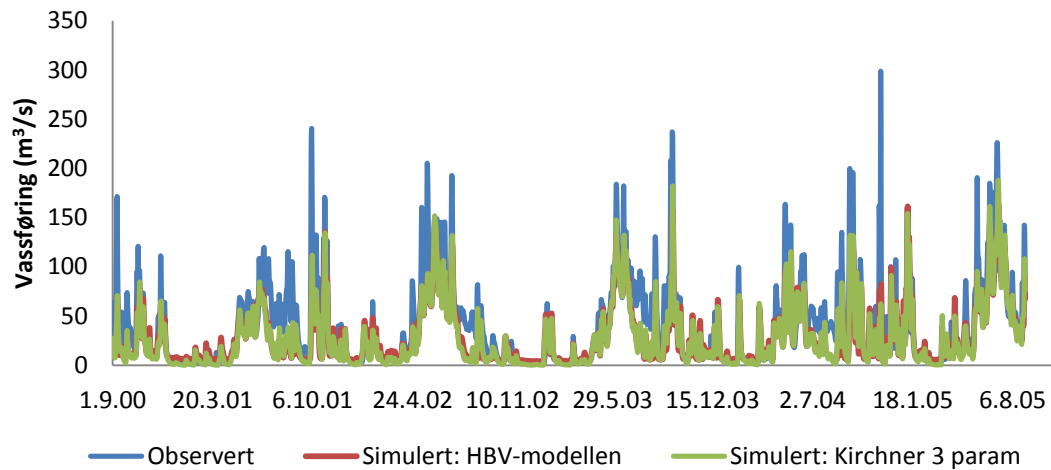
Tabell E.5, Vassbalanse: Simulert vassføring (m^3/s) for 5 hydrologiske år, Djupevad

Observert vassføring	Simulert: HBV-modellen	Simulert: Kirchner 3 parametrar	Simulert: Kirchner 2 parametrar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
5 441	4 996	4 987	4 998	3 589
	92 %	92 %	92 %	66 %

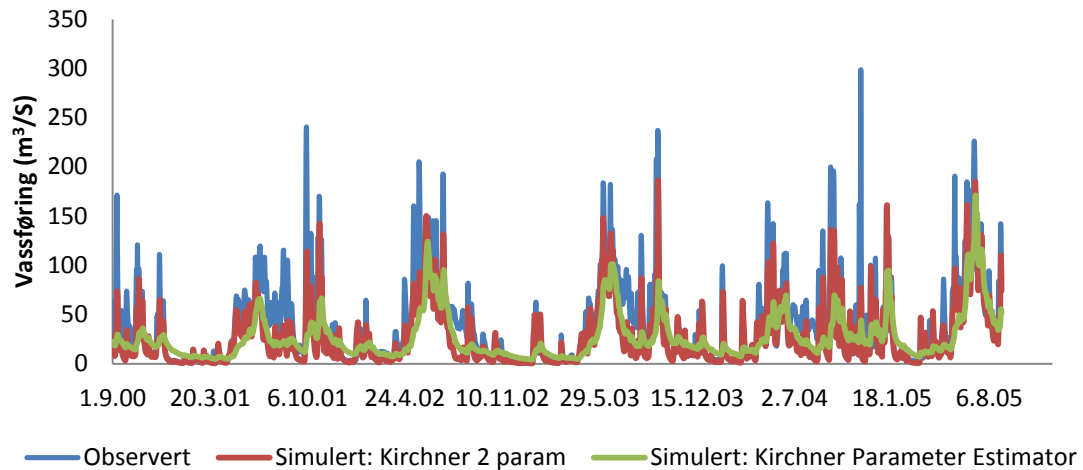
Tabell E.6, Kvadrert korrelasjon mellom tidsseriar, Djupevad

	Simulert: HBV-modellen	Simulert: Kirchner 3 parametrar	Simulert: Kirchner 2 parametrar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
Observert	0.43	0.46	0.47	0.23
Simulert: HBV-modellen		0.96	0.96	0.48
Simulert: Kirchner 3 parametrar			1.00	0.55
Simulert: Kirchner 2 parametrar				0.54

E.5 Sandvenvatn



Figur E.15 Observert og simulert vassføring med HBV- modellen og kalibrert Kirchner med 3 parametrar, Sandvenvatn



Figur E.16 Observert og simulert vassføring med KirchnerMod kalibrert for 2 parametrar og Kirchner med estimerte parametrar frå Parameter Estimator, Sandvenvatn

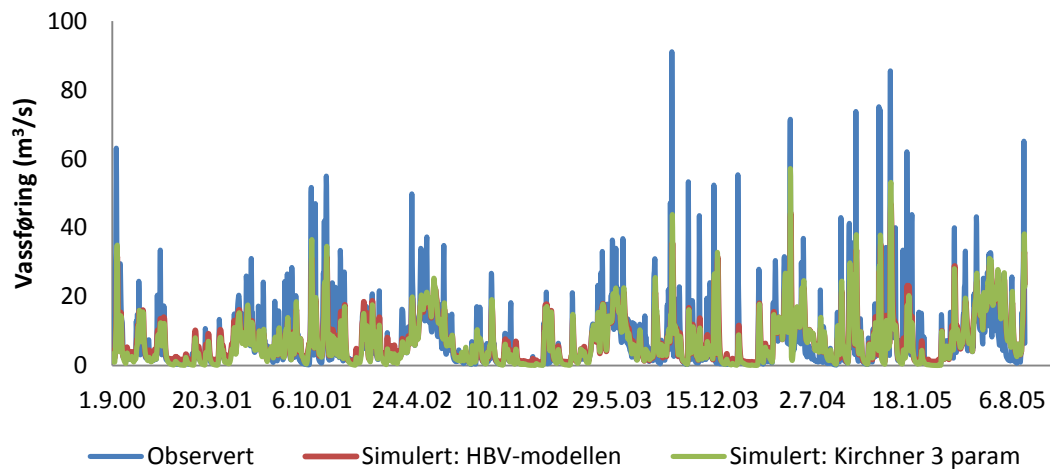
Tabell E.5, Vassbalanse: Simulert vassføring (m³/s) for 5 hydrologiske år, Sandvenvatn

Observert vassføring	Simulert: HBV-modellen	Simulert: Kirchner 3 parametrar	Simulert: Kirchner 2 parametrar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
71 130	51 579	49 891	49 852	48 829
	73 %	70 %	70 %	69 %

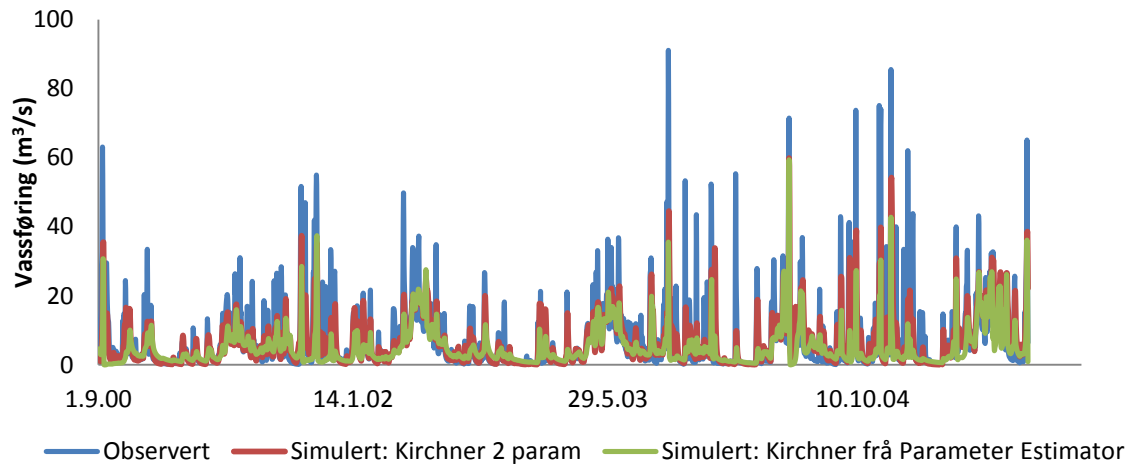
Tabell E.6, Kvadrert korrelasjon mellom tidsserier, Sandvenvatn

	Simulert: HBV- modellen	Simulert: Kirchner 3 parametrar	Simulert: Kirchner 2 parametrar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
Observert	0.72	0.76	0.77	0.52
Simulert: HBV- modellen		0.97	0.97	0.73
Simulert: Kirchner 3 parametrar			1.00	0.73
Simulert: Kirchner 2 parametrar				0.71

E.6 Svartavatn



Figur E.17 Observert og simulert vassføring med HBV- modellen og kalibrert Kirchner med 3 parametrar, Svartavatn



Figur E.18 Observert og simulert vassføring med KirchnerMod kalibrert for 2 parametrar og Kirchner med estimerte parametrar frå Parameter Estimator, Svartavatn

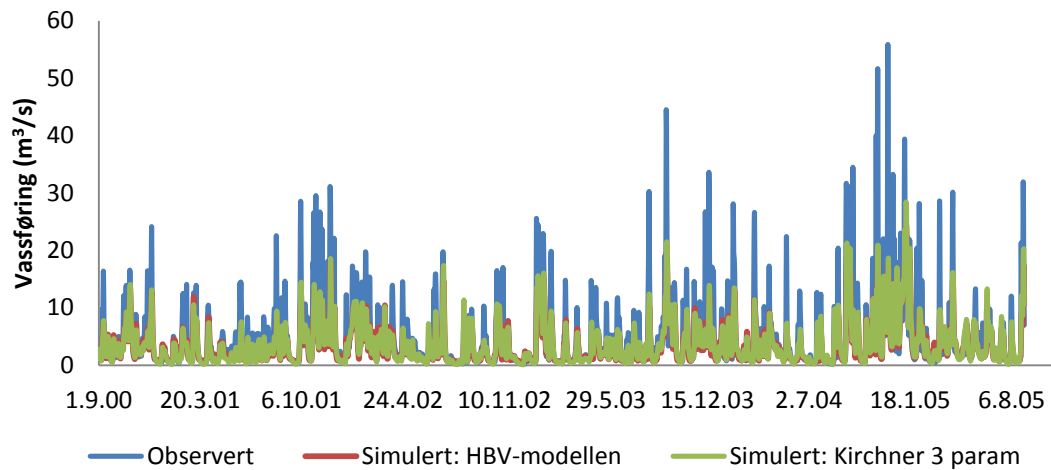
Tabell E.5, Vassbalanse: Simulert vassføring (m^3/s) for 5 hydrologiske år, Svartavatn

Observert vassføring	Simulert: HBV-modellen	Simulert: Kirchner 3 parametrar	Simulert: Kirchner 2 parametrar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
13 365	13 090	12 332	12 336	9 093
	98 %	92 %	92 %	68 %

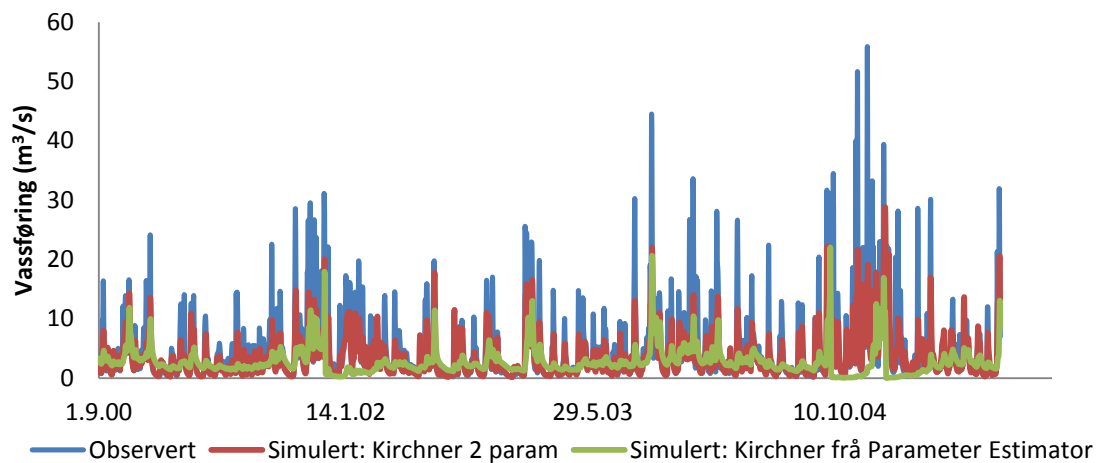
Tabell E.6, Kvadrert korrelasjon mellom tidsseriar, Svartavatn

	Simulert: HBV-modellen	Simulert: Kirchner 3 parametrar	Simulert: Kirchner 2 parametrar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
Observert	0.46	0.48	0.50	0.38
Simulert: HBV-modellen		0.96	0.96	0.59
Simulert: Kirchner 3 parametrar			1.00	0.67
Simulert: Kirchner 2 parametrar				0.67

E.7 Røykenes



Figur E.19 Observert og simulert vassføring med HBV- modellen og kalibrert Kirchner med 3 parametrar, Røykenes



Figur E.20 Observert og simulert vassføring med KirchnerMod kalibrert for 2 parametrar og Kirchner med estimerte parametrar frå Parameter Estimator, Røykenes

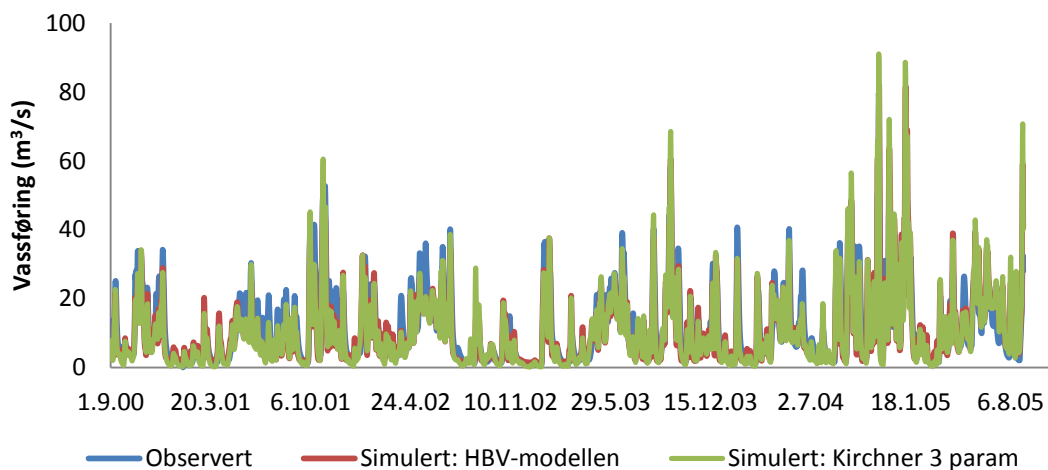
Tabell E.5, Vassbalanse: Simulert vassføring (m³/s) for 5 hydrologiske år, Sandvenvatn

Observert vassføring	Simulert: HBV-modellen	Simulert: Kirchner 3 parametrar	Simulert: Kirchner 2 parametrar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
8 673	6 403	6 720	6 718	4 994
	74 %	77 %	77 %	58 %

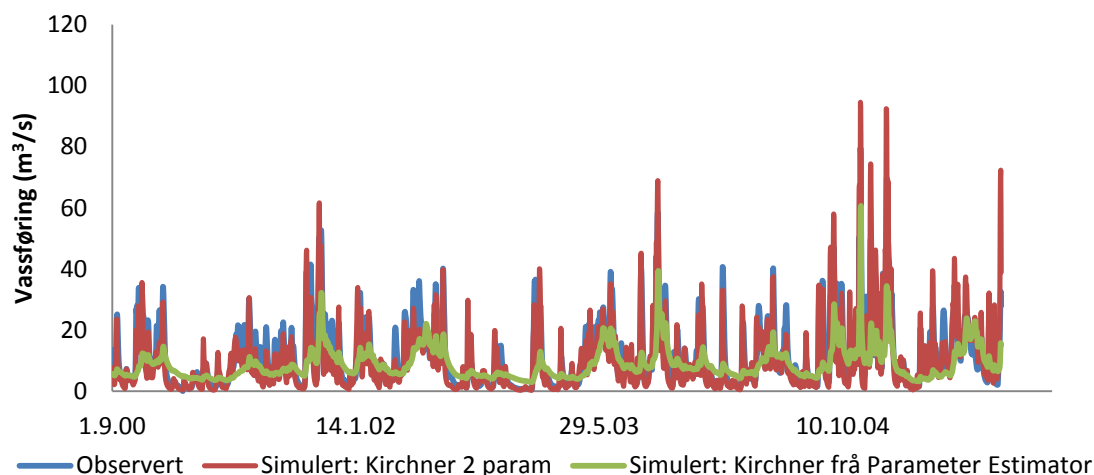
Tabell E.6, Kvadrert korrelasjon mellom tidsseriar, Sandvenvatn

	Simulert: HBV- modellen	Simulert: Kirchner 3 parametrar	Simulert: Kirchner 2 parametrar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
Observert	0.66	0.66	0.67	0.22
Simulert: HBV- modellen		0.96	0.96	0.36
Simulert: Kirchner 3 parametrar			1.00	0.37
Simulert: Kirchner 2 parametrar				0.37

E.8 Stordalsvatn



Figur E.21 Observert og simulert vassføring med HBV- modellen og kalibrert Kirchner med 3 parametrar, Stordalsvatn



Figur E.22 Observert og simulert vassføring med KirchnerMod kalibrert for 2 parametrar og Kirchner med estimerte parametrar frå Parameter Estimator, Stordalsvatn

Tabell E.5, Vassbalanse: Simulert vassføring (m^3/s) for 5 hydrologiske år, Sandvenvatn

Observert vassføring	Simulert: HBV-modellen	Simulert: Kirchner 3 parametrar	Simulert: Kirchner 2 parametrar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
20 908	18 878	18 441	18 442	16 325
	90 %	88 %	88 %	78 %

Tabell E.6, Kvadrert korrelasjon mellom tidsseriar, Sandvenvatn

	Simulert: HBV-modellen	Simulert: Kirchner 3 parametrar	Simulert: Kirchner 2 parametrar	Simulert: Kirchner frå Parameter Estimator
Observert	0.80	0.79	0.78	0.54
Simulert: HBV-modellen		0.96	0.96	0.52
Simulert: Kirchner 3 parametrar			1.00	0.50
Simulert: Kirchner 2 parametrar				0.49