



Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser

Afstrømningsforhold i danske vandløb

Faglig rapport fra DMU, nr. 340



Fagdatacenter for hydrometri



Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser

Afstørningsforhold i danske vandløb

*Faglig rapport fra DMU, nr. 340
2000*

Niels Bering Ovesen

Hans Legard Iversen

Søren E. Larsen

Dirk-Ingmar Müller-Wohlfeil

Lars M. Svendsen

Afdeling for Vandløbsøkologi

Anne Steensen Blicher

Per Møller Jensen

Hedeselskabet Miljø og Energi as

Datablad

Titel:	Afstørningsforhold i danske vandløb	
Forfattere:	Niels B. Ovesen, Hans Legard Iversen, Søren E. Larsen, Dirk-Ingmar Müller-Wohlfeil, Lars M. Svendsen, Anne Steensen Blicher*, Per Møller Jensen*	
Afdeling:	Afdeling for Vandløbsøkologi *Hedeselskabet Miljø og Energi as	
Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 340	
Udgiver:	Miljø- og Energiministeriet Danmarks Miljøundersøgelser©	
URL:	http://www.dmu.dk	
Udgivelsestidspunkt:	December, 2000	
Tegninger: Dataansvarlig:	Kathe Møgelvang, Tinna Christensen & Juana Jacobsen Carsten B. Nielsen, Susanne Refdahl*	
Bedes citeret:	Ovesen, N.B., Iversen, H.L., Larsen, S.E., Müller-Wohlfeil, D.-I. & Svendsen, L.M., Blicher, A.S. og Jensen, Per M. (2000): Afstørningsforhold i danske vandløb. Danmarks Miljøundersøgelser. 238 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 340. Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.	
Emneord: Keywords:	Hydrometri, hydrologi, vandløb, afstørningskarakteristik, vandbalance Lowflow, hydrometry, hydrology, watercourse, runoff, discharge	
ISBN: ISSN (trykt): ISSN (elektronisk)	87-7772-587-5 0905-815X 1600-0048	
Omslagsfoto:	Lars M. Svendsen	
Papirkvalitet: Tryk:	Cyclus Print Silkeborg Bogtryk EMAS registreret nr. DK-S-0084	
Sideantal: Oplag:	238 500	
Pris:	kr. 225,- (inkl. 25% moms, ekskl. forsendelse)	
Internet:	Rapporten findes også som PDF-fil på Danmarks Miljøundersøgelses hjemmeside http://faglige-rapporter.dmu.dk	
Købes i boghandelen eller hos:	Danmarks Miljøundersøgelser Postboks 314 Vejløvej 25 DK-8600 Silkeborg Tlf.: 89 20 14 00 Fax: 89 20 14 14	Miljøbutikken Information og Bøger Læderstræde 1 DK-1201 København K Tlf.: 33 95 40 00 Fax: 33 92 76 90 butik@mem.dk www.mem.dk/butik

Indhold

Resumé 5

English summary 9

Forord 13

1 Indledning 15

2 Fagdatacentrets stationsnet 19

- 2.1 Beskrivelse af stationsnettet 19
- 2.2 Dataregistrering 19
- 2.3 Oplandsfysiske og hydrauliske forhold 21
- 2.4 Usikkerhed på afstrømningsdata 23

3 Udviklingstendenser i klima- og årsafstrømningsdata 25

- 3.1 Analyse af nedbør og temperatur siden 1874 25
- 3.2 Udviklingen i vandforbruget i Danmark 31
- 3.3 Analyse af årsmaksimums-, årsmiddel- og årsminimumsafstrømninger 32
- 3.4 Sammenfatning 34

4 Karakteristik af afstrømningen 35

- 4.1 Afstrømningens fordeling 35
- 4.2 Estimering af ekstreme afstrømningshændelser 38
- 4.3 Estimering af lave afstrømninger 39
- 4.3 Afstrømningskarakteristik i umålte og sparsomt målte oplande 46
- 4.4 Sammenfatning 54

5 Karakteristik af vandføringen i relation til vandløbets økologi 55

- 5.1 Strømningsøkologiske parametre
- 5.2 Indbyrdes sammenhænge mellem parametre 57
- 5.3 Smådyrsfauna 60
- 5.4 Hydrologiske regimer 62
- 5.5 Sammenfatning 64

6 Afstrømningsfordeling og vandbalance 65

- 6.1 Kortlægning af afstrømningsfordelingen i Danmark 65
- 6.2 Ferskvandstilstrømning til danske farvande 70
- 6.3 Nedbør og fordampning 73
- 6.4 Det hydrologiske kredsløb 73
- 6.5 Menneskelig påvirkning af afstrømningen 75
- 6.6 Sammenfatning 76

Referencer 79

Bilag

1. Fortegnelse over målestationer 83
2. Hydrauliske og oplandsfysiske data for fagdatacenterstationer 92
3. Afstrømningsdata 1971 – 98 93
4. Månedsmiddelaflstrømning for driftperioden samt højest og lavest registrerede afstrømning 113
5. Trendanalyse 127
6. Varighedskurver 171
7. Karakteristiske afstrømningsparametre 179
8. Fordelingsfunktioner for ekstremværdier samt T -års over- og underskridelser 184
9. Perioder for beregning af middel- og medianmaksimumafstrømning 207
10. Strømningsøkologiske afstrømningsparametre 212

Appendiks

1. Deskriptive statistiske parametre, metodebeskrivelse 224
2. Statistiske fordelinger til beskrivelse af afstrømning og ekstremværdier samt frekvensanalyse 226
3. Metodebeskrivelse for trendanalyse 232

Danmarks Miljøundersøgelser 237

Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical Reports

Kort

- A. Målestationer og nedbørsområder
- B. Middelaflstrømning
- C. Medianminimumafstrømning
- D. Medianmaksimumafstrømning
- E. Nedbør
- F. Fordampning
- G. Vandbalance

Resumé

Rapporten giver en landsdækkende beskrivelse og analyse af afstrømningsforholdene i de danske vandløb. Grundlaget for rapporten er den omfattende samling af hydrometriske data, der er indsamlet siden 1917. Afstrømningsforholdene beskrives bl.a. ud fra en række karakteristiske parametre, varighedskurver, ekstremværdi- og trendanalyser. Fastlæggelse af referenceperiode for beregning af medianminimum er analyseret. Rapporten giver et samlet overblik over den nationale hydrometriske datasamling i form af kort, oversigtstabeller og nøgledata.

Afstrømningsregistrering

Systematisk registrering af afstrømning i Danmark påbegyndtes omkring 1917. I dag findes næsten 400 målestationer, hvor afstrømningen måles kontinuerligt, og stationerne er fordelt i de omkring 64.000 km vandløb, der findes i landet. Det samlede opland til målestationerne udgør ca. 55 % af landets areal. Danmarks længste vandløb er Gudenåen (149 km), og den afvander et område på godt 2600 km². Skjern Å er derimod den vandrigeste med en middelvandføring på ca. 37.000 l/sek.

Dataopsamling

Vandstanden er igennem mange år blevet registreret ved manuel aflæsning af en vandstandsskala ved mange af stationerne, men automatiske papirskrivere har også været i drift siden begyndelsen af århundredet. I dag registreres næsten udelukkende med datalogger og evt. med telefonforbindelse til stationerne. Normalt sker selve registreringen dog stadig med lod og flyder i en målebrønd. Vandføringsmålinger foretages normalt med vingeinstrument.

Strømhastighed og faldforhold

Danske vandløb har faldgradienter, der næsten udelukkende ligger i intervallet 0,1 til 10 promille. Der er en tendens til, at gradienten aftager nedstrøms i vandløbssystemet (jo nærmere kysten), men der er betydelige afvigelser mellem de forskellige dele af landet. F.eks. kan de Bornholmske vandløb have relativt store gradienter. Middelsestrømhastigheden i vandløbene varierer fra ca. 0,1 til 1,0 m s⁻¹, og hastigheden er oftest størst i store vandløb. Den gennemsnitlige strømhastighed i danske vandløb er ca. 0,3 m s⁻¹.

Udviklingstendenser i klima og afstrømning

De gennemførte trendanalyser af årlig middelnedbør og årlig middeltemperatur for Danmark i de seneste 125 år (1874 – 1998) har vist signifikant stigende udviklingstendenser for begge størrelser. Nedbøren stiger jævnt igennem hele perioden, hvorimod temperaturen stiger mest i de første 50 år af perioden også i 1990'erne. Analyser af regionale nedbørsstationer viser, at stigningen i nedbøren er størst i Vest-, Midt- og Sønderjylland. Opgørelser over vandforbruget i Danmark viser, at forbruget er øget indtil starten af 80'erne og derefter er faldet. Idet nedbøren er af størst betydning for afstrømningen, vil man på denne baggrund forvente stigende afstrømninger i de danske vandløb.

Trendanalyserne af årlige afstrømningsdata (årsmiddel, årsmaksimum og årsminimum) bekræfter stigende tendenser for de fleste af

de 39 analyserede stationer både ved analyse af hele driftperioden og af perioden 1971-98. De fleste stigende udviklingstendenser ses i årsmiddelfafstrømningen. Det har ikke været muligt at udrede regionale forskelle i resultaterne af trendanalyserne på de årlige afstrømningsdata.

Medianminimumafstrømning

Medianminimumafstrømningen, der er den værdi, der i gennemsnit bliver underskredet i hvert 2. år, anvendes generelt i forbindelse med administration af vandløb og vandressourcer.

Det enkelte års minimumvandføring kan afvige betydeligt fra medianminimum. I meget tørre år kommer niveauet i mange vandløb ned under halvdelen af medianminimum, og i nogen vandløb helt ned på omkring en fjerdedel. Som en konsekvens heraf er fastsættelsen af medianminimumafstrømningen følsom overfor valg af beregningsperiodes længde og starttidspunkt.

Ekstreme afstrømningsbegivenheder

Ved hjælp af lange tidsserier kombineret med tilpassede fordelingsfunktioner kan sandsynligheden for ekstreme afstrømningsbegivenheder estimeres. I Danmarks anvendes ofte T-års værdier, der er i gennemsnit over- eller underskrides hvert T'ende år. T kan f.eks. være 2, 10, 20, 50 eller 100 års begivenheder, og værdierne anvendes bl.a. i forbindelse med bl.a. landbrugs- og afvandingsinteresser, brokonstruktioner, fisketrapper, restaureringsprojekter og dimensionering af diger.

Referenceperiode

På baggrund af rapportens analyser og vurderinger samt tidligere undersøgelser anbefales det, at beregning af medianminimum, medianmaksimum og middelfafstrømning foretages på grundlag af data for perioden 1971 – 1998, og at det i 2001 forlænges til en 30 års periode (1971 – 2000). På længere sigt anbefales det, at referenceperioden bliver fremrykket ved begyndelsen af hvert nyt årti. Den hidtidige anbefaling af referenceperiode fra Fagdatacenter for Hydrometri har været 1971 – 1990. Ved ændringen af referenceperioden til 1971 – 1998 sker der som gennemsnit betragtet en reduktion i niveauet for medianminimumafstrømning på ca. 4 %. Afvigelsen mellem de 2 perioder er forskellig i de enkelte vandløb, men der er ikke konstateret regionale tendenser.

Karakteristik af afstrømningen

Der er store forskelle på afstrømningsmønstret i de danske vandløb. Varighedskurver er et godt værktøj til beskrivelse og analyse heraf. Nogle har en meget konstant afstrømning med lille forskel mellem vinter- og sommervandføring og uden særligt store stigninger f.eks. i forbindelse med kraftig nedbør. Andre har en meget varierende vandføring med stor afstrømning i nogle perioder og meget kraftig respons på nedbørsbegivenheder, og samtidig kan de være næsten udtørrede i sommerperioden.

Karakteristisk forskel på små og store vandløb

Analyser af sammenhænge mellem vandføringsparametre, der kan anvendes som indikatorer for økologiske forhold, viser at der er en veldefineret forskel mellem små og store vandløb og mellem regioner i landet. I større danske vandløb er variationerne generelt mindre end i små. F.eks. overskrides et niveau på 7 gange medianvandføringen kun mellem 0 og 1,5 gange pr. år i store vandløb, hvorimod det sker mellem 1,5 og 5 gange i små vandløb. Forholdet mellem medianmi-

nimum og medianvandføringen er mellem ca. 0,1 og 0,4 i små vandløb, og det er mellem ca. 0,3 og 0,6 i større vandløb.

Sammenhæng mellem afstrømningsforhold og biologisk vandløbskvalitet

Resultater af en korrelationsanalyse mellem såkaldte strømnings-økologiske parametre og Dansk Vandløbs Fauna Indeks viser tydeligt, at den biologiske vandkvalitet generelt er dårligst i vandløb med den største variation i vandføringen. Det vides endnu ikke om korrelationen skyldes at variationen i vandføringen har betydning for smådyrsfaunaen eller om den skyldes andre faktorer, der både er korrelerede med strømningsforhold og den biologiske vandløbskvalitet. Dette kan f.eks. være tilfældet med koncentrationen af organisk stof. De strømningsøkologiske parametre er tæt indbyrdes korrelerede, og det er endnu usikkert hvilke variable, der i givet fald har mest betydning for vandløbets økologi. Der er derfor behov for mere detaljerede analyser af sammenhænge mellem strømningsøkologiske parametre og invertebrater i vandløbet.

Middelaflstrømning - fordeling i Danmark

For Danmark som gennemsnit er den årlige middelaflstrømning opgjort til $10,1 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ svarende til 318 mm. I de østlige dele af landet ligger middelaflstrømningen omkring 200 mm pr. år, og i nogen delområder er den kun 100 mm. I de vestlige dele af landet er middelaflstrømningen omkring 400 mm pr. år. I dele af Midt- og Syddjylland er niveauet omkring 600 mm. De betydelige forskelle i afstrømningsmængderne er betinget af forskelle i nedbør og fordampning samt i regionale grundvandsstrømninger og vandindvinding. I år med små nedbørsmængder, som f.eks. 1976 og 1996, kan årsmiddelaflstrømningen på landsplan være mindre end 200 mm, og i nedbørsrige år, som f.eks. 1981 og 1994 kan den komme op over 450 mm.

Ekstremafstrømning - fordeling i Danmark

Minimumafstrømningen viser meget store afvigelser mellem de forskellige dele af landet. I de østlige dele af landet er medianminimumafstrømningen omkring $0,5 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, og i de vestlige dele omkring 10 gange så stor. Det er især forskelle i jordtyper og grundvandsmagasiner, der er årsag til de store forskelle i minimumafstrømning.

Tilsvarende findes betydelige forskelle i maksimumafstrømningen. Områder med meget lerjord har meget lav infiltrationskapacitet for nedsivning af regnvand, og har derfor meget store værdier for medianmaksimum, typisk mellem 50 og $100 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. På Bornholm findes de største værdier på mere end $100 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. I de mere sandede dele af landet er maksimumafstrømningen mindre, typisk mellem 20 og $40 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$.

Hydrologiske regimer

En gruppering af vandløbene i forhold til karakteristiske vandføringsparametre er foretaget ved clusteranalyse. Denne analyse bekræfter, at der er store forskelle mellem strømningsforholdene i det østlige og vestlige Danmark.

Vandbalance

Betragtes vandbalancen som middel for hele landet og over en længere periode iagttages en god overensstemmelse mellem nedbør, fordampning og afstrømning. Som middel for Danmark for perioden 1971 – 98 er den korrigerede årlige nedbør 854 mm, den potentielle

fordampning 520 mm og afstrømningen 322 mm. For mindre regioner eller kortere tidsperioder kan der optræde betydelige afvigelser. De væsentligste årsag til dette er grundvandsbevægelse på tværs af topografiske vandskel, vandindvinding og varierende indhold i grundvandsmagasinerne.

Summary

The report provides a characterization and analyses of the runoff in Danish rivers. The basis of the report is the archive of hydrometric data collected over the last century. The runoff is described by means of characteristic parameters, duration curves, extreme value analyses, trend analyses and mapping of runoff and water balance. The report presents an overview of the national hydrometric data archive providing maps, tables and key data.

Runoff monitoring

In Denmark, runoff has been systematically registered since around 1917. Runoff is currently measured continuously at almost 400 monitoring stations distributed in the app. 64,000 km small and large streams. The total catchment of the monitoring stations constitutes app. 55% of the total area of the country. Denmark's largest stream is the river Gudenå (149 km) draining an area of more than 2,600 km². The river with the most water, however, is the river Skjern Å with an average discharge of app. 37,000 l/sec.

Data collection

For many years the water stage has been registered by means of manual readings of a water level gauge placed at many of the stations, but also automatic chart recorders have been in operation since the beginning of the 20th century. Nowadays, registrations are normally performed by dataloggers and occasionally with a telemetry link to the stations. At most stations, however, the actual registration is still performed by the use of float and pulley in a stilling well. Flow measurements are performed by the use of a propeller instrument.

Flow velocity and river gradients

Fall gradients of Danish streams fall almost exclusively within the interval 0.1-10 per thousand. The gradient tends to decrease downstream in the river system (the closer it gets to the coast) but there are marked deviations between the various parts of the country. The streams on Bornholm, for instance, have relatively large gradients.

The flow velocity in streams varies between app. 0.2 to 0.5 m s⁻¹ and the velocity is often greater in large streams. The average stream velocity is app. 0.3 m s⁻¹.

Trends in runoff

The annual mean runoff shows an increasing trend over the past 80 years in most of the Danish streams. This relates primarily to a corresponding increase in the quantity of precipitation. Some streams, however, show a falling trend caused by for example water abstraction from the stream or from groundwater within the catchment. Also the annual maximum and minimum runoff show a predominantly increasing trend, but the results are not unambiguous. The indicated trends are only significant in a small proportion of the analysed time series.

Lowflow

Median minimum runoff is used as a key parameter in river management and water resources administration. Year-to-year minimum runoff may differ considerably from the median minimum. During very dry years the level will be less than half of the median minimum and in some streams even as little as a quarter of the median mini-

mum. Consequently, the determination of median minimum runoff is sensitive to the choice of length, starting and ending time of the calculation period.

Extreme events

By means of long time series combined with adjusted distribution functions, the probability of certain runoff events are estimated. In Denmark, T-year values are often used that are exceeded or reduced every T-th year on average. T could be, for example, 2, 10, 20, 50 or 100-year events and the values are used in connection with agricultural and draining interests, bridge structures, fish ladders and river restoration projects.

Period of reference

On the basis of the analyses and assessments of this report as well as earlier investigations it is recommended that the median minimum, median maximum and mean runoff be calculated on the basis of data for the period 1971-1998, and that the period is increased to a 30-year period from 2001 (1971-2000). In the long term it is recommended that the period of reference be forwarded at the beginning of each new decade. The national topic centre of hydrometry has previously recommended the period 1971-1990. By changing the period of reference to 1971-1998, the level for the average median minimum runoff will be reduced by app. 4 per cent.

Runoff characteristics

There are considerable variations in the runoff pattern in Danish streams. Duration curves are an excellent tool for describing and analysing these variations. In some streams the runoff is very constant with little variation between winter and summer water flow and without significant increases in connection with for example heavy precipitation. Others have a very varying water flow with large runoff during certain periods of the year and a very marked response to precipitation events and may still almost dry up during summer.

Relation between water quality index and runoff characteristics

Correlation analysis of flow-ecological parameters and biotic water quality index shows that poor water quality is in general related to streams with large flow-variations. However, it is not revealed if the correlation is caused by the influence of flow-variations on the fauna, or if other factors correlate to both flow-parameters and biotic index. This could apply for organic matter. The flow-ecological parameters are closely correlated to each other, and it is uncertain which values could be most important for the river ecology.

Small versus large streams

Analyses of the relationship between runoff parameters that may be used as indicators for ecological conditions show that there are well-defined variations between small and large streams and between the various regions of the country. The variations are generally less significant in large streams than small ones. A level of 7 times the median water flow is only exceeded between 0 and 15 times a year in large streams whereas it is exceeded between 1.5 and 5 times in small streams. The ratio between median minimum and the median water flow is between app. 0.1 and 0.4 in small streams and between app. 0.3 and 0.6 in large streams.

<i>Mean runoff in Denmark</i>	The average annual mean runoff for Denmark as a whole is 318 mm ($10.1 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$). In the eastern part of the country it is app. 200 mm, and in the western part 400 mm per year. In central and southern parts of Jylland 600 mm are exceeded. The considerable differences in runoff are related to precipitation pattern, evaporation, regional groundwater migration and abstraction. In years with sparse precipitation such as e.g. 1976 and 1996, the runoff is less than 200 mm, and in years rich in precipitation, such as e.g. 1981 and 1994, it is more than 450 mm.
<i>Extreme values – regional patterns</i>	Low-flow values vary considerably in the various parts of the country. In the eastern part of the country the average level is around $0.5 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, and in the western part 10 times higher. The low-flow pattern is mainly related to soil type and groundwater reservoirs. Flood values also reveal large variations over the country. In regions with heavy fine-grained soils, where infiltration of precipitation is restricted, the 2-year flood is in the interval $50 - 100 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. In regions with sand-dominated soils the 2-year flood is within the interval $20 - 40 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$.
<i>Hydrological regimes</i>	Cluster analysis is performed on a set of flow variables, and separate groups can be identified. The analysis shows that there is generally an unstable water flow regime on the Danish islands, whereas the conditions in streams in northern and western Jylland are more moderate.
<i>Water balance</i>	When considering the water balance for the country as a whole over a period of many years, there is a good fit between precipitation, evaporation and runoff. As an average for the period 1971 – 1998 the annual precipitation is 854 mm, the potential evaporation 520 mm and the runoff 322 mm. For small regions or short periods there are considerable deviations caused mainly by ground water movements across the topographic water divides, water abstraction or fluctuation in the ground water level.

[Tom side]

Forord

Denne rapport er udarbejdet af Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Vandløbsøkologi. En del af rapporten og de tilgrundsiggende dataanalyser er udarbejdet i samarbejde med Hedeselskabet, Miljø og Energi as, afdeling for Hydrometri og Vandressourcer. Rapporten er udarbejdet af Fagdatacenter for Hydrometri, en funktion Danmarks Miljøundersøgelser har varetaget siden 1994.

En af hovedopgaverne for Fagdatacenter for Hydrometri er at vedligeholde en landsdækkende database, der bl.a. indeholder samtlige tidsserier af vandføringsdata, der er indsamlet i Danmark. Det er data fra denne database, der er grundlaget for analyser og præsentationer i denne rapport. En anden stor opgave for Fagdatacentret er at varetage driften af et nationalt referencestationsnet, der består af 27 målestationer fordelt i hele landet. Stationer og data herfra er særskilt beskrevet i rapporten.

Formålet med rapporten er at give en generel beskrivelse af afstrømningsforholdene i de danske vandløb, herunder vandføringens variationer, mængder og udviklingstendenser. Vandløbsafstrømningen skal ses i sammenhæng med vandets kredsløb og relateres til klimatiske og vandløbsøkologiske forhold. Endvidere er det hensigten, at rapporten skal give et overblik over de hydrometriske data, der er indsamlet i Danmark.

I 1994 udarbejdede Hedeselskabet et udkast til en rapport, der præsenterede og analyserede vandføringsdata frem til 1993. En del af dette rapportudkast er grundlaget for nærværende rapport, men der er medtaget flere statistiske analyser og præsentationer, og endvidere indgår der afstrømningsdata til og med 1998. Rapporten er finansieret af Miljøstyrelsen, Skov- og Naturstyrelsen og Danmarks Miljøundersøgelser.

[Tom side]

1 Indledning

Mål og baggrund

Formålet med denne rapport er at give et overblik over afstrømningen i de danske vandløb på baggrund af hydrometriske data, som er indsamlet siden begyndelsen af sidste århundrede og frem til i dag. Afstrømningsforholdene er bl.a. beskrevet ved en række karakteristiske parametre, varighedskurver, resultater af ekstremværdianalyser og trendanalyser samt kortlægning af afstrømningen. Samtidig giver rapporten et overblik over den nationale hydrometriske datasamling i form af kort, oversigtstabeller og nøgledata.

Oversigt over rapporten

De 27 stationer i fagdatacentrets nationale referencestationsnet er beskrevet i kapitel 2, mens kapitel 3 indeholder en analyse af udviklingstendenser i afstrømningen. Kapitel 4 indeholder beskrivelser og analyser af karakteristiske afstrømningsparametre, ekstremværdifordeling samt regionalisering og estimering af afstrømningsforhold i umålte oplande. Kapitel 5 behandler afstrømningskarakteristik i relation til økologiske forhold, og kapitel 6 præsenterer en geografisk kortlægning af middel-, minimum- og maksimumafstrømningens fordeling i Danmark samt vandbalanceforhold og afstrømningsopgørelser. Beskrivelser af metoder, der er anvendt til tidsserieanalyser, og statistiske fordelinger er beskrevet i appendiks. I bilagene findes oversigt over stationsnettet i Danmark med middelværdier og ekstremværdier samt tidsserieplot og afstrømningsdata fra bl.a. fagdatacentrets stationer. Endvidere findes oplandskarakteristiske data, varighedskurver og fortegnelse over en række karakteristiske afstrømningsparametre og bagest i rapporten er en serie kort, der præsenterer lokalisering af hydrometristationer i Danmark, middel-, minimum- og maksimumafstrømning samt nedbør og fordampning.

Datagrundlag

Til karakteristik og belysning af bl.a. udviklingstendenser og ekstremværdifordeling er der anvendt data fra målestationer, udvalgt efter det kriterium, at de har været i uafbrudt drift siden 1971. Analysen af udviklingstendenserne er dog for en række stationer gennemført på de fulde tidsserier, hvoraf de ældste starter i 1918. Til kortlægningen af afstrømningsfordelingen er ligeledes anvendt data fra stationer med uafbrudt drift siden 1971 som reference, men de er suppleret med data fra en række øvrige stationer.

Mange af analyserne er gennemført for perioden 1971-98. Denne periode er valgt med henblik på tilnærmelsesvis at repræsentere en 30-års periode, og da der er meget få stationer, der har været i drift siden 1961, har analyserne ikke kunnet baseres på perioden 1961-90. Det er hensigten, at der i 2001 udkommer en supplerende rapport, der giver en oversigt over afstrømningsdata for perioden 1971-2000, og at denne periode efterfølgende anvendes som reference. Referenceperioder er nærmere behandlet i kapitel 4.

Data er i denne rapport anvendt som en homogen mængde. Der kan dog forekomme homogenitetsbrud i forbindelse med ændringer i procedurer for registrering eller beregningsrutiner, selvom der i forbindelse med drift af stationer og databearbejdning løbende er foretaget kontrol og korrektion af data netop med henblik på at forhindre sådanne homogenitetsbrud. Måleprocedurer for vandstandsbestemmelse har ændret sig fra daglige aflæsninger på skala over tromle-

skrivere til elektronisk datalogning af øjebliksværdier. Tilsvarende har praksis for vandføringsmåling med vingearbejde og målehyppighed ved stationerne ændret sig gennem tiderne. Databehandlingen er overgået til edb, og procedurer for fastlæggelse af den daglige vandføring har gennemgået en udvikling. Der er flere eksempler på mulige afvigelser og homogenitetsbrud forårsaget af sådanne ændringer i datahåndtering, men betydningen for usikkerheden på data er ikke behandlet i denne rapport.

Øvrige publikationer

Publikationer der bl.a. indeholder oversigt over hydrometriske data i Danmark er tidligere udgivet af Hedeselskabet, den seneste er 10. beretning (*Hedeselskabet, 1978*). De fleste amter udgiver hvert år en datarapport, hvor det foregående års hydrometriske data dokumenteres og præsenteres og årets afstrømningsforhold kort beskrives, se f.eks. *Schmidt, 1999*. Vandstandsdata er ikke behandlet eller beskrevet i denne rapport. Vandstandsforhold og sammenhæng mellem vandstand og vandføring i danske vandløb er f.eks. beskrevet i *Iversen & Ovesen, 1997*.

Største vandløb i Danmark

Vi har ca. 64.000 km vandløb i Danmark, og heraf er de 48.000 km små vandløb, der er mindre end ca. 2,5 meter brede. Gudenåen er med sine 149 km fra udspringet i Tinnets krat til udløbet i Randers (*Nielsen et al., 2000*), det længste vandløb i Danmark. Skjern Å er derimod den vandrigeste med en middelvandføring ved udløbet på omkring 36.600 l s⁻¹. Kortet, figur 1.1 og tabel 1.1 angiver de 10 største vandløb i Danmark.

Tabel 1.1 De 10 største vandløb i Danmark angivet med oplandsareal, længde fra udspring til udløb og middelvandføring.

(Table 1.1 The 10 largest streams in Denmark including information of catchment area lengths and mean water discharge.)

Vandløb	Oplands-areal km ²	Længde km	Vandføring l s ⁻¹
1. Gudenå	2638	149	32.400
2. Skjern Å	2378	96	36.600
3. Storå	1100	100	16.100
4. Varde Å	1090	91	16.000
5. Vidå	1081	69	13.400
6. Ribe Å	962	71	12.200
7. Suså	820	87	6.100
8. Karup Å	763	92	9.300
9. Odense Å	623	59	6.500
10. Skals Å	617	54	4.900



Figur 1.1 Danmarks 10 største vandløb. Nummereringen svarer til tabel 1.1.
 Figure 1.1 The 10 largest streams in Denmark. The numbers correspond to those in Table 1.1.

Hydrometriens udvikling i Danmark

I 1917 påbegyndte Hedeselskabet systematiske målinger af afstrømningen i udvalgte danske vandløb med oprettelsen af en række målestationer, hvoraf 14 stadig er i funktion. Siden er stationsnettet løbende blevet udvidet. I slutningen af 1960'erne var der omkring 130 stationer i drift. I løbet af 1970'erne, hvor der dels forekom nogle meget tørre år med problemer med vandressourcen, og hvor interessen for miljøbeskyttelse samtidig var voksende, blev der etableret en hel del nye hydrometristationer. Senest er der i forbindelse med Vandmiljøplanens Overvågningsprogram fra slutningen af 1980'erne etableret mange stationer, og i de seneste år har omkring 370 målestationer med registrering af vandstand og måling af vandføring været i drift. Frem til 1985 har Hedeselskabet varetaget alle hydrometriske målinger i Danmark, men i dag foretages en stor del af arbejdet af amterne, der som vandløbsmyndighed er ansvarlig for driften af de fleste målestationer.

Oprindeligt var formålet med målestationerne at levere repræsentative afstrømningsdata for Danmark, og interessen var primært knyttet til landbrugstekniske forhold. Endvidere var formålet med nogle af de ældste stationer at danne grundlag for vurdering af vandkraftpotentialet i Danmark. Frem til 1970'erne var landbrugsinteresser og bygningstekniske formål, f.eks. i forbindelse med afvanding og brobygning, det afgørende formål med hydrometrimålingerne. Gennem

de seneste 20-30 år har de miljømæssige formål fået en stigende betydning, og ved f.eks. opgørelser af næringsstofbelastning af vores søer og marine kystafsnit er afstrømningsdata af fundamental betydning. Endvidere anvendes vandførings- og vandstandsdata som et vigtigt grundlag for vandløbsvedligeholdelse og andre opgaver i forbindelse med administration af Vandløbsloven samt ved vurdering og fordeling af vandindvinding.

Stationsnettet i dag

Den 1. januar 1999 er der i Danmark 366 målestationer i drift, hvor der kontinuerligt registreres vandstand og måles vandføring jvf. fagdatacentrets database (bilag 1). Dette stationsnet giver et direkte kendskab til afstrømningen fra ca. 55 % af landets areal. Derudover findes et antal stationer, hvor vandføringen fastlægges ved enkeltmålinger, der relateres til en nærliggende referencestation samt en del stationer, hvor der kun registreres vandstand.

I bilag 1 findes en fortegnelse over samtlige målestationer med registrering af både vandstand og vandføring samt en del øvrige stationer med vandstand- eller afstrømningsregistrering. En del nedlagte stationer med længere tidsserier er medtaget i tabellen, og der er bl.a. angivet stationernes oplandsareal, registreringsparameter og hvilket amt, der er ansvarlig for stationen. Den geografiske placering af målestationerne er vist på kort A i kortbilaget.

Sådan registreres afstrømningen

En hydrometrisk målestation består almindeligvis af en skalapæl til aflæsning af vandstand samt udstyr til automatisk kontinuerlig registrering af vandstanden. Ved stationen foretages med regelmæssige mellemrum måling af vandføringen, hvilket normalt foregår under anvendelse af propelinstrument (*Jensen & Frost, 1992*). På baggrund af vandføringsmålingerne og de på samme tid observerede vandstande kan sammenhængen mellem vandstand og vandføring fastlægges. Herefter kan en kontinuerlig vandføringstidsserie (hydrograf) estimeres på basis af vandstandsregistreringen (*Raaschou 1991*). I naturlige vandløb vil sammenhængen mellem vandstand og vandføring ændre sig med tiden, bl.a. på grund af grødevækst, sedimenttransport og vandløbsvedligeholdelse. Dette forhold må inddrages ved fastlæggelsen af sammenhængen mellem vandstand og vandføring.

2 Fagdatacentrets stationsnet

2.1 Beskrivelse af stationsnettet

Dette kapitel omhandler fagdatacenterets vandføringsstationer (FDC-stationer), der er et nationalt referencestationsnet bestående af 27 stationer fordelt i hele landet. Stationerne har været i drift i mange år, og data anvendes til mange formål. Bl.a. anvendes de som reference for afstrømningsmålinger i andre vandløb, og de indgår i internationale netværk og anvendes til f.eks. tidsserieanalyse.

Præsentationen indeholder en karakterisering af vandføringsstationerne med hensyn til lokalitet, oprettelsesår, oplandsstørrelse, oplandsfysiske og hydrauliske parametre samt den relative middelfejl på den daglige vandføring. Data for stationernes afstrømningsstatistik er præsenteret og analyseret i kapitel 3 og 4 sammen med data fra en række øvrige stationer. I bilag 1, der er en fortegnelse over danske hydrometristationer, er angivet hvilke stationer, der indgår i fagdatacentrets stationsnet, og deres placering fremgår af stationskortet (kortbilag A).

2.2 Dataregistrering

En del af målestationerne er etableret allerede i 1917 (tabel 2.1), og har siden været i uafbrudt drift.

Tabel 2.1 Stationsnumre, vandløbsnavn, lokalitet, oplandsareal og oprettelsesår for FDC-stationerne.

Table 2.1 Station numbers, name of stream, locality, catchment area and year of establishment of the Topic Centre Station

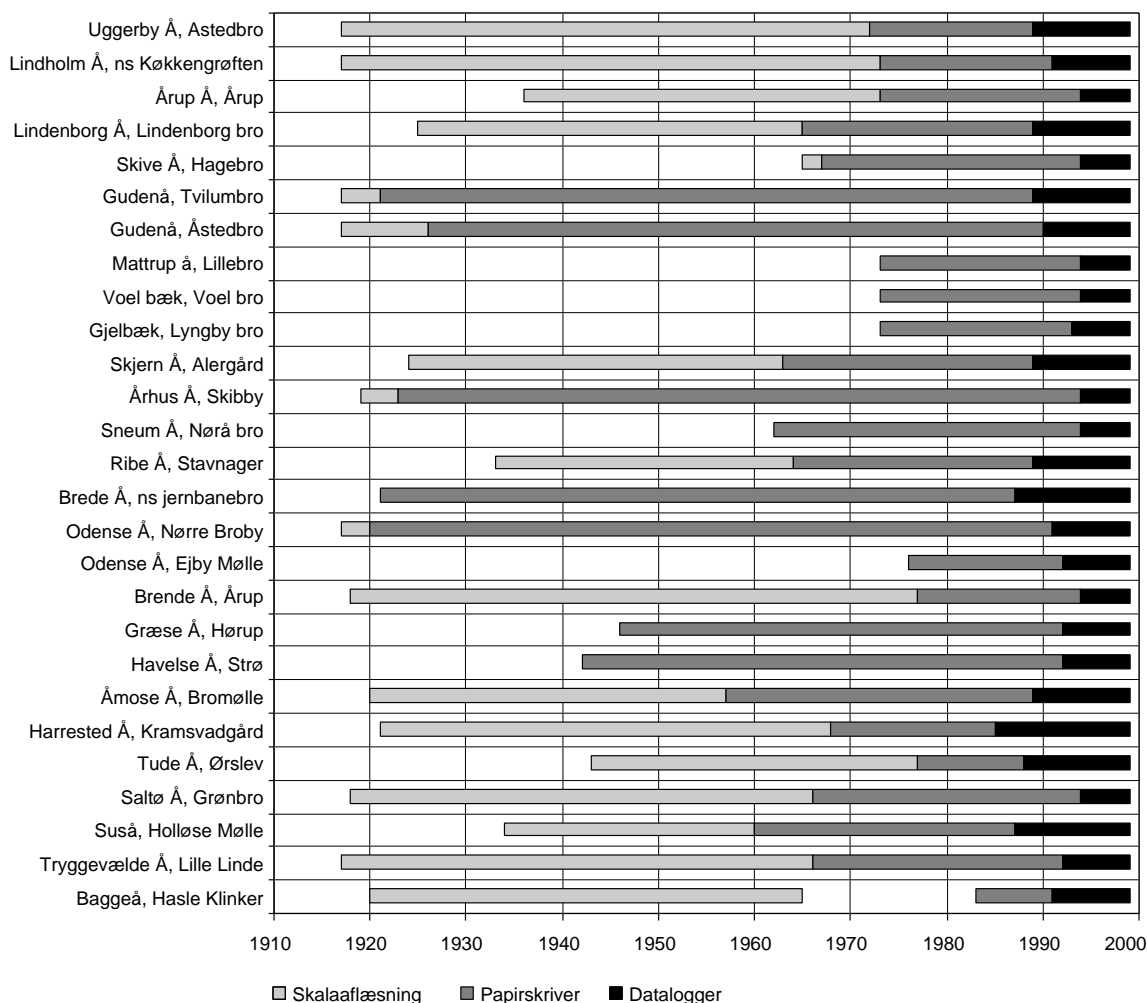
DMU-nr.	DDH-nr.	Navn, Lokalitet	Opland km ²	Oprettet
030003	03.01	Uggerby Å, Astedbro	153,0	1917
070003	07.01	Lindholm Å, ns Køkkengrøften	104,2	1917
110016	11.02	Årup Å, Årup	108,3	1936
140022	14.01	Lindborg Å, Lindborg Bro	213,8	1925
200026	20.05	Skive Å, Hagebro	518,4	1965
210084	21.01	Gudenå, Tvilumbro	1282,4	1917
210085	21.02	Gudenå, Åstedbro	184,5	1917
210077	21.32	Matrup Å, Lillebro	80,4	1973
210020	21.43	Voel bæk, Voel Bro	10,6	1973
210019	21.44	Gjelbæk, Lyngby Bro	11,6	1973
250082	25.05	Skjern Å, Ahler Gårde	1054,6	1924
260082	26.01	Århus Å, Skibby	118,6	1919
350010	35.03	Sneum Å, Nørå Bro	223,6	1962
380024	38.01	Ribe Å, Stavnager	675,3	1933
400001	40.06	Brede Å, ns jernbanebro	292,0	1921
450004	45.01	Odense Å, Nørre Broby	301,7	1917
450001	45.26	Odense Å, Ejby Mølle	535,5	1976
460030	46.01	Brende Å, Årup	70,9	1918
520025	52.07	Græse Å, Hørup	25,4	1946
520029	52.08	Havelse Å, Strø	102,1	1942
550018	55.01	Åmose Å, Bromølle	291,3	1920
560006	56.02	Harrested Å, Kramsvadgård	16,0	1921
560007	56.06	Tude Å, Ørslev	148,0	1932
570049	57.01	Saltø Å, Grønbro	63,8	1918
570058	57.12	Suså, Holløse Mølle	756,1	1934
590006	59.01	Tryggevælde Å, Lille Linde	130,2	1917
660014	66.01	Baggeå, Hasle Klinker	42,4	1983

*Driftperioder og
dataopsamling*

Alle stationer har været i drift i mindst 25 år, og ca. halvdelen af stationerne har været i drift i mere end 75 år. Stationerne er nogenlunde jævnt fordelt i Danmark med 15 i Jylland, 3 på Fyn, 8 på Sjælland og 1 på Bornholm. Stationsnettet repræsenterer både små og store vandløb, og arealerne af oplandene til stationerne er fra ca. 10 km² til ca. 1.300 km² (tabel 2.1).

Ved alle stationer registreres vandstanden, og i en lang årrække efter etableringen var manuel aflæsning af en vandstandsskala, en eller flere gange om dagen, den mest almindelige registreringsmetode. Senere overgik registreringen til automatiske papirskrivere der var forbundet til lod og flyder i en målebrønd.

I dag foregår vandstandsregistreringen ved samtlige stationer ved hjælp af datalogger, stadig med lod og flyder, og vandstanden registreres hvert 15. minut. Driftovervågning og datatransmission sker via telefonforbindelse. Driftperioder og metoder til registrering af vandstanden fremgår af figur 2.1.



Figur 2.1 Driftperiode og vandstandsregistreringsmetode for FDC-stationerne.

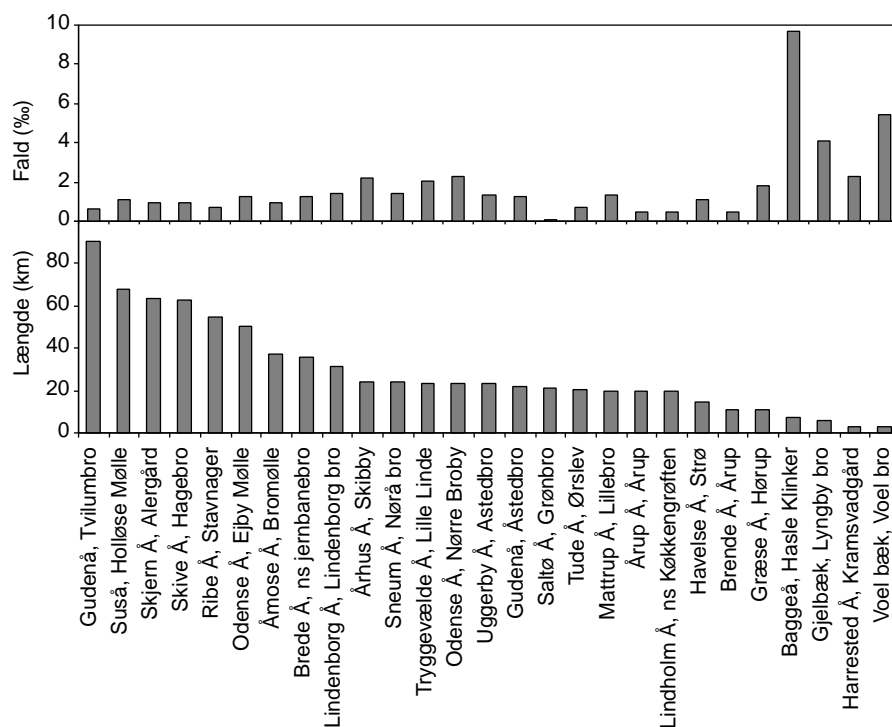
Figure 2.1 Period of running and method of water stage registration for the Topic Centre stations

Fagdatacentrets database indeholder døgnmiddelværdier for vandføring og kotevandstand for samtlige hydrometristationer i Danmark jf. bilag 1. Der findes herudover visse hydrometriske stationer, der ikke er registreret i databasen, hvilket især er stationer med begrænset driftperiode. I bilag 2 findes en række af stationernes hydrauliske og oplandsfysiske parametre. I bilag 3 findes en tabel med angivelse af hver måneds middelfaststrømning fra 1971 til 1998. Tabellen omfatter FDC-stationer og amtslige stationer med uafbrudt drift siden 1971, i alt 39 stationer. Endvidere er årsmiddelværdierne, største og mindste afstrømning samt nedbør/vandbalance angivet for de enkelte år. I bilag 4 findes månedsmiddelfaststrømning samt største og mindste registrerede afstrømning i de enkelte måneder for 350 målestationer. Opgørelsen er lavet på basis af data for den enkelte stations driftperiode (jf. bilag 1).

2.3 Oplandsfysiske og hydrauliske forhold

Hydrauliske parametre

Længden af hvert vandløb er opgjort som længden fra udspringet til vandføringsmålestationen, og opgørelsen er lavet på basis af 1:25.000 kort fra Kort- og Matrikelstyrelsen. Vandløbslængden for de 27 stationer varierer mellem 2-3 km og ca. 90 km. (figur 2.2 nederst). Det gennemsnitlige længdefald er fastlagt som bundkoten i udspringet minus bundkoten ved vandføringsstationen delt med vandløbslængden. Vandløbenes fald varierer mellem ca. 0,1 promille og næsten 10 promille (figur 2.2 øverst).

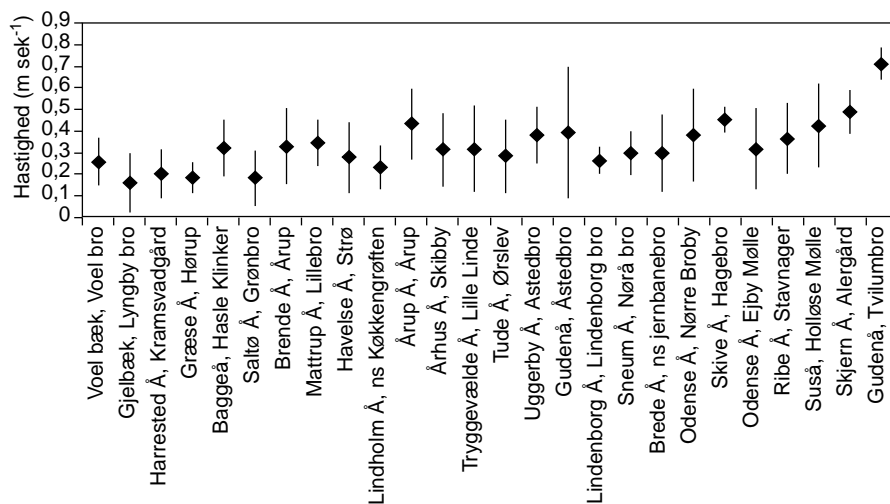


Figur 2.2. Vandløbslængde i km, fra udspring til målestation (nederst) og gennemsnitligt vandløbslængdefald i promille (øverst) for FDC-stationerne (data bilag 2).

Figure 2.2 Length of stream in km, from the source to the monitoring station (bottom) and the average fall in length of stream in ??? (top) for the Topic Centre Stations

Strømhastigheden ved de enkelte stationer er opgjort på baggrund af registreringer af vandføringen med vingeinstrument, hvorved hastighedsfordelingen i vandløbets tværsnit måles samtidig. Middelhastigheden for hvert vandløb er fastlagt som middelhastigheden i tværsnittet taget som gennemsnit for de seneste 5 års vandføringsmålinger (1994-98).

Middelhastigheden varierer fra ca. 0,2 meter pr. sekund i de langsomt strømmende vandløb til omkring 0,5 i de hurtigst strømmende (figur 2.3).



Figur 2.3. Middelstrømhastighed for perioden 1994-98 for FDC-stationerne med angivelse af standardafvigelse og opstillet efter oplandsstørrelse. (Data fra stationen i Åmose Å er ikke medtaget, da stationen er beliggende i en tunnel.)

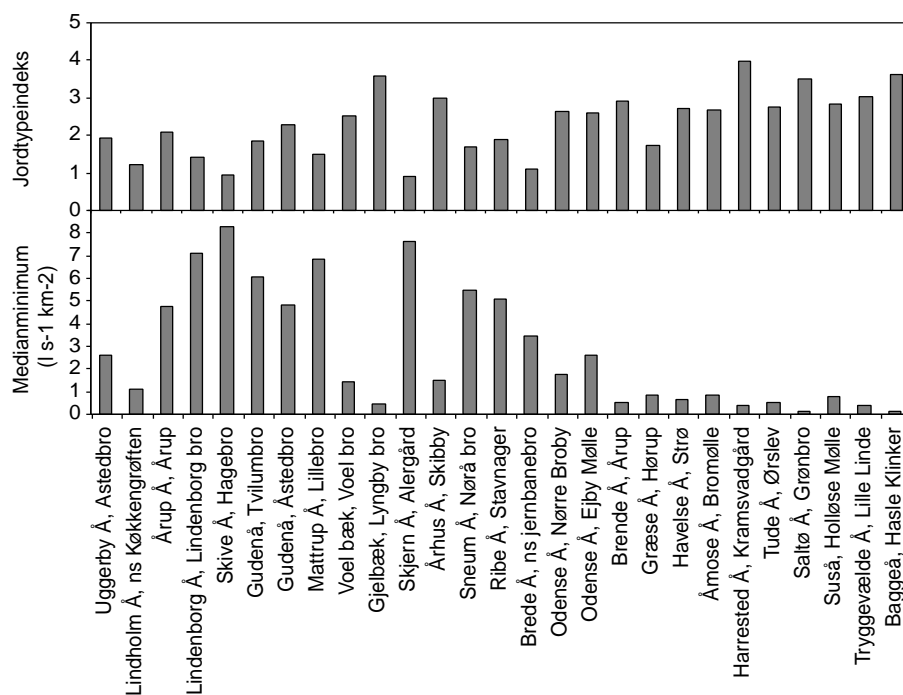
Figure 2.3. Average stream for the period 1994-98 for TPC showing the variation coefficient and listed according to catchment size (Data from the station in Åmose Å are not included as the station is situated in a tunnel)

Ved en enkelt station (Gudenaå, Tvilum) er den gennemsnitlige hastighed godt 0,7 meter pr. sekund. Den gennemsnitlige hastighed givet som middel for alle vandløb er 0,33 m s⁻¹. Der er betydelig forskel på, hvor meget hastigheden varierer ved den enkelte station, og der er en tendens til, at jo større vandløb og jo længere nedstrøms i vandløbene, des større er vandets middelstrømhastighed.

Oplandsfysiske parametre

Jordtypen i oplandene til FDC-stationerne er opgjort som et indeks for hvert opland på baggrund af jordtypekortlægning fra Danmarks JordbrugsForskning. Den frie jordflade er opdelt i 6 kategorier, hvor partikelstørrelsen aftager med stigende typenummer. Type 1 er grovsandet jord, og type 6 er svær lerjord.

For hvert opland er andelen af de forskellige jordtyper opgjort, og oplandets jordtypeindeks er beregnet som en vægtet sum af jordtypenummeret og deres respektive procentandele. Jordtypeindekset bliver herved et tal, der kan variere mellem 1 og 6, hvor jordtypen bliver mere leret for stigende værdier (bilag 2). Oplandenes jordtypeindeks er sammen med medianminimumafstrømningen præsenteret i figur 2.4.



Figur 2.4. Jordtypeindeks (øverst) og medianminimumafstrømning, l s⁻¹ km² (nederst) for FDC-stationerne.

Figure 2.4. The earth type index (top) and the median/minimum runoff, l s⁻¹ km² (bottom) for the TPC-stations

Den overordnede arealanvendelse er opgjort for hvert opland som andelen af by, skov og vand af det samlede oplandsareal til stationerne (bilag 2).

2.4 Usikkerhed på afstrømningsdata

Middelfejl på afstrømningsberegningen

Med henblik på at give et overblik over usikkerheden på fastlæggelsen af hydrografen for den enkelte station, er der for hver fagdata-center-station beregnet værdi for den relative middelfejl (CV). Middelfejlen er beregnet på basis af den daglige vandføring, og den er opgjort med data fra perioden 1988-92 (bilag 2). CV er defineret som residual-afvigelsen på modellen (relationen mellem vandstand og vandføring – QH-kurven) delt med middelværdien på de foreliggende vandføringsmålinger. Herved angives den relative middelfejl på en beregnet daglig vandføring i %. Den herved estimerede usikkerhed er udtryk for en maksimal fejl, og den faktiske fejl på hydrograf-fastlæggelsen vil efter databearbejdningen være væsentligt mindre.

For stationer med stor CV er beregningsmetode og korrektioner i forbindelse med bearbejdning af data af stor betydning, og fejlen kan herved reduceres betydeligt. Der kan være flere årsager til store værdier af CV, hvoraf følgende er almindeligt forekommende:

- Stuvningspåvirkning, eksempelvis på grund af nedstrøms liggende sø eller hav, grøde eller for lille bundhældning.
- Ændring af vandløbstværsnit som følge af hyppig opgravning, grødevækst, sandvandring eller lignende.
- Grundvandsdomineret afstrømningsregime, hvor alle vandføringsmålinger ligger inden for et snævert interval.

[Tom side]

3 Udviklingstendenser i klima- og årsafstrømningsdata

Formålet med dette kapitel er at undersøge og beskrive eventuelle langtidsvariationer i danske afstrømningsdata for vandløb. Kapitlet indeholder statistiske analyser af en række afstrømningstidsserier samt af tidsserier af temperatur og nedbør. Målet er at beskrive år til år variationen og at finde eventuelle udviklingstendenser (trends), som kan skyldes klimaændringer eller andre ændringer, såsom et øget vandforbrug i den undersøgte periode.

Metoder anvendt ved trendanalysen

Trendanalysen består dels af en ikke-parametrisk og en parametrisk metode og udføres på årsafstrømningsdata, det vil sige for årsminimum-, årsmiddel- og årsmaksimumafstrømning. Analysen for trends i temperatur og nedbør udføres på årsmiddelværdier for landet samt for årlige nedbørsmængder målt på 5 forskellige nedbørsstationer med lange tidsserier.

Analysen tager i betragtning, at data er målt i på hinanden følgende år, og deler den observerede variation ind i trend og restvariation. Trend opfattes som langtidskift i middelværdien. Trenden estimeres, og der angives en usikkerhed på estimatet i form af et 95 %-konfidensinterval. Trendanalysen gennemføres på den specifikke afstrømning ($l s^{-1} km^2$), så forskellige vandløb bedre kan sammenlignes. I kapitlet anvendes et signifikansniveau på 5 %. De statistiske metoder er beskrevet nøjere i appendiks 3.

Trendanalysernes datagrundlag

Datagrundlaget for trendanalyserne i dette kapitel er følgende. Tidsserierne af årsafstrømningsdata er baseret på tidsserier af døgnmiddelvandføringer for 39 udvalgte hydrometristationer, som er udvalgt på grundlag af følgende regler. Stationen skal have en ubrudt tidsserie fra 1971 til 1998, dog er alle FDC-stationer med i analysen. Tidsserierne analyseres for udviklingstendenser i 2 perioder. Dels hele driftperioden for den pågældende station og dels i perioden 1971-98.

3.1 Analyse af nedbør og temperatur siden 1874

På grund af en række naturlige forhold såsom forskelle i solens aktivitet, jordens hældning og bane i forhold til solen, vulkanudbrud, massive skovbrande og ikke mindst vekselvirkninger mellem atmosfære, geosfære, oceaner og ismasser, vil der være en naturlig klimavariabilitet, som overlejrer en menneskeskabt klimaudvikling. Den naturlige variabilitet findes på tidsskalaer fra årtier til millioner af år.

En bedre forståelse af alle de påvirkende processer har fået IPCC (1995) til at vurdere, at den globale opvarmning, som er konstateret de seneste mere end et århundrede, ikke alene skyldes naturlige variationer.

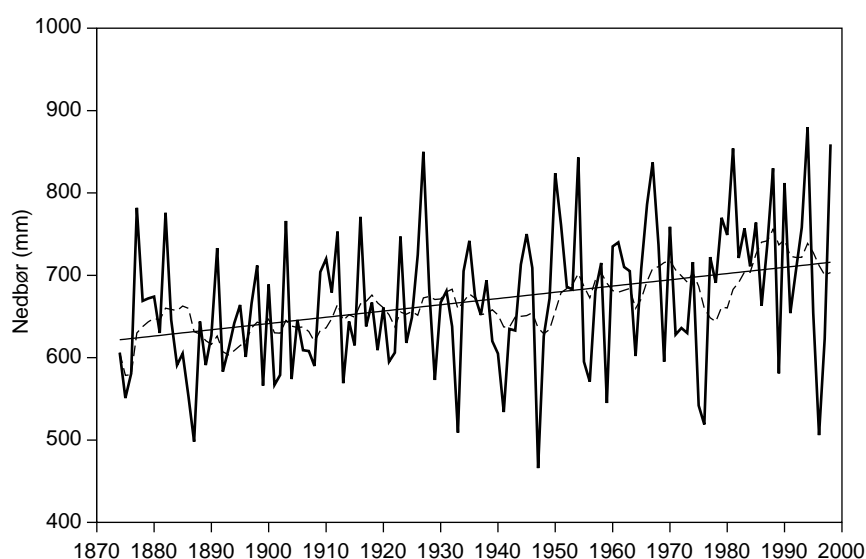
De analyserede tidsserier

Tidsserier af årlig middelnedbør og årlig middeltemperatur for Danmark er blevet analyseret for udviklingstendenser i perioden 1874-

1998 på baggrund af data fra Danmarks Meteorologiske Institut (Cappelen & Jørgensen, 2000). Året 1874 er det tidligste år med pålidelige meteorologiske målinger i Danmark. Endvidere har vi analyseret tidsserier af årlige nedbørsmængder målt på 5 forskellige nedbørstationer i Danmark, for at afgøre om der har været regionale forskelle i udviklingen i nedbøren. Disse 5 tidsserier er ligeledes for perioden 1874-1998 og er de eneste i Danmark med så langt et forløb (Laurson et al., 1999). Det har ikke været muligt at analysere tilsvarende regionale temperaturtidsserier på grund af et for mangelfuldt datamateriale. Den årlige landsmiddelmiddeltemperatur er analyseret fordi temperaturen har betydning for fordampningen og dermed og så for afstrømningen i vandløbene.

Analyse af den årlige middelnedbør for Danmark

Den årlige middelnedbør for Danmark siden 1874 er vist i figur 3.1. Der har været store variationer fra år til år, og der har generelt været en stigning i nedbørsmængderne igennem hele perioden.



Figur 3.1 Tidsserie med årlig middelnedbør for Danmark i perioden 1874-1998 med den bedste rette linie indsat i plottet ($y = 621 + 0,76 \cdot x$). Desuden indeholder grafen også et glidende 10 års gennemsnit.

Figure 3.1 Annual average/mean precipitation in Denmark for the period 1874-1998. The plot shows also the best linear fit through data ($y = 621 + 0,76 \cdot x$) as well as a 10-year moving average.

Stigning i nedbør

Resultaterne af trendanalyserne er vist i tabel 3.1. Alle perioder viser stigende nedbør, perioderne 1874-1998 og 1917-98 har signifikante udviklingstendenser ($P=0,02\%$ og $P=1,2\%$).

I perioden 1874-1998 er årsmiddelnedbøren steget 0,76 mm pr. år og det svarer til i alt 95 mm i hele perioden. For perioden 1917-98 er den samlede stigning på 78 mm. Adskillige klimamodeller indikerer en stigning i nedbørsintensiteten med stigende temperaturer (IPCC, 1995). De påviste stigninger i nedbørsmængden har isoleret set medført en forøgelse af afstrømningen i de danske vandløb.

Tabel 3.1 Trendanalyse af årsmiddelnedbør. Tabellen indeholder resultater både for den ikke-parametriske og den parametriske analyse, og de er angivet ved en teststørrelse og den tilhørende P -værdi samt estimatet for den årlige udvikling sammen med 95 % konfidensintervallet for estimatet.

Table 3.1 Results of trend analyses of the annual mean precipitation. The table shows results of both the non-parametric and the parametric analysis indicated by a test statistic and the corresponding P -value as well as the estimated annual trend and the 95 % confidence interval of the estimate.

Periode	Parametrisk analyse		Ikke-parametrisk analyse	
	Teststørrelse og testsandsynlighed	Hældnings-estimat (mm år ⁻¹)	Teststørrelse og testsandsynlighed	Hældnings-estimat (mm år ⁻¹)
1874-1998	$V=3,81$ $P=0,02$ %	$\hat{\beta}=0,76$ $\hat{\beta} \in [0,36;1,15]$	$Z=3,87$ $P=0,01$ %	$\hat{\beta}=0,84$ $\hat{\beta} \in [0,45;1,27]$
1917-1998	$V=2,61$ $P=1,1$ %	$\hat{\beta}=0,95$ $\hat{\beta} \in [0,22;1,67]$	$Z=2,58$ $P=1,0$ %	$\hat{\beta}=1,11$ $\hat{\beta} \in [0,28;1,87]$
1971-1998	$V=1,21$ $P=24$ %	$\hat{\beta}=2,78$ $\hat{\beta} \in [-1,81;7,37]$	$Z=1,19$ $P=24$ %	$\hat{\beta}=3,6$ $\hat{\beta} \in [-2,43;8,53]$

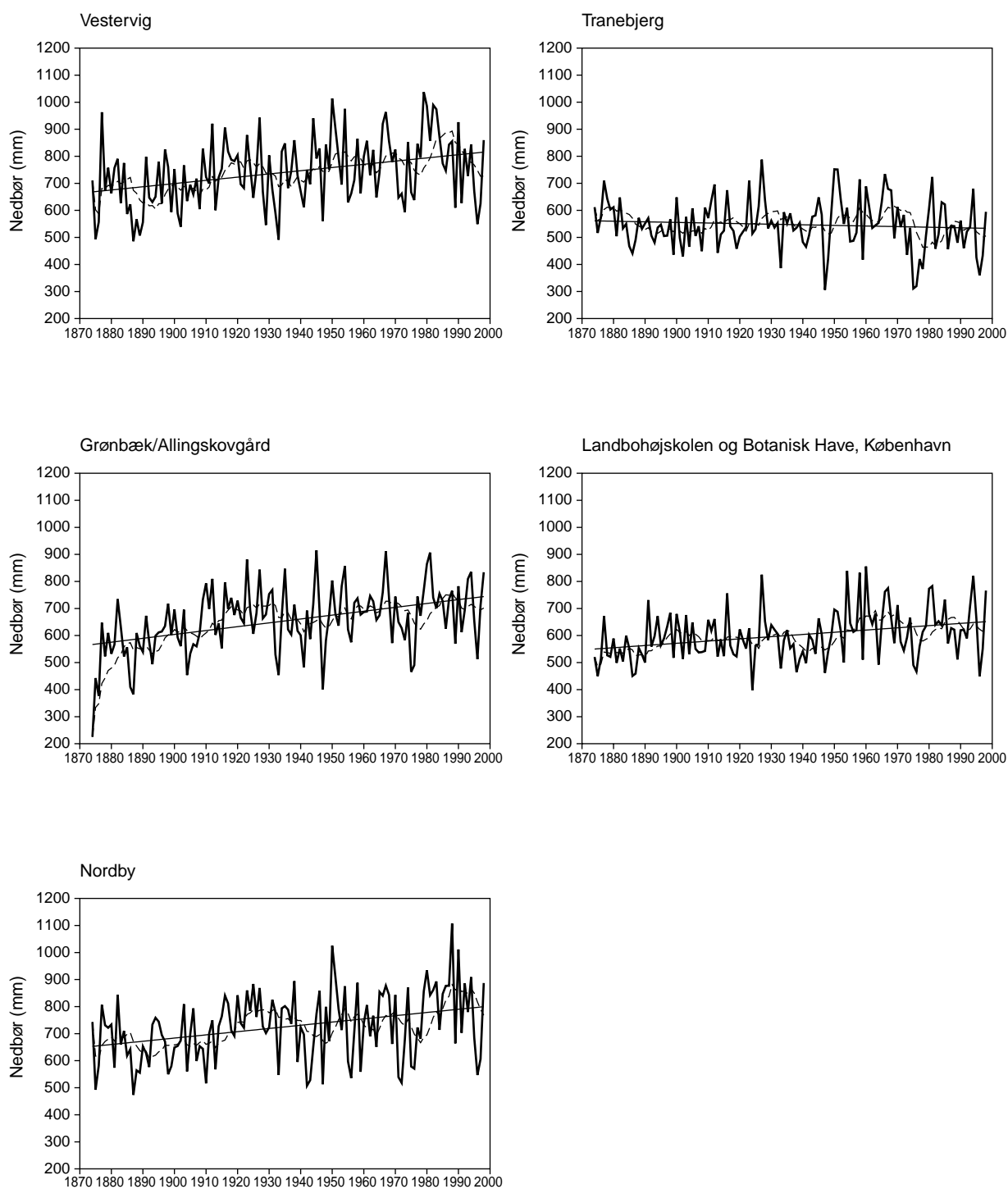
De parametriske analyser viser desuden, at residualprocessen som regel er en hvid støj, det vil sige uden hukommelse. Dog er residualprocessen for perioden 1917-98 en AR(2)-proces med signifikant hukommelse to år tilbage i tiden.

Trendanalyse af nedbørstidsserier målt på 5 klimastationer

For at belyse udviklingstendensen i nedbøren nærmere har vi foretaget en trendanalyse af fem tidsserier med årlige nedbørsmængder registreret på 5 nedbørsstationer fordelt rundt i Danmark: Vestervig (Vestjylland), Grønbæk/Allingskovgård (Midtjylland), Nordby (Fanø, Sønderjylland), Tranebjerg (Samsø) og Landbohøjskolen (København). Disse fem stationer er de eneste i Danmark med data helt tilbage fra 1874, dog er Landbohøjskolen suppleret med data fra stationen i Botanisk Have (København) i perioden oktober 1996 til og med 1998. De 5 nedbørsstationer og de anvendte data er nærmere beskrevet i (Laursen *et al.*, 1999). De 5 tidsserier er vist i figur 3.2 og de viser stigende udviklingstendenser for alle stationer på nær Tranebjerg, som har faldende tendenser. Trendanalysens resultater er givet i tabel 3.2.

De stigende udviklingstendenser i perioden 1874-1998 er alle signifikante, hvorimod den faldende tendens ikke er signifikant. Man ser de største stigninger ved de 3 stationer i Jylland (over 1 mm pr. år) med den største stigning i Midtjylland (Grønbæk, 1,42 mm pr. år). I København er stigningen under 1 mm pr. år. For perioden 1917-98 har der været en signifikant stigende udvikling i nedbørsmængder målt ved Landbohøjskolen. Ved Tranebjerg ser man en faldende tendens, som ikke er signifikant og ved de resterende 3 stationer er nedbøren steget, men ikke signifikant. Endelig er der ikke nogle signifikante udviklingstendenser for perioden 1971-98 og for alle stationer på nær Vestervig er der tale om stigninger. Alle disse resultater stemmer overens med en analyse udført af Danmarks Meteorologiske Institut (Cappelen, 1993), hvor man har sammenlignet årsmiddelnedbør i perioderne 1931-60 og 1961-90. Denne analyse viser også stigende nedbør i Vest-, Midt- og Sønderjylland og ingen tendenser i Østjylland,

Sore Bæltregionen det nordlig Sjælland samt det sydlige Øhav og et mindre fald på Bornholm.



Figur 3.2 Årlig nedbørsmængder for 5 nedbørsstationer fordelt rundt i Danmark for perioden 1874-1998. Den bedste rette linie gennem data samt et glidende 10 års gennemsnit er ligeledes vist i plottene.

Figure 3.2 Annual mean precipitation at 5 weather stations in Denmark. The plot shows also the best linear fit through data and a 10-year moving average.

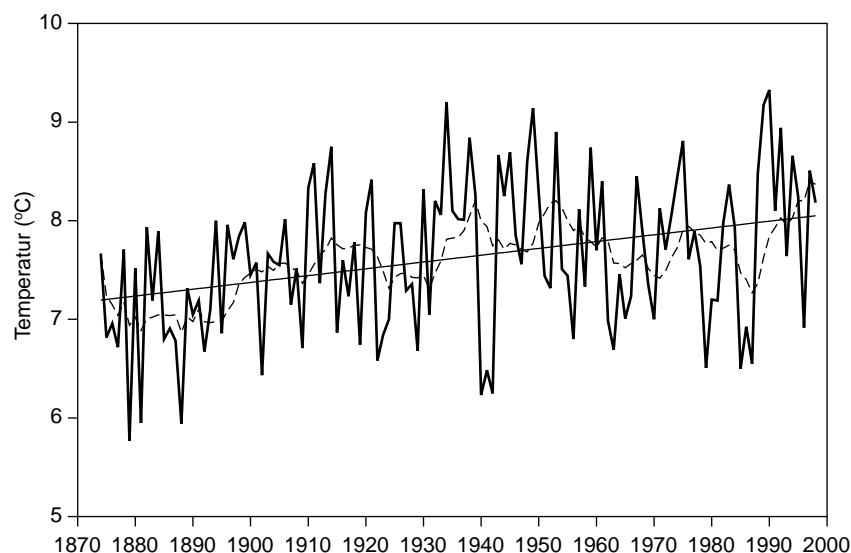
Tabel 3.2 Trendanalyse af nedbørsmængder ved 5 nedbørsstationer. Tabellen indeholder resultater både for den ikke-parametriske og den parametriske analyse, og de er angivet ved en teststørrelse og den tilhørende *P*-værdi samt estimatet for den årlige udvikling sammen med 95 % konfidensintervallet for estimatet.

Table 3.2 Trend analysis of annual mean precipitation at 5 weather stations. The table shows results of both the non-parametric and the parametric analysis indicated by a test statistic and the corresponding *P*-value as well as the estimated annual trend and the 95 % confidence interval of the estimate.

Station og periode	Parametrisk analyse		Ikke-parametrisk analyse	
	Teststørrelse og test-sandsynlighed	Hældnings-estimat (mm år ⁻¹)	Teststørrelse og test-sandsynlighed	Hældnings-estimat (mm år ⁻¹)
Vestervig 1874-1998	V=4,07 P=0 %	$\hat{\beta} = 1,19$ $\hat{\beta} \in [0,61;1,76]$	Z=3,80 P=0,01 %	$\hat{\beta} = 1,21$ $\hat{\beta} \in [0,62;1,86]$
Vestervig 1917-1998	V=1,20 P=23 %	$\hat{\beta} = 0,68$ $\hat{\beta} \in [-0,45;1,80]$	Z=0,981 P=33 %	$\hat{\beta} = 0,62$ $\hat{\beta} \in [-0,54;1,81]$
Vestervig 1971-1998	V=-0,208 P=84 %	$\hat{\beta} = -1,03$ $\hat{\beta} \in [-11,17;9,12]$	Z=-0,415 P=68 %	$\hat{\beta} = -1,03$ $\hat{\beta} \in [-9,27;6,42]$
Grønbæk 1874-1998	V=4,71 P=0 %	$\hat{\beta} = 1,42$ $\hat{\beta} \in [0,83;2,03]$	Z=5,04 P=0 %	$\hat{\beta} = 1,43$ $\hat{\beta} \in [0,9;1,92]$
Grønbæk 1917-1998	V=0,990 P=33 %	$\hat{\beta} = 0,42$ $\hat{\beta} \in [-0,42;1,26]$	Z=1,04 P=30 %	$\hat{\beta} = 0,49$ $\hat{\beta} \in [-0,41;1,43]$
Grønbæk 1971-1998	V=1,04 P=31 %	$\hat{\beta} = 3,28$ $\hat{\beta} \in [-3,22;9,78]$	Z=1,32 P=19 %	$\hat{\beta} = 4,40$ $\hat{\beta} \in [-1,90;8,64]$
Nordby 1874-1998	V=3,61 P=0,05 %	$\hat{\beta} = 1,18$ $\hat{\beta} \in [0,53;1,83]$	Z=3,92 P=0,01 %	$\hat{\beta} = 1,30$ $\hat{\beta} \in [0,67;1,91]$
Nordby 1917-1998	V=0,94 P=35 %	$\hat{\beta} = 0,57$ $\hat{\beta} \in [-0,63;1,76]$	Z=1,05 P=29 %	$\hat{\beta} = 0,58$ $\hat{\beta} \in [-0,52;1,81]$
Nordby 1971-1998	V=1,44 P=16 %	$\hat{\beta} = 5,06$ $\hat{\beta} \in [-2,16;12,29]$	Z=1,29 P=20 %	$\hat{\beta} = 3,16$ $\hat{\beta} \in [-2,70;13,71]$
Tranebjerg 1874-1998	V=-0,76 P=45 %	$\hat{\beta} = -0,22$ $\hat{\beta} \in [-0,80;0,35]$	Z=-0,604 P=55 %	$\hat{\beta} = -0,14$ $\hat{\beta} \in [-0,58;0,28]$
Tranebjerg 1917-1998	V=-0,969 P=34 %	$\hat{\beta} = -0,61$ $\hat{\beta} \in [-1,86;0,64]$	Z=-0,889 P=37 %	$\hat{\beta} = -0,43$ $\hat{\beta} \in [-1,35;0,44]$
Tranebjerg 1971-1998	V=0,885 P=39 %	$\hat{\beta} = 1,49$ $\hat{\beta} \in [-2,18;5,16]$	Z=0,533 P=59 %	$\hat{\beta} = 1,34$ $\hat{\beta} \in [-4,14;6,95]$
Landbohøjskolen 1874-1998	V=3,79 P=0,02 %	$\hat{\beta} = 0,82$ $\hat{\beta} \in [0,39;1,24]$	Z=3,72 P=0,02 %	$\hat{\beta} = 0,83$ $\hat{\beta} \in [0,41;1,22]$
Landbohøjskolen 1917-1998	V=2,37 P=2,0 %	$\hat{\beta} = 1,04$ $\hat{\beta} \in [0,17;1,92]$	Z=2,42 P=1,6 %	$\hat{\beta} = 1,04$ $\hat{\beta} \in [0,22;1,91]$
Landbohøjskolen 1971-1998	V=1,24 P=23 %	$\hat{\beta} = 2,44$ $\hat{\beta} \in [-1,61;6,49]$	Z=1,01 P=31 %	$\hat{\beta} = 2,60$ $\hat{\beta} \in [-2,32;7,18]$

Analyse af middeltemperatur

Hele tidsserien er vist i figur 3.3, og der er store år til år variationer i middeltemperaturen. Generelt har der været en positiv udviklingstendens i temperaturen især frem til 1950, hvorefter temperaturen er faldet frem til 1990. Efter 1990 har vi oplevet en periode med varme år.



Figur 3.3 Årlig middeltemperatur for Danmark i perioden 1874-1998. Den bedste rette linie gennem data ($y = 7,19 + 0,0069 \cdot x$) samt et glidende 10 års gennemsnit er ligeledes vist i plottet.

Figure 3.3 Annual mean temperature in Denmark for the period 1874-1998. The plot also shows the best straight linear fit through data and a 10-year moving average.

Også stigende temperaturer, især i starten af perioden 1874-1998

Resultaterne af trendanalyser for hele tidsserien og en række delperioder er gengivet i tabel 3.3 og viser signifikant stigende temperaturer i perioden 1874-1998 ($P=0,03$ %) og mest tydeligt fra 1874-1950 ($P=0,012$ %). Den parametriske analyse af perioden 1950-1998 viser en signifikant stigning, hvorimod den ikke-parametriske analyse ikke kan finde en signifikant stigning. Denne modstrid skyldes problemer med tilpasning af en autoregressiv proces til tidsserien. Ingen af de andre analyserede perioder viser signifikante udviklinger.

I perioden 1874-1998 er middeltemperaturen steget med $0,0069$ °C pr. år, hvilket svarer til $0,8625$ °C over hele perioden. Den globale temperaturudvikling siden 1860 viser en stigning mellem $0,3$ og $0,6$ °C (IPCC, 1995). Vi har således i Danmark oplevet en større stigning i temperaturen. Denne markante temperaturstigning i Danmark kan være medvirkende til en større fordampning og dermed til mindre afstrømning i de danske vandløb.

Den parametriske tidsserieanalyse viser at residualprocessen (oprindelig tidsserie fratrukket trend) for de to lange perioder (1874-1998 og 1917-98) kan modelleres som en AR(3)-proces, det vil sige, der er tre års hukommelse i temperaturen. Det betyder, at temperaturen i et bestemt år kan modelleres ved anvendelse af temperaturen de tre foregående år.

Tabel 3.3. Resultater af trendanalyser af den årlige middeltemperatur i Danmark siden 1874. Tabellen indeholder resultater både for den ikke-parametriske og den parametriske analyse, og de er angivet ved en teststørrelse og den tilhørende P -værdi samt estimatet for den årlige udvikling sammen med 95 % konfidensintervallet for estimatet.

Table 3.3 Results of trend analyses of the annual mean temperature in Denmark since 1874. The table shows results of both the non-parametric and parametric analysis indicated by a test statistic and the corresponding P -value as well as the estimated annual trend and the 95 % confidence interval of the estimate.

Periode	Parametrisk analyse		Ikke-parametrisk analyse	
	Teststørrelse og testsandsynlighed	Hældnings-estimat ($^{\circ}\text{C } \text{år}^{-1}$)	Teststørrelse og testsandsynlighed	Hældnings-estimat ($^{\circ}\text{C } \text{år}^{-1}$)
1874-1998	$V=3,74$ $P=0,03 \%$	$\hat{\beta}=0,0069$ $\hat{\beta} \in [0,0032;0,0106]$	$Z=3,57$ $P=0,04 \%$	$\hat{\beta}=0,0069$ $\hat{\beta} \in [0,0032;0,0109]$
1874-1950	$V=4,09$ $P=0,01 \%$	$\hat{\beta}=0,0146$ $\hat{\beta} \in [0,0075;0,0218]$	$Z=3,83$ $P=0,01 \%$	$\hat{\beta}=0,0157$ $\hat{\beta} \in [0,0081;0,0230]$
1917-1998	$V=1,28$ $P=20 \%$	$\hat{\beta}=0,0045$ $\hat{\beta} \in [-0,0025;0,0115]$	$Z=1,19$ $P=23 \%$	$\hat{\beta}=0,0045$ $\hat{\beta} \in [-0,0032;0,0122]$
1950-1998	$V=2,25$ $P=3,1 \%$	$\hat{\beta}=0,0097$ $\hat{\beta} \in [0,0009;0,0185]$	$Z=1,28$ $P=20 \%$	$\hat{\beta}=0,0113$ $\hat{\beta} \in [-0,0067;0,0276]$
1971-1998	$V=1,13$ $P=27 \%$	$\hat{\beta}=0,0156$ $\hat{\beta} \in [-0,0127;0,0439]$	$Z=0,771$ $P=44 \%$	$\hat{\beta}=0,0148$ $\hat{\beta} \in [-0,0299;0,0488]$

3.2 Udviklingen i vandforbruget i Danmark

Afstrømningen påvirkes i Danmark af nedbørsmængde, fordampning samt ligeledes af menneskelige påvirkninger såsom vandindvinding, dræning, kloakering vandløbsreguleringer (se afsnit 6.5). Vandindvinding, som er den vigtigste menneskelige faktor, reducerer afstrømningens størrelse og kan i tørre perioder, det vil sige specielt i sommermåneder betyde lav eller ingen vandføring i de berørte vandløb. Lav vandstand eller udtørring kan betyde en voldsom påvirkning af miljøet i vandløb. Så en mulig årsag til udviklingstendenser i afstrømningen kan være ændringer i vandindvindingen, som kan opdeles i indvinding til markvanding samt i vandforsyning til husholdninger, institutioner, industri og andre sektorer. Vandforbruget i Danmark baseres næsten udelukkende på grundvand, idet 98 % af vandforsyningen dækkes af grundvand. Indvindingsboringerne er spredt ud over størstedelen af Danmark, således er der ca. 3.100 almene vandværker og ca. 2.750 private anlæg (GEUS, 1999). Vandindvindingen er ujævnt fordelt, idet oppumpning til vandforsyning hovedsageligt er koncentreret omkring større byer og indvinding til markvanding overvejende foregår i landdistrikter i Midt- og Vestjylland. Opgørelser af vandforbruget fra før 1980 er sparsomme og generelt er opgørelserne foretaget på forskellig metode op gennem årene fra starten af halvfjerdserne og til nu. Men de tal, der er til rådighed, viser et stigende vandforbrug op gennem halvfjerdserne og så igen et faldene forbrug efter 1980 (se tabel 3.4).

Mængden af grundvand afspejles af grundvandsstanden. I følge (GEUS, 1999) har grundvandsstanden siden starten af 1950'erne vist store variationer, men med en klar tendens til stigende vandstand.

Dette afspejler den stigende nedbørsmængde og det generelle fald i vandforbruget.

Tabel 3.4: Vandforbruget i husholdninger og institutioner samt i industrien angivet i perioden 1970-1997. Tallene er angivet i millioner m³. Opgørelserne for de tidligste år er usikre. Kilde: Statistiske årbøger, Danmarks Statistik.

Table 3.3 Water consumption in households, institutions and industry for the period 1970-1997. Figures represents million m³. The records for the early years are uncertain.

År	Forbrug i husholdninger og institutioner	Forbrug i industrien	Forbrug i alt
1970	340	200	540
1977	485	265	750
1982	605	295	900
1984	505	221	726
1988	415	119	534
1989	408	122	530
1990	393	113	506
1991	384	117	501
1992	378	115	493
1993	360	110	470
1994	347	103	450
1995	325	108	433
1996	319	113	422
1997*	277	147	424

* Husholdninger for sig, og industri og institutioner lagt sammen.

Maksimal vandindvinding i starten af 80'erne

Vandindvindingen er uden tvivl øget i løbet af de sidste hundrede år. Som man kan se af tabel 3.4 så havde vandforbruget højest sandsynlig sit maksimum i starten af 80'erne. Så når man betragter de lange afstrømningstidsserier fra starten af dette århundrede så har de stigende nedbørsmængder bidraget til en forøgelse, temperaturstigningen og vandindvindingen til en formindskelse af afstrømningen.

3.3 Analyse af årsmaksimums-, årsmiddel- og årsmimumsafstrømninger.

Trendanalysen af årsmiddelnedbøren for hele Danmark viste, at for perioden 1917-1998 var der en signifikant stigning og ser man på perioden 1971-1998 har der været en stigning, som dog ikke er signifikant. Den årlige middeltemperatur har ligeledes været stigende både i 1917-98 og 1971-98, dog uden at være signifikant. Dette kan betyde en større fordampning. Vandforbruget har været stigende indtil starten 80'erne, hvorefter forbruget er gået ned. Vandindvindingen udgør kun ca. 20 mm set på landsplan og en højere temperatur kun har øget fordampningen med få mm., så er variationer i nedbøren generelt af størst betydning for afstrømningen. Vi skal i analysen af årsafstrømningerne undersøge om vi ligeledes kan observere stigende tendenser. For enkelte vandløb kan indvindingen dog godt have en væsentlig betydning.

Trendanalysen af de årlige afstrømningstidsserier gennemføres ved anvendelse af samme statistiske metoder som i de ovenfor beskrevne trendanalyser. I dette afsnit gennemgår vi kun de overordnede resultater af trendanalysen af data fra de 39 hydrometristationer (se afsnit 3.1). Mere detaljerede resultater for samtlige stationer er givet i bilag 5, som for hver station indeholder en figur for henholdsvis årsmaksimums, årsmiddel- og årsminimumsafstrømninger med den bedste rette linie gennem afstrømningerne. Linien er fundet ved almindelig lineær regression. Bilaget indeholder desuden også tabeller med resultater af analysen. Tabellerne indeholder teststørrelser, *P*-værdier, hældningsestimater med 95 %-konfidensintervaller både for den ikke-parametriske og parametriske metode. Til sidst i bilag 5 har vi givet tabeller, som for alle 39 stationer viser om tidsserierne har signifikante udviklingstendenser. Årsmaksimumsafstrømningen er den maksimale døgnmiddelafløb i det pågældende år. Årsminimumsafstrømning er defineret tilsvarende, medens årsmiddelafløb er den gennemsnitlige døgnmiddelafløb i det pågældende år. Som nævnt er tidsserierne analyseret for to perioder, dels for hele måleperioden og dels for perioden 1971-98.

Analyse af tidsserier for hele driftsperioden

I dette afsnit beskriver vi resultaterne af tidsserieanalysen af årsafstrømningerne for de 39 hydrometriske stationer. Tidsserierne er analyseret i deres fulde længde, det vil sige at alle data fra driftperioden er medtaget.

Hvis man analyserer en tidsserie, som i virkeligheden har en udviklingstendens, så forøges muligheden for at påvise tendensen statistisk med en forøget tidsserielængde, fordi udviklingstendensen kan estimeres med større præcision. Med hensyn til de 39 stationer, hvorfra vi analyserer data, så har 19 af de 39 en driftstart i perioden 1915-1940.

Større årsmiddelafstrømninger siden 1917

Årsmiddelafløbet angiver en gennemsnitlig afstrømning for et givet år på en given station. Ændring i årsmiddelafløbet kan hidrøre fra ændringer i nedbørmængder, vandindvindning, fordampning osv. Årsmiddelafløbet viser en stigende udviklingstendens på 32 stationer, hvoraf de 6 har statistisk signifikant stigende årsmiddelafløb. Kun 7 viste en negativ trend, men ingen af disse var statistisk signifikante. Sammenfattende er tendensen, at årsmiddelafløbet har blevet større siden 1917. De stigende udviklingstendenser i årsmiddelafløbet kan sandsynligvis relateres til de stigende nedbørmængder.

Årsminima stiger generelt, men mindre udtalt sammenlignet med årsmiddel

Når det drejer sig om årsminimumsafstrømninger, så kan øget vandindvindning betyde faldende årsminima. Trendanalysen viser faldende årsminima på 16 stationer, hvoraf kun 3 er statistisk signifikante. Ud af 22 stationer med positive trends er de 6 signifikante. For årsminima er den opadgående tendens mindre udtalt sammenlignet med tidsserier med stigende tendens for årsmiddel, men dog har den overvejende del af stationerne stigen tendenser.

Årsmaksima stiger ligeledes

Med hensyn til årsmaksima så kan disse være påvirket af nedbørsintensiteten (dvs. ændring mod mere/mindre kraftig nedbør) og også af byudviklingen, idet regn som falder på befæstede områder hurtig-

gere kan nå frem til vandløbene pga. kloakering. På 22 stationer estimeres en positiv trend, hvoraf 3 er statistisk signifikante. På samme tid viste analysen faldende tendenser på 13 stationer, hvoraf 5 er statistisk signifikante.

Samlet set viste analysen af de lange tidsserier stigende tendenser, som altså meget vel kan skyldes de stigende nedbørsmængder. Det er hovedsageligt de længste tidsserier som er statistisk signifikante. Tre vandløb, Ribe Å, Brede Å og Åmose Å viser klare og signifikante stigninger i alle 3 årlige tidsserier.

Analysen af de komplette tidsserier kan ikke anvendes til at belyse regionale forskelle i udviklingen i afstrømningen, fordi de analyserede tidsserier dækker forskellige driftperioder.

Trendanalyser for perioden 1971-98

For at kaste lys over eventuelle regionale forskelle i udviklingen i afstrømningen for danske vandløb har vi gennemført en trendanalyse for perioden 1971-98. Som allerede nævnt var der ingen signifikante udviklingstendenser i årsmiddeltemperaturen og i årsnedbøren i denne periode. Kun få af trendanalyserne for perioden 1971-1998 viste signifikante udviklinger. Således udviste analyserne af årsmaksima 30 positive trends og resten var negative, men ingen signifikante. For årsminima var der 21 stigende tendenser, hvoraf en var signifikant. Hovedparten af de faldende tendenser er i Østdanmark. For årsmiddelafstrømningens vedkommende ser man 35 stationer med stigende tendenser (1 signifikant). På denne baggrund er det svært at udrede regionale forskelle.

3.4 Sammenfatning

De gennemførte trendanalyser af årlig middelnedbør og årlig middeltemperatur for Danmark i de seneste 125 år (1874 – 1998) har vist signifikant stigende udviklingstendenser for begge størrelser. Nedbøren stiger jævnt igennem hele perioden, hvorimod temperaturen stiger mest i de første 50 år af perioden også i 1990'erne. Analyser af regionale nedbørsstationer viser, at stigningen i nedbøren er størst i Vest-, Midt- og Sønderjylland. Opgørelser over vandforbruget i Danmark viser, at forbruget er øget indtil starten af 80'erne og derefter er faldet. Idet nedbøren er af størst betydning for afstrømningen, vil man på denne baggrund forvente stigende afstrømninger i de danske vandløb.

Trendanalyserne af årlige afstrømningsdata (årsmiddel, årsmaksimum og årsminimum) bekræfter stigende tendenser for de fleste af de 39 analyserede stationer både ved analyse af hele driftperioden og af perioden 1971-98. De fleste stigende udviklingstendenser ses i årsmiddelafstrømningen. Det har ikke været muligt at udrede regionale forskelle i resultaterne af trendanalyserne på de årlige afstrømningsdata.

4 Karakteristik af afstrømningen

Brug af afstrømningskarakteristik

Kapitlet omhandler afstrømningskarakteristik som den traditionelt er blevet anvendt. Nøgletal, der beskriver, hvor meget vand der normalt strømmer, og de typiske udsving omkring normalsituationen, har fundet rig anvendelse i administrationen, når der gives tilladelser og vurderes konsekvenser af vor brug af vandressourcen. Det kan dreje sig om indvinding af grundvand til drikkevand eller markvanding, spildevandsudledninger, vandudnyttelse til dambrug og vandkraft eller dimensionering af vandløb og bygværker.

Indhold af kapitlet

Kapitlet indledes med en gennemgang af deskriptive statistiske metoder, der tages i anvendelse i forbindelse med afstrømningskarakteristik. Kapitlet har endvidere et afsnit om estimering af afstrømningen i minimumssituationen, med særlig vægt på usikkerhed på bestemmelse af medianminimum. Afsnittet indeholder også anbefalinger til beregningsperiode af medianminimum. Til sidst i kapitlet er der opstillet lineære modeller til estimering af afstrømningens fordeling i umålte og sparsomt målte oplande. Input til modellerne er oplandsfysiske parametre, samt nogle få hydrologiske parametre.

Datagrundlag

Kapitlet er, hvor andet ikke er nævnt, baseret på afstrømningen ved 39 målestationer i perioden 1971 – 1998. Alle stationer drevet af Fagdatacenter for Hydrometri indgår, selv om en mindre del af disse ikke har data i hele perioden (tabel 4.1). Den fælles beregningsperiode medfører, at de beregnede parametre kan sammenlignes mellem stationer. Alle beregninger er foretaget på grundlag af døgnmiddel vandføringer.

Flere af vandløbene er regulerede. Det gælder i sær Hoved Kanal 39, Kramnitze, i minimumssituationer, og der er ikke beregnet underskridelsesperioder af årsminima for denne station.

Tabel 4.1 Stationer, drevet af Fagdatacenter for Hydrometri, der mangler data i perioden 1971 - 1998.

Table 4.1 Stations operated by the Danish Topic Centre for Hydrometry where data for the period 1971-1998 are missing.

DMU-nr.	Navn	Periode uden data
210019	Gelbæk, Lyngby Bro	1. januar 1971 – 5. november 1973
210020	Voel bæk, Voel bro	1. januar 1971 – 5. november 1973
210077	Matstrup Å, Lillebro	1. januar 1971 – 31. oktober 1973
450001	Odense Å, Ejby mølle, ST 8.45	1. januar 1971 – 1. januar 1977
660014	Bagge Å, Hasle klinker	1. januar 1971 – 22. januar 1983

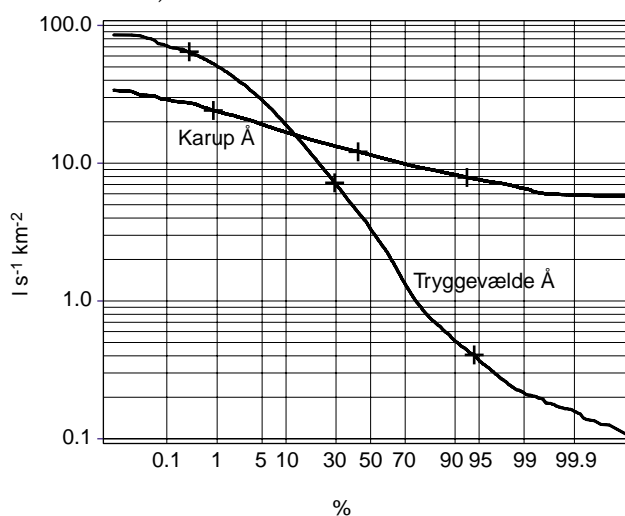
4.1 Afstrømningens fordeling

Det har fundet praktisk anvendelse at kende sandsynligheden for at en given afstrømning overskrides eller underskrides. Disse karakteristiske værdier kan aflæses af sandsynlighedsfordelingen, hvor de enkelte afstrømningsværdier er ordnet efter stigende størrelse og

kumuleret frekvens (jævnfør appendix 2). Sandsynlighedsfordelingen beregnet for et givet observationssæt kaldes den empiriske fordeling. Varighedskurven i denne rapport er en variant af den empiriske fordeling, hvor de enkelte afstrømningsværdier er ordnet efter faldende størrelse.

Varighedskurven

Varighedskurver for de 39 vandløb findes i bilag 6. Overskridelses sandsynligheden kan afbildes på forskellig vis, men er i dette tilfælde afbildet som logaritmetransformerede data langs en sandsynlighedsakse, hvor i et normalfordelt observationssæt bliver aftegnet som en ret linje (figur 4.1). Fordelen ved denne afbildning er at sjældnere forekommende observationer lettere aflæses. Det fremgår af figur 4.1 at data fra Karup Å er tættere på at være lognormal fordelte end data fra Tryggevælde Å. Begge observationssæt har positiv skævhed, dvs. at middelværdien er større end medianværdien. I Karup Å er afstrømningen relativt stor og stabil (lille hældning af varighedskurven), hvorimod afstrømningen fra oplandet til Tryggevælde Å generelt er mindre, men strækker sig over et større interval. Selv om midlæfstrømningen således er større i Karup Å end i Tryggevælde Å, er 10 percentilen (den vandføring der kun overskrides 10 % af tiden) størst i Tryggevælde Å (kurverne krydses). Percentilerne (1, 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95, 99) er tabellagte i bilag 7. Det fremgår af varighedskurven at afstrømningen i 1 procent af tiden overskrider $50 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ i Tryggevælde Å, men ikke hvor lang tid man i gennemsnit skal vente på, at en sådan ekstrem afstrømningsværdi vil indtræffe. Spørgsmålet kan besvares ved at analysere hvordan årlige ekstremværdier er fordelt (jævnfør afsnit 4.2).



Figur 4.1 Varighedskurver for Karup Å og Tryggevælde Å. Overskridelses sandsynligheden er afbildet på en normalfordelt sandsynlighedsakse. Medianmaksimum ("+" til venstre), middelværdi ("+" i midten) og medianminimum er afsat på varighedskurverne ("+" til højre).

Figure 4.1 Duration curves for the rivers Karup Aa and Tryggevaelde Aa. the exceedence probability is illustrated on a normal probability axis. Medianmaximum ("+" to the left), mean ("+" in the centre) and medianminimum are shown on the duration curves ("+" to the right).

Fordelingsfunktioner

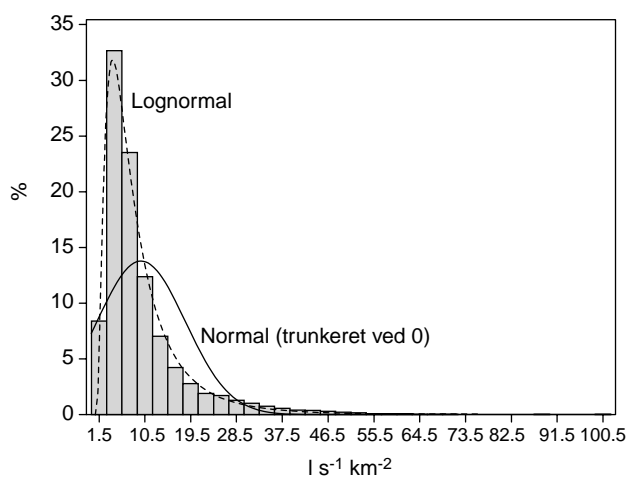
Den begrænsede mængde data man har til rådighed er sjældent tilstrækkelig til at give et dækkende billede af afstrømningen fra en given vandløbsstation. Man kan derfor teste om den empiriske for-

deling med rimelighed kan antages at tilhøre en veldefineret teoretisk fordeling for derved at opnå en bedre beskrivelse af data.

Table 4.2 Udvalgte percentiler og test af om data er normalfordelte eller lognormalfordelte. Se appendix 2 for nærmere beskrivelse af fordelingerne. "Kolmogorov" tester nul hypotesen: at data stammer fra en teoretisk fordeling. P-værdien er sandsynligheden for at opnå en større D-værdi end den beregnede under forudsætning af at nul hypotesen er sand. Dvs. jo mindre P-værdi er jo ringere er sandsynligheden for at den empiriske fordeling stammer fra den teoretiske fordeling. Da de beregnede P-værdier er i begge tilfælde mindre end 1, kan det i mere end 99 ud af 100 tilfælde forkastes at data tilhører de testede fordelinger (SAS Institute Inc. 1999).

Table 4.2 Selected percentiles and tests showing whether data are normally distributed or lognormally distributed. See Appendix 2 for a more detailed description of the distributions. Kolmogorov tests zero-hypothesis : that data derive from a theoretic distribution. The P-value is the probability for finding a greater D-value that the one calculated provided that the zero-hypothesis is correct. The lower the P-value, the lower the probability that the empirical distribution derives from the theoretic distribution. As the calculated P-values are less than 1 in both instances, it is possible in more than 99 out of 100 cases to reject that the data belong to the tested distributions (SAS Institute Inc. 1999)

Fordeling	Percentiler ($l\ s^{-1}\ km^2$)					D	P
	1 %	25 %	50% (median)	75%	99%	(Kolmogorov)	%
Empirisk	45,2	11,4	7,0	4,6	1,9	-	-
Normal	30,0	15,6	9,8	3,9	-10,4	0,186	< 1
Lognormal	42,7	11,9	7,2	4,5	1,8	0,0285	< 1



Figur 4.2 Histogram af afstrømning og kurver for normalfordelingen og lognormalfordelingen, Uggerby å (afbildet som tæthedsfunktionen).

Figure 4.2 Histogram of runoff and curves showing the normal distribution and log-normal distribution, river Uggerby (pictured as density function)

Normalfordelingen

Den mest anvendte sandsynlighedsfordeling "normalfordelingen" (jævnfør appendix 2), der er beskrevet ved to parametre: middelværdi og varians (jævnfør appendix 1), giver ikke nogen god beskrivelse af den målte afstrømnings (figur 4.2), blandt andet fordi den empiriske fordeling er asymmetrisk, med en større middelværdi end

median (bilag 6). Asymmetri kan beskrives med en skævhedsparameter, der i alle de undersøgte tidsserier er signifikant positivt afvigende fra normalfordelingen. Formen på toppene af histogrammerne er også afvigende fra normalfordelingen, hvilket kan beskrives ved en stor og positiv kurtosis.

Lognormal fordelingen

Lognormal fordelingen er en 3 parameter fordeling, der er bestemt af en forskydningsparameter (nedre grænse), samt middel og varians af de transformerede data. Lognormalfordelingen er velegnet til at beskrive data med positiv skævhed (figur 4.2) og giver en relativt god tilpasning til de almindeligt forekommende vandføringer i den empiriske fordeling. De observerede afstrømninger ved de 39 stationer, der er undersøgt her, kan dog ikke antages at være lognormalfordelte. Årsagen til, at der er alligevel er benyttet en "lognormal"-afbildning af varighedskurver, er at denne afbildning som nævnt udvirker, at sjældnere forekommende observationer lettere kan aflæses. Logaritmetransformerede data aftegnes, som et z på en normalfordelt sandsynlighedsakse (figur 4.1 og bilag 6). Det vil sige at lognormalfordelingen har en tendens til at underestimere de helt små afstrømninger og overestimere de helt store afstrømninger. Fordelingen af meget små og meget store afstrømninger må derfor analyseres separat ved hjælp af såkaldte ekstremværdi fordelinger.

4.2 Estimering af ekstreme afstrømningshændelser

Årlige serier og partielle varighedsserier

Ekstremværdi analyse tager som regel udgangspunkt i udvalgte ekstremværdier. Det kan være årlige ekstremværdier, med en nærmere defineret varighed, fx 1 døgn, 7 døgns eller 30 døgns maksimum (årlige serier). I årlige serier indgår kun en hændelse fra hvert år. Ved analyse af årlige serier tabes derved en del information, idet fx den næststørste eller tredje største værdi et år kan være højere end maksimums værdien i et andet år. Denne ulempe undgås ved analyse af partielle varigheds serier, hvor alle afstrømninger over en given tærskel indgår, fx afstrømninger der overskrides i 25 % af tiden eller som er højere en 3 gange median afstrømningen. En given afstrømnings hændelse er repræsenteret ved én og kun én værdi i partielle varigheds serier, dvs. høje værdier fra to nabo-døgn kan ikke begge indgå i en partiel varigheds serie.

Gentagelsesperioder

Over- og underskridelsesperioden (gentagelsesperioden) for en given afstrømningshændelse er defineret som det gennemsnitlige tidsinterval mellem henholdsvis over- og underskridelse af hændelsen. Man skal være opmærksom på at gentagelsesperioder for årlige serier vil sige det antal år der i gennemsnit er mellem at en given begivenhed overskrides eller underskrides som årsextrem. Således vil en hændelse i en årlig maksimums serie med et overskridelsesperiode på 2 år teoretisk set overskrides med 1,44 års mellemrum (*Kite 1977*). Skælden mellem årlige serier og partielle varighedsserier har kun betydning, når det gælder små gentagelsesperioder idet forskellen mindskes med stigende gentagelsesperiode (forskellen er nede på 5 % for en 10 års gentagelsesperiode).

Et statistisk sikkert estimat af en gentagelsesperiode på 100 år kræver mindst 20 – 30 års data (*Hofius et al., 1986*). Det er imidlertid en forud-

sætning i beregningen, at der ikke har været eller sker ændringer i afstrømningsfordelingen. Igennem det 20 århundrede er nedbørmængden steget (kapitel 3). Det vil sige at en gentagelsesperiode beregnet på data for starten af århundredet ikke kan antages at være repræsentativ for sidste del af århundredet. Der er ikke fundet udvikling i tidsserierne i beregningsperioden (1971 -1998) (jævnfør kapitel 3.). En eventuel udvikling i afstrømningen i fremtiden vil være spekulativ og bliver ikke behandlet i dette kapitel.

Teoretiske gentagelsesperioder

I bilag 7.2 findes værdier for 5 og 20 års gentagelsesperioder for årsminimum (sandsynlighed for underskridelse) og årsmaksimum (sandsynlighed for overskridelse) med angivelse af 95 % konfidensintervaller. Gentagelsesperioderne er beregnet ved tilpasning af ekstremværdi fordelinger til observerede årsminima og årsmaksima. Vi har for tidsserier i perioden 1971-98 tilpasset den generaliserede ekstremværdi fordeling (se appendiks 2) både til årsminima og årsmaksima og denne fordeling er anvendt til at beskrive sammenhængen mellem en givet minimum- henholdsvis maksimumhændelse og den dertil hørende over- eller underskridelsesperiode (T). Appendiks 2 indeholder en beskrivelse af teorien bag denne sammenhæng. Bilag 8 viser dels de estimerede fordelingsfunktioner for årsminima og årsmaksima samt funktioner, der giver sammenhængen mellem fordelingerne og over- og underskridelsesperioden (T). Graferne i bilag 8 er lavet på baggrund af data fra hele driftperioden.

Empiriske gentagelsesperioder

Gentagelses-perioder kan også beregnes på grundlag af den empiriske fordeling af årseksstremer, som beskrevet i appendix 2. Hvis overskridessandsynligheden for den empiriske fordeling af årsmaksima er 10 %, svarer det til en 10 års hændelse og tilsvarende er en overskridessandsynlighed på 90% for minimumsafstrømningen lig en 10 års begivenhed (den underskrides kun 10 % af tiden). I bilag 7.2 findes empiriske gentagelsesperioder for 2, 5 og 20 år. Usikkerheden på empirisk beregnede gentagelsesperioder er stor, når der beregnes lange gentagelses-perioder på grundlag af korte observationer. De empirisk beregnede værdier af 2, 5 og 20 års gentagelsesintervaller ligger generelt indenfor konfidensintervallet af de teoretisk beregnede værdier. I Danmark er der tradition for at bestemme 2 års gentagelsesintervaller (medianminimum og medianmaksimum) af empiriske fordelinger.

4.3 Estimering af lave afstrømninger

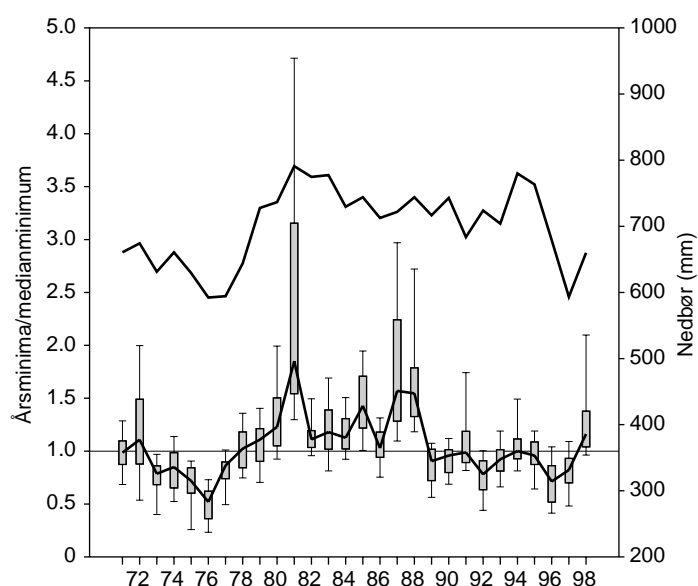
Medianminimum

Livet i vandløbet er sårbart i perioder med lav afstrømning ("low-flow") af flere forskellige årsager: De fysiske habitater svinder ind fordi dele af vandløbslejet tørlægges. Den naturlige iltning af vandet reduceres og der foregår måske en forøget sedimentation af finkornede aflejringer (tilslamning) i det langsommere strømmende vand. Desuden vil der være en opkoncentrering af miljøskadelige stoffer. Den tilladelige kunstige reduktion af vand i minimumssituationen er i de seneste 3 årtier primært blevet vurderet i forhold til medianminimum, dvs. den afstrømning der i gennemsnit kun underskrides ca. hvert 2 år. Forskellige beregningsmæssige problemstillinger vedrørende medianminimum er tidligere undersøgt (*Jensen 1974, Bjarnov 1987, Clausen 1988, Jensen 1993*). Det har blandt andet været væsent-

ligt at finde ud, af hvad det sande eller naturlige medianminimum er for en størrelse og hvor lang en tidsserie, der kræves for at fastsætte den med rimelig nøjagtighed.

Variation af årsminima

De absolutte årsminimas variation i forhold til medianminimum (standardiserede årsminima) er vist i figur 4.3. Minimumsafstrømningerne var generelt mindre end medianminimum i 70'erne og 90'erne, men større end medianminimum i 80'erne. Medianminimum følger tendensen i årsnedbøren. Efter flere år med nedbørsunderskud faldt minimumsafstrømningen i 1976 i en stor del af vandløbene til omkring halvdelen af medianminimum eller derunder og i 10 % af vandløbene var minimumsafstrømningen mindre end en fjerde del af medianminimum. Tilladelse til udnyttelse af 50 % af medianminimums afstrømningen kan således enkelte år medføre hel eller delvis udtørring af vandløbene.



Figur 4.3 Nederst i diagrammet ses et Box-Whisker plot (10, 25, 50, 75 og 90 percentiler) af årlig minimumsvandføring divideret med medianminimum (enheder er angivet på y-aksen til venstre). Resultater fra 39 stationer. Den vandrette linje ved $Y=1$ svarer til at årsminima er af samme størrelse som medianminimum. Den fuldt optrukne linje øverst i diagrammet er 3 års glidende middel af årsnedbør fra Danmark (enheder er angivet på y-aksen til højre).

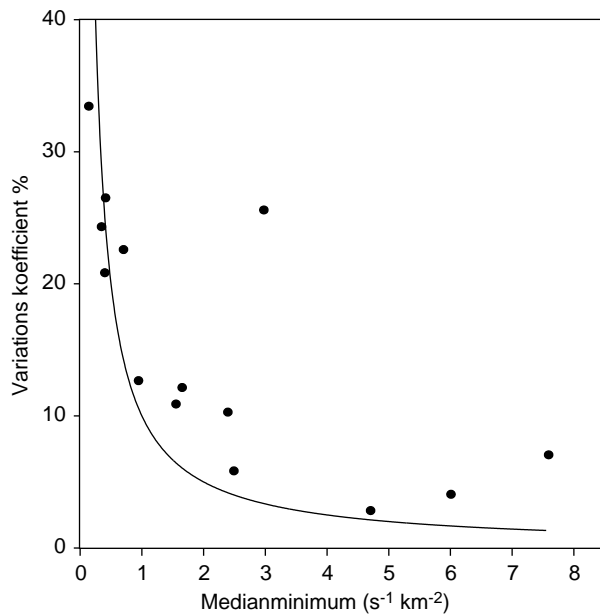
Figure 4.3 In the lower part of the diagram is a Box-Whisker plot (10, 25, 75 and 90 percentiles) of annual minimum discharge divided by median minimum (units shown left on y axis). Results from 39 stations. The horizontal line at $Y=1$ corresponds to annual minimum being identical to median minimum. The solid line in the upper part of the diagram is the 3-year moving average of annual precipitation in Denmark (units are shown on the y axis to the right).

Spredning af de standardiserede årsminima i de enkelte år kan skyldes varierende hydrogeologiske forhold. I de østdanske vandløb, med lavpermeable jorde, lille grundvandstilførsel og beskedne øvre magasiner er minimumsafstrømningen følsom for den aktuelle årsnedbør. I de vestdanske vandløb med stor grundvandstilførsel fra langsomt reagerende magasiner er afstrømningsniveauet ikke i samme grad påvirket af det enkelte års nedbør men mere følsomt for fler-

årlige ændringer i nettonedbør. Afvigelser i forhold til det generelle niveau af årsminima, kan ud over regionale forskelle også skyldes usikkerhed på beregning af vandføringen i minimums situationen (mest udtalt i grødefyldte vandløb).

Variationer i medianminima

Variationer i årsminima, betyder at medianminimum vil afhænge af starttidspunkt og længde af beregningsperioden. Siden 1993 har det været praksis at anvende en tidsperiode på 20 år med start i 1971 som reference periode for beregning af medianminimum. Betydningen af starttidspunkt for en beregningsperiode på 20 år er vurderet ved at beregne variationskoefficienten på 20 års glidende medianminimum for de 14 længste tidsserier (74-82 års data) (figur 4.3). Denne beregningsstørrelse udtrykker hvor mange procent median minimum i gennemsnit ville ændre sig, ved en fast årlig forskydning af beregningsperioden. For at give et indtryk af de absolutte ændringer i medianminimum er der i figur 4.4 indtegnet en hjælpelinje, der repræsenterer en gennemsnitlig årlig ændring af medianminimum på $0,1 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Det ses at ændringen i medianminimum generelt er større end $0,1 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Den relative ændring er størst i de øst danske vandløb, med lille medianminimums afstrømning.



Figur 4.4 Variationskoefficienten (CV) af glidende 20 års medianminimum, ved 14 stationer med lange tids serier (74-82 år). På x-aksen gennemsnitlig medianminimums afstrømning. Den fuldt optrukne hjælpelinje svarer til at medianminimum i gennemsnit ændres $0,1 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ ved en fast årlig forskydning af beregningsperioden, hvilket igen kan anslås at svare til en ændring i grundvandstilstrømning på ca. 3 mm.

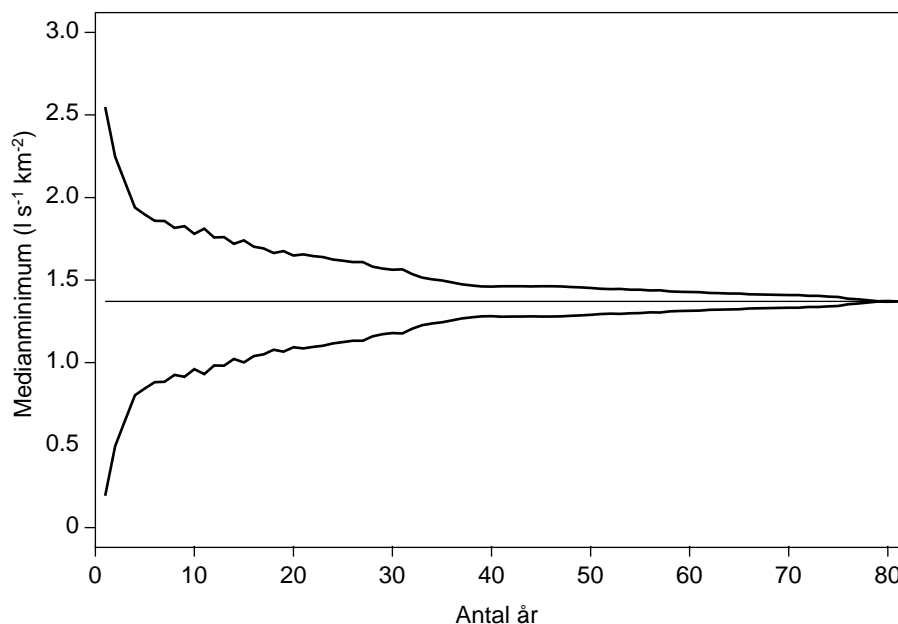
Figure 4.4 Coefficient of variation (CV) of median minimum of 20 years at 14 stations with long time series (74-81 years). On the x axis is median minimum discharge. The solid auxiliary line corresponds to median minimum being averagely changed $0,1 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ by a fixed annual shift of the calculation period, which further corresponds to a change in ground water inflow of app. 3 mm.

I hovedparten af vandløbene er serierne af årsminima, i modsætning til serien af årsnedbør, autokorrelerede (kapitel 3 og appendix 3), hvilket kan skyldes at der i en del tilfælde er der sket reguleringer i vandløbene eller indgreb i oplandene (fx vandindvinding), der kan have påvirket størrelsen af medianminimum. Medianminimum er derfor ikke nødvendigvis på et naturligt niveau og naturlige svingninger kan være tilslørede.

Beregningsperiodens længde

Der er foretaget en analyse af hvad beregningsperiodens længde betyder for præcisionen af medianminimum set i forhold til en langtidsbestemmelse. Analysen er foretaget på 18 afstrømningsserier med mere end 60 års data. Median minimum (korrigeret for trend ved hjælp af lineær regression) er beregnet for samtlige kombinationer af sammenhængende perioder af en given længde.

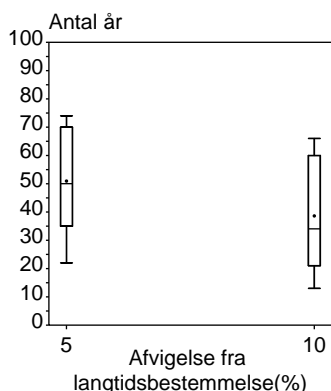
I figur 4.5 ses værdien af langtidsbestemmelsen sammen med øvre og nedre grænse kurver. Grænsekurverne er fastsat som 2 gange standardafvigelsen, hvilket betyder at median minimum i ca. 95 ud af 100 bestemmelser vil ligge inden for grænsekurven, forudsat at data er normalfordelte. Der findes ikke noget objektivt kriterium, for hvor meget grænsekurverne må afvige fra langtidsbestemmelsen. Det vil afhænge af hvad medianminimum skal anvendes til, usikkerheden på vandførings-målinger og -beregninger, samt størrelsen af evt. trend i tidsserien.



Figur 4.5 Præcision af beregningsperiodens længde i forhold til langtidsbestemmelse af medianminimum ved Odense å, Nørre Broby (1917-1998). Median minimum (korrigeret for trend ved hjælp af lineær regression) er beregnet for samtlige kombinationer af sammenhængene perioder af en given længde. Grænsekurverne er fastsat som 2 gange standardafvigelsen.

Figure 4.5 Precision of the length of the calculation period in relation to long-term determination of median minimum at river Odense, Noerre Broby (1917-1998). Median minimum trend corrected by means of liner regression) is calculated for all combinations of continuous period of a certain length. The limit curves are set as 2 times the standard deviation.

I figur 4.6, (se også bilag 9.1) ses hvor mange år det tager førend grænsekurverne afviger mindre end henholdsvis 5% og 10 % i forhold til langtidsbestemmelsen. Beregningerne viser at der i gennemsnit behøves en beregnings serie på 39 år (median=34 år) før end ca. 95 ud af 100 tilfældigt udtagne bestemmelser afviger mindre end 10 % fra langtidsbestemmelsen. Der er meget stor spredning på værdierne, således kræves i 25 % af tidsserierne beregnings perioder på 60 år eller mere før end afvigelsen bliver mindre end 10%. Der er en tendens til at der i østdanske vandløb kræves længere beregningsperioder end i vestdanske vandløb. Denne tendens skyldes at medianminimum generelt er lav i østdanmark, hvorved en given afvigelse i forhold til langtidsbestemmelsen bliver relativt stor.



Figur 4.6. Box-whiskerplot, der viser hvor mange år det tager førend grænsekurverne afviger mindre end henholdsvis 5 % og 10 % i forhold til langtidsbestemmelsen af medianminimum ved 18 stationer med mere end 60 års data. Grænsekurverne er fastsat som 2 gange standardafvigelsen, hvilket vil sige at median minimum i ca. 95 ud af 100 bestemmelser vil ligge inden for grænsekurven, forudsat at data er normalfordelte. Median (forbundne linjer), gennemsnit (punkt), 25 og 75 percentil (rektangel) og 10 og 90 percentil (vandrette streger).

Figure 4.6 Box-Whisker plot showing the number of required years before the limit curves deviate less than 5 % and 10 %, respectively in relation to the long-term determination of median minimum at 18 stations with the data from more than 60 years. The limit curves are set 2 times the standard deviation which means that in app. 95 out of 100 determinations median minimum will be placed within the limit curve provided that data are normally distributed. Median (connected lines), 25 and 75 percentile (rectangle) and 10 and 90 percentile (horizontal lines).

Referenceperiode

Tidligere undersøgelser har vist at en præcis bestemmelse af medianminimum kræver en lang observationsperiode. Jensen (1974) viser at Gudenå , Åstedbro har en indsvingsningsperiode på ca. 20 år før end medianminimum bliver stabil og Bjarnov (1987) vurderer at en tidsserie på 40 år kræves for at 2/3 af tilfældigt udtagne bestemmelser er under 0,1 x standardafvigelsen på årsminima i forhold til en langtidsbestemmelse på 65 år. Jensen (1993) vurderer usikkerheden på medianminimum ved sammenligning med usikkerheden på en normalfordelt middelværdi i en stationær tidsserie. Standardafvigelsen på middelværdien($s(n)$) af n årsminima kan da beregnes af :

$$S(n) = \frac{S(1)}{\sqrt{n}}$$

hvor $s(1)$ er standardafvigelsen på de enkelte årsminima.

Standardafvigelsen på middelværdien i en 20 års serie udgør således 23 % af standardafvigelsen på de enkelte årsminima og man skal måle i yderligere 52 år for at halvere denne usikkerhed. Hvis der er udvikling i tidsserien vil den forventede ændring i median minimum i adskillige tilfælde overstige standardafvigelsen på middelværdien i en 20 års bestemmelse. Serien af årsminima må forventes at være

autokorrelerede, og den herved forbundne usikkerhed vil mindskes ved at forøge periodelængden.

I 1993 fastlagde det daværende Fagdatacenter for hydrometri under Det Danske Hedeselskab, at referenceperiode for beregning af medianminimum, normal årsmiddel og medianmaksimum skulle have en længde på 20 år og starte i 1971 (Jensen, 1993). Fremrykning af referenceperioden skulle foretages hver femte år. En periodelængde på 30 år, som gælder for klimadata, blev dengang overvejet, med den deraf følgende forbedring af minimums estimatet. Hensynet til pålidelighed (trend i tidsserierne), og den kendsgerning, at man ved at indskrænke perioden til 20 år ved enkle korrektioner kunne udvide antallet af referencestationer til 74 gjorde at 20 års perioden blev valgt. I dag er præmisserne ændret, idet det nu er muligt at anvende en længere tidsserie, så den er sammenlignelig med standardperioden for klimadata og samtidig opnå en god arealmæssig dækning af landet. Det er stadig et problem, at der kan være trend i tidsserierne, men det er vanskeligt at vurdere betydningen af dette, da årsags-sammenhængene og deres eventuelle periodicitet er ukendte.

Ny referenceperiode

Fagdatacenteret anbefaler, at referenceperioden for beregning af medianminimum, normal årsmiddel og medianmaksimum er 1971-1998 og at tidsserien i 2001 forlænges til at gælde en 30 års periode (1971 – 2000). Referenceperioden fremrykkes efterfølgende 10 år efter begyndelsen af hvert nyt årti.

Ændringen i medianminimum ved flytning af referenceperioden

Der findes 34 hydrometriske stationer med vandføringsserier, der dækker perioden 1971 – 1998. Beregninger for hver af disse 34 serier (jævnfør bilag 9) viser, at medianminimum i den nugældende reference periode (1971 – 1998) i gennemsnit er 4 % lavere (median 4 %) end i den foregående referenceperiode. Ændringen i medianminimum ved flytning af referenceperioden varierer mellem -26 og 41 % og der er tilsyneladende ikke noget regionalt mønster i variationen.

Medianminimum i 5 forskellige beregningsperioder

I tabel 4.2 er medianminimum i 5 forskellige beregningsperioder sammenlignet parvis og i bilag 9 findes tilsvarende tabeller for årsmiddel og medianmaksimum. Medianminimum for referenceperioden 1971-1998 er lavere end de øvrige 20 og 30 års perioder, men er ikke forskellig fra perioden 1974-1983, der tidligere er fundet repræsentativ for langtidsbestemmelse af medianminimum (1917-1983) (Bjarnov 1987).

Medianminimum i perioden under Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, er lavere end alle øvrige perioder. Det bemærkes at det er usikkert at korrigere kortidsbestemmelser af medianminimum med reference periodens medianminimum pga. den store spredning af årsminima inden for de enkelte år (figur 4.3 og Bjarnov, 1987).

Baseflow

Baseflow kan opfattes som vand, der har været tilbageholdt i magasiner inden det når vandløbet (Gustard, 1992). Baseflow beregnes ved at dele hydrografen op i intervaller af 5 døgn varighed og beregne minimum i hvert interval. De minima der ganget med 0,9 er mindre end deres nabominima er såkaldte vendepunkter. Baseflow hydrografen dannes ved at forbinde vendepunkterne med rette linjer (fig. 4.7). Baseflow delt med middelfløden (Baseflow-indeks) er i

udlandet blandt andet blevet anvendt til beskrivelse af oplandsrespons og som en nøgleparameter til estimering af "Lowflow" statistik.

Table 4.2 Resultater af parvis sammenligning af beregningsperioder for medianminima ved 23 målestationer med data fra 1961 og frem til 1998. Medianminimum i to reference perioder er i praksis ens når $P > 5\%$. Z og V er teststørrelser for henholdsvis eksakt og ikke eksakt Wilcoxon signed rank test. Indeksværdier (tal i kursiv) for de enkelte beregningsperioder er dannet ved først at dividere medianminimum stationsvis med medianminimum i referenceperioden 1971 – 1998 og dernæst at beregne middelværdien af de standardiserede medianminima. Når indeksværdien i perioden 1961-1990 er 1.1 betyder det at medianminimum i gennemsnit er 10 % større end i referenceperioden 1971-1998.

- 1974 – 1983: Periode repræsentativ for langtidsbestemmelse af medianminimum (Bjarnov 1987).
- 1961 – 1990: Referenceperiode for klimadata (DMI).
- 1971 – 1990: 1. Referenceperiode for median minimum i 1990'erne.
- 1976 – 1995: 2. Referenceperiode for median minimum i 1990'erne.
- 1989 – 1998: Overvågningsperiode under Vandmiljøhandlingsplan (VMP).
- 1971 – 1998: Anbefales af Fagdatacenter for Hydrometri, som referenceperiode for fremtiden, forlænges til at gælde perioden 1971 – 2000 når data bliver klar. Referenceperioden genberegnes ved starten af hvert nyt årti.

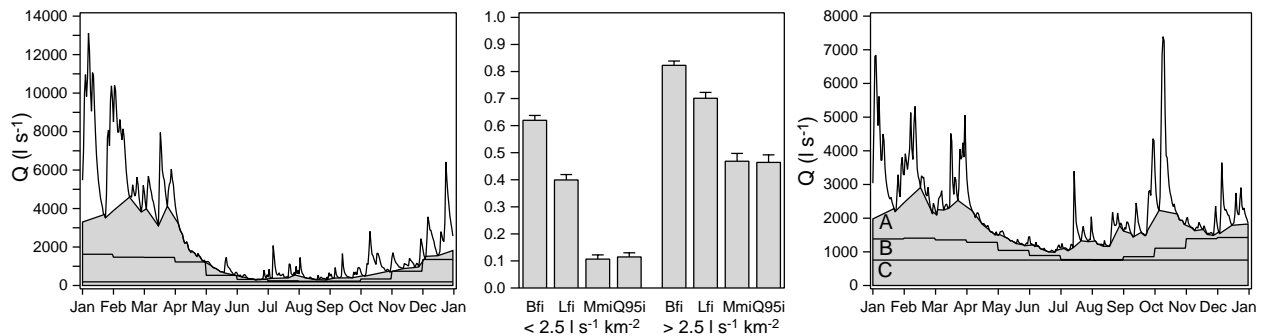
Table 4.2 Results of comparison of calculation periods in pairs for median minima at 23 monitoring stations from 1961 to 1998.

Periode indeks	1961 – 1990 <i>1,10</i>	1971 – 1990 <i>1,05</i>	1976 – 1995 <i>1,07</i>	1989 – 1998 <i>0,88</i>	1971 – 1998 <i>1</i>
1974 – 1983 <i>0,99</i>	Z=2,59 P=1%	Z=2,23 P=3%	Z=1,89 P=6%	V=58 P=1%	V=102 P=29%
1961 – 1990 <i>1,10</i>		Z=0,791 P=43%	V=174 P=29%	V=254 P=0,01%	V=238 P=0,2%
1971 – 1990 <i>1,05</i>			Z=0,030 P=98%	V=255 p=0,01%	Z=3,13 P=0,2%
1976 – 1995 <i>1,07</i>				V=276 P=0,01	Z=-4,04 P=0,01%
1989 – 1998 <i>0,88</i>					V=265 P=0%

Lowflow indices

Afstrømningen ved medianminimum vil generelt være ren grundvandstilstrømning til vandløbet og/eller spildevand. Grundvandstanden varierer dog i løbet af året og mellem årene. Grundvandstilstrømningen til vandløbene er derfor antageligt større end medianminimum. Baseflow er et mål for den totale afstrømning i vandløbet minus quickflow (overflade afstrømning og bypassflow via dræn og makroporer). Baseflow indeholder udover den permanente grundvandstilstrømning også tilstrømning fra temporære overflade og overflade nære magasiner.

Hvis ovenstående antagelser er korrekte, er grundvandstilstrømningen til vandløbene større end medianminimum men mindre end baseflow. I vandløb med lille medianminimum udgør den intermediære afstrømning (baseflow minus medianminimum) hovedparten af den totale afstrømning (figur 4.7).



Figur 4.7 I figuren til venstre og højre er vist hydrografen, samt 3 "lowflow" estimater, baseflow(a), medianmånedsminimum (b) og medianminimum (c) i vandløb med henholdsvis høj og lav afstrømning. Medianminimum er som nævnt median af årsminima mens medianmånedsminimum er median af månedsmi-nima. I midten er 4 "lowflow" parametre blevet divideret med middelfafstrømningen (indekseret) og op-delt i vandløb med afstrømning under og over $2,5 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, beregnet som gennemsnit af 252 stationer med data for hele eller dele af perioden 1971-1998. BFI: baseflow-indeks, LFI: medianmånedsminimums-indeks, MMI: medianminimums-indeks, Q95I: Q95-indeks.

Figure 4.7 The left and right part of the figure show the hydrograph and 3 "lowflow" estimates, baseflow (a), median monthly minimum (b) and median minimum (c) in streams with high and low runoff, respectively. Median minimum is median of annual minima while median monthly minimum is median of monthly minima. In the middle part of the figure 4 "lowflow" parameters have been divided by mean runoff (indexed) and separated into streams with runoff under and over $2.5 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ calculated as an average of 252 stations with data for the whole of or part of the period 1971-1998. BFI: baseflow index, LFI: median monthly minimum index, MMI: median minimum index, Q95 index.

Q95 (den vandføring, der overskrides 95 % af tiden) anvendes i udlandet til estimering af "lowflow", på linje med anvendelsen af medianminimum i Danmark. Gennemsnittet af medianminimum er omtrent lig gennemsnittet af Q95. Medianminimum underskrides i gennemsnit ca. 17 dage om året, med en standardafvigelse på 9 dage. Medianminimum underskrides lidt oftere i Jylland (18 dage) end på øerne (15 dage).

4.3 Afstrømningskarakteristik i umålte og sparsomt målte oplande

Kun ca. 55 % af Danmarks areal er dækket af afstrømningsmålinger, på trods af, at der måles ved ca. 350 målestationer. Det resterende areal består af mange mindre og mellemstore oplande, som det ville være økonomisk uoverskueligt at skulle måle. Endvidere er der flere områder nær kysten der er tidevandspåvirkede eller hældningen er så lav at det er teknisk meget vanskeligt at måle afstrømningen. Lovgivningen, der regulerer brugen af vandløb og det strømmende vand, er afstemt efter påvirkningsgraden under ekstreme afstrømningsforhold. Skøn af minimums- og maksimumsvandføringer, der optræder hvert andet år eller sjældnere, anvendes således ved dimensionering af bygværker, restaurering og vedligeholdelse af vore vandløb, vandindvindingsstilladelser til dambrug, grundvandsindvinding, spildevandsudledning etc. Der er derfor behov for enkle standardiserede og pålidelige modeller til bestemmelse af ekstremværdi fordelinger i de umålte oplande. I andre lande som f.eks. England findes allerede modeller til estimering af vandføringens fordeling i dårligt

målte og umålte oplande ud fra oplands fysiske parametre(reference) som kunne etableres ikke mindst pga. udvikling af detaljerede digitale geodatabaser i løbet af de sidste 10-15 år.

Datagrundlag

I dette afsnit skitseres hvordan en model til estimering af fordelinger af årsminima og årsmaksima kan se ud med udgangspunkt i data fra fagdatacenterets stationsnet i perioden 1971-1990. Data fra fagdatacenterets stationer er velegnede til modelopsætning, da stationsnettet er landsdækkende og dermed dækker de fleste regionale oplandsfysiske og hydrologiske forskelligheder i landet. Desuden består stationsnettet af 27 vandføringsstationer, der statistisk set, giver et stort datagrundlag. Endvidere har flere af FDC-stationerne været i drift siden 1917, hvilket betyder, at de fleste tidsmæssige afstrømnings variationer bør være repræsenteret.

Dataanalyse

Metoden, som beskrives her, er opstillet af Det Danske Hedeselskab (Højby, 1991). Det antages, at der findes en statistisk sammenhæng mellem parametre, som beskriver afstrømningens fordeling (deskriptive statistiske parametre) og udvalgte oplandsfysiske parametre samt et par forholdsvis let tilgængelige hydrologiske parametre (forklarende parametre). De forklarende parametre skal være rimeligt indbyrdes uafhængige og signifikant korrelerede med de deskriptive statistiske parametre. Begge krav til de forklarende parametre testes ved korrelationsanalyse (f.eks. vha. Pearson eller Spearman korrelationsmatrix). Sammenhængen mellem de udvalgte forklarende parametre og deskriptive statistiske parametre analyseres vha. multiple regressionsanalyse. De deskriptive statistiske parametre beskrives ved det udtryk, hvor der opnås den bedste korrelationskoefficient og hvor alle koefficienter samtidig er fundet signifikant forskellige fra nul. Der er i analysen ikke stillet krav om at skæringen med y-aksen skal være forskellig fra nul. De opstillede modeller til beskrivelse af fordelingen af årsminima og årsmaksima er blevet testet på to tilfældigt valgte stationer som repræsenterer uafhængige dataset til modelvalidering.

Korrelationsanalyse

Som udgangspunkt vælges a priori oplandsfysiske og hydrologiske parameter som antages at kunne forklare forskellige deskriptive statistiske parametre. Som forklarende oplandsfysiske parameter testes:

- længde af vandløb fra udspring til målestation (LO, enhed: m)
- gennemsnitlig hældning fra udspring til målestation (SO, enhed: m/m)
- jordtype tal (JT), beregnet som en vægtet sum af jordklassificeringens farvekodenummer (*Statens Planteavlsvforsøg, 1996*) for de forskellige typer og deres respektive procentandele.
- bebygget areal ("% by"), skovbevokset areal ("%Skov") og ferskvandsareal ("%Vand") angivet i % af det samlede oplandsareal.

Som forklarende hydrologiske parameter testes:

- nedbør i referenceperioden 1971-1990, korrigeret til jordoverfladen

- den negative recessionskoefficient (k_{neg}), defineret som den del af hydrografen med faldende vandføring ($K_{neg} = \ln Q_t - \ln Q_{t-1}$, når $Q_t < Q_{t-1}$) og som er beregnet på den fuldstændige afstrømningsserie af døgnmidler.

Som deskriptive statistiske parametre til estimering af afstrømningens fordeling ($l s^{-1} km^2$) er anvendt:

- årsmiddelfafstrømning (qmid)
- standardafvigelse på døgnmiddelfafstrømning (sqmid)
- middelværdier af årsminima (qmin)
- standardafvigelse af årsminima (sqmin)
- skævhed på årsminima (gqmin)
- middelværdier af logaritmen af årsmaxima (lnqmax)
- standardafvigelse på logaritmen af årsmaxima (slnqmax)
- skævhed på logaritmen af årsmaxima (qlnqmax).

Beregningsudtryk for middel, standardafvigelse og skævhed findes i appendiks 2.

Kravet til indbyrdes uafhængighed mellem forklarende variable er testet af udtrykket:

$$t_s = r \left(\frac{n-2}{1-r^2} \right)^{1/2}$$

Hvor r er korrelationskoefficienten, n er antallet af stationer (27) og teststørrelsen (t_s) er 1,96 på 95% konfidensniveau. Der eksisterer således en statistisk signifikant positiv eller negativ sammenhæng når korrelationskoefficienten mellem to forklarende parametre er hhv. større og mindre end $\pm 0,37$.

Korrelationen mellem forklarende parametre

Tabel 4.3. viser resultatet for korrelationen mellem alle parametre som potentiel kunne bruges som forklarende variable ved de endelige multiple regressionsligninger. Det ses at en lang række parametre er korrelerede. At to parametre er korrelerede betyder ikke at den ene fuldt ud er beskrevet ved den anden. I den foreliggende analyse er det som udgangspunkt vedtaget at korrelationskoefficienten (r) mellem to parametre skal være i intervallet [-0,8;0,8] for at begge kan indgå som forklarende variable i den endelige model. Det fremgår, at der ud fra dette kriterium er for stor indbyrdes korrelation mellem A_{opl} (oplandsareal) og L_0 (vandløbslængde), samt mellem JT (jordtype tal) og den negative K_{neg} (recessionskoefficient).

Korrelation mellem deskriptive statistiske parametre og forklarende parametre

I tabel 4.4. er angivet korrelationskoefficienter mellem deskriptive statistiske parametre og alle forklarende parametre som potentielt kunne anvendes i de endelige modeller. Det fremgår, at alle deskriptive statistiske parametre er signifikant korrelerede med en eller flere forklarende parametre. Det bør således være muligt, at etablere et udtryk for alle deskriptive statistiske parametre, bortset fra spredningen på døgnmiddelværdierne (sqmid) og skævheden på logaritmen til årsmaxima (glnqmax), hvor korrelationskoefficienterne generelt er meget lave. Det bemærkes, at tre forklarende parametre: JT (jordtypetal), N (nedbør), og

K_{neg} (negative recessionskoefficient) er korrelerede til hovedparten af de deskriptive statistiske parametre, mens to forklarende parametre, nemlig S_0 (vandløbshældning) og %By (bebygget areal) kun er korreleret med en enkelt deskriptiv statistisk parameter.

Tabel 4.3 Resultat af korrelationsanalysen for forklarende parametre mod forklarende parametre. Fed skrift indikerer tilfælde af signifikant korrelation.

Table 4.3 Results of the correlation analysis for explanatory parameters against explanatory parameters. Numbers in bold indicate occurrence of significant correlation.

	A_{opt}	L_0	S_0	JT	%By	%Skov	%Vand	k_{neg}	N
A_{opt}	1,00								
L_0	0,95	1,00							
S_0	-0,31	-0,40	1,00						
JT	-0,40	-0,46	0,42	1,00					
%By	0,05	0,04	-0,08	-0,04	1,00				
%Skov	0,38	0,45	-0,27	-0,41	-0,13	1,00			
%Vand	0,45	0,44	-0,14	-0,07	0,38	0,39	1,00		
k_{neg}	0,50	0,57	-0,52	-0,81	0,01	0,46	0,22	1,00	
N	0,38	0,37	-0,28	-0,71	-0,30	0,17	-0,15	0,74	1,00

Tabel 4.4 Korrelationsanalyse for deskriptive statistiske parametre mod forklarende parametre. Signifikant korrelation er indikeret med fed.

Table 4.4 Correlation analysis for descriptive statistical parameters against explanatory parameters. Numbers in bold indicate significant correlation.

	qmid	sqmid	qmin	sqmin	gqmin	lnqmax	slnqmax	glnqmax
A_{opt}	0,46	0,03	0,49	0,44	-0,29	-0,28	-0,55	-0,07
L_0	0,49	-0,07	0,52	0,48	-0,29	-0,34	-0,65	-0,07
S_0	-0,33	-0,30	-0,26	-0,36	-0,11	0,27	0,61	-0,08
JT	-0,65	0,33	-0,76	-0,81	0,59	0,38	0,46	-0,44
%By	-0,28	-0,17	-0,19	-0,06	-0,04	-0,48	0,22	-0,19
%Skov	0,32	-0,37	0,58	0,41	-0,06	-0,41	-0,47	0,27
%Vand	0,01	-0,43	0,10	0,08	-0,01	-0,53	-0,19	0,07
K_{neg}	0,72	-0,46	0,83	0,81	-0,56	-0,49	-0,59	0,24
N	0,86	-0,05	0,77	0,88	-0,59	0,07	-0,51	0,21

Multiple Regressionsanalyser

Med udgangspunkt i korrelationsmatricerne ovenfor er der foretaget en multipel regressionsanalyse (tabel 4.5). Forklarende parametre er ordnet efter faldende korrelation og indraget en for en. Parametre der forøger forklarings procenten er indraget i den endelige model, mens de øvrige parametre er udeladt

Table 4.5 Resultat af regressionsanalyse. Øverste del af tabellen giver værdier for afskæring med y-aksen, midterste del koefficienter i regressionsudtrykkene og nederste del middelfvigelsen fra regressionslinjen divideret med den deskriptive parameters middelværdi (CV_{reg}), korrelationskoefficienten (r), middelfvigelsen til regressionslinjen (mid.sq) og den deskriptive statistiske parameters middelværdi (middel).

Table 4.5 Result of regression analysis. the upper part of the table shows values for intersection with the y axis, the middle part shows coefficients in the regression expressions and the lower part mean deviation from the regression line divided by the mean value of the descriptive parameter (CV_{reg}), correlation coefficient (r), mean deviation to the regression line (mid.sq) and the mean value (average) of the descriptive statistical parameters.

	qmid	sqmid	qmin	sqmin	gqmin	lnqmax	slnqmax	glnqmax
Skæring med y-akse	-14,678	5,601	-6,938	-1,235	-0,566	3,492	0,361	0,273
A_{opt}								
L_0							-2,1E-06	
S_0							20,75	
JT				-0,114	0,614			-0,210
% By							-0,044	
% skov			0,120	0,010				
% vand								
K_{reg}		-58,68	27,38				-5,596	
N	0,029		0,012	0,0026				
CV_{reg}	0,33	1,02	0,48	0,03	0,58	0,02	0,01	-0,59
r	0,86	0,46	0,91	0,93	0,59	0,69	0,75	0,44
Mid.Sq	2,93	9,43	1,35	0,02	0,53	0,07	0,00	0,14
Middel	8,95	9,23	2,83	0,73	0,93	3,69	0,34	-0,25

Det fremgår af resultatskemaet at qmin og sqmin er de deskriptive statistiske parametre, der bedst er beskrevet af de forklarende parametre, hvorimod sqmid og glnqmax med de foreliggende beskrevne parametre ikke kan estimeres med et tilfredsstillende resultat ud fra de anvendte oplandsfysiske og hydrologiske parametre. Selv om CV_{reg} (defineret som middelfvigelsen fra regressionslinjen divideret med den deskriptive parameters middelværdi) på qmin er relativt store, anses den at have en acceptabel størrelse.

Modelvalidering

For at sikre, at de opstillede modeller kan anvendes i dårligt målte oplande skal de opstillede relationer testes ved nogle vandføringsstationer som ikke er medtaget i modeludviklingen (split sample test).

Modellen er testet på oplandene: Alling Å ved Vester Alling (237,9 km²) i Århus Amt og Suså ved Veterslev (266.0 km²) i Storstrøms Amt, der er velmålte med tidsserier tilbage til hhv. 1973 og 1974.

I tabel 4.6 er vist det datagrundlag, der anvendes til aftestning af de fundne sammenhænge.

Tabel 4.6 Input parametre til lineære modeller til estimering af deskriptive statistiske parametre gældende for oplandene Alling Å, Vester Alling og Suså, Veterslev.

Table 4.6 Input parameters for linear models for the estimation of descriptive statistical parameters applicable to the catchments river Alling, Vester Alling and Susaa, Veterslev.

Parameter	Enhed	Alling Å, Vester Alling	Suså, Veterslev
L_0	m	25162	39321
S_0	m/m	0,0017	0,0002
JT	-	2,59	2,83
% Skov	%	6,6	14,1
% By	%	3,0	4,3
N	mm	733	744
K_{neg}	-	-0,032	-0,063

Den negative recessionskoefficient (K_{neg}) er beregnet på grundlag af data fra 2 måneder af foråret i 1990.

I tabel 4.7 og 4.8 er model estimerer af deskriptive statistiske parametre (model beregnet) præsenteret sammen med beregnede værdier for de fulde tidserier (empirisk beregnet) med konfidens interval (-95% konf. og +95% konf) approximeret med to gange middelfvigelsen til regressionslinjen.

Diskussion af resultater

Det ses af tabel 4.7 og 4.8, at skævhederne på maxima (glnqmax) samt spredningen på minima (sqmin) ligger uden for 95 % konfidensintervallet omkring de empirisk beregnede værdier.

Tabel 4.7 Empirisk- og modelberegnete deskriptive statistiske parametre samt empirisk beregnet K_{neg} . Endvidere er angivet 95 % konfidensintervaller omkring de empirisk beregnede værdier. Parametre er beregnet for hele driftsperioden (1974-1993) for Alling Å, Vester Alling.

Table 4.7 Empirically and model calculated descriptive statistical parameters as well as calculated K_{neg} . Also shown are 95 % confidence intervals of the empirically calculated values. Parameters are calculate for the entire operation period (1974-1993) for river Alling, Vester Alling.

Parameter	Alling Å, Vester Alling			
	-95% konf.	empirisk beregnet	+95% konf.	modelberegnet
qmid	1,26	7,12	12,98	6,58
sqmid	-12,56	6,30	25,16	7,48
qmin	-0,29	2,41	5,11	1,77
sqmin	0,73	0,77	0,81	0,44
gqmin	-1,01	0,05	1,11	1,02
lnqmax	3,36	3,50	3,64	3,54
slnqmax	0,33	0,34	0,35	0,35
glnqmax	0,28	0,56	0,84	-0,27
K_{neg} 73-93	-	-0,037	-	-

Tabel 4.8 Empirisk- og model beregnede deskriptive statistiske parametre samt Empirisk beregnet K_{neg} . Endvidere er angivet 95% konfidensintervaller omkring de empirisk beregnede værdier. Parametre er beregnet for hele driftsperioden (1974-1993) for Suså, Vetteslev.

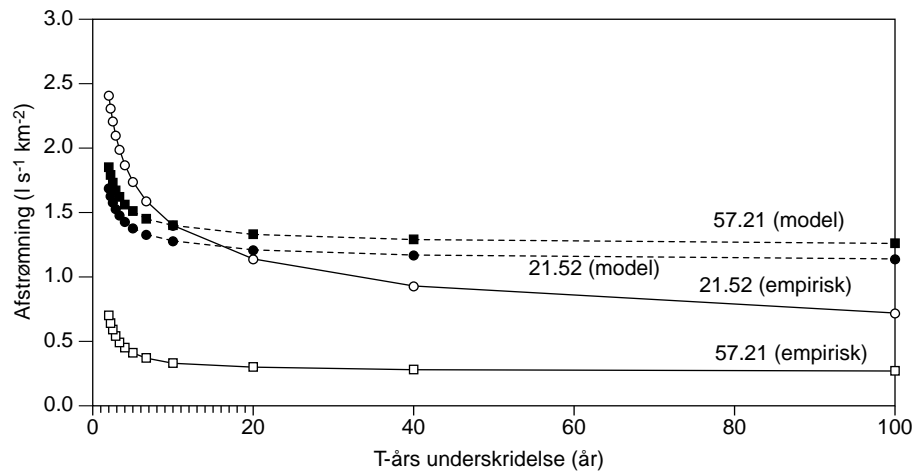
Table 4.8 Empirically and model calculated descriptive statistical parameters as well as calculated K_{neg} . Also shown are 95 % confidence intervals of the empirically calculated values. Parameters are calculated for the entire operation period (1974-1993) for river Susaa, Vetteslev.

Suså, Vetteslev				
Parameter	-95% konf.	empirisk beregnet	+95% konf.	modelberegnet
qmid	1,57	7,43	13,29	6,58
sqmid	-10,43	8,43	27,29	9,30
qmin	-1,82	0,88	3,58	1,96
sqmin	0,56	0,60	0,64	0,52
gqmin	0,85	1,91	2,97	1,17
lnqmax	3,48	3,62	3,76	3,66
slnqmax	0,24	0,25	0,26	0,28
glnqmax	-1,14	-0,86	-0,58	-0,32
K_{neg} 73-93	-	-0,076	-	-

Ved en nærmere gennemgang af datamaterialet viser det sig dog, at de empirisk beregnede værdier af glnqmax på teststationerne er relativt store i forhold til glnqmax på fagdatacenterets stationer. Det vil sige at 95 % konfidensintervallet på disse værdier reelt er større end det approximerede på med to gange middelfvigelsen til regressionslinjen. Dette betyder, at fagdatacenterets målestationer ikke dækker den variabilitet der forekommer i glnqmax i Danmark som helhed. Spredningen på årsminimum ved teststationerne er ikke atypisk i forhold til spredningen på årsminimum ved fagdatacenterstationerne. Den veldefinerede sammenhæng mellem forklarende variable og deskriptive statistiske parametre for fagdatacenter stationsnettet kan derfor ikke antages at være generelt gældende for afstrømningen i Danmark.

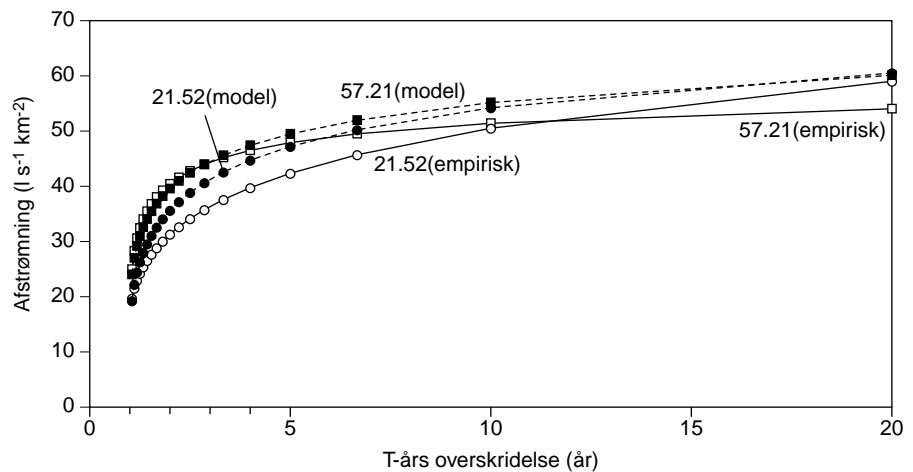
For at opnå en tilfredsstillende forklaringsprocent på skævheden på logaritmen til maxima, samt på spredningen på årsminima, må der derfor inddrages flere stationer i model opsætningen.

Fordelingsfunktionerne for årsminimum (Weibull) og årsmaximum (Log Pearson type-III) er bestemt ved hjælp af empirisk beregnede og modelberegne deskriptive statistiske parametre. Alle modelbestemte fordelingsfunktioner ligger indenfor 95 % konfidensintervallerne omkring de empiriske bestemte fordelingsfunktioner. Det skal bemærkes at konfidensintervallerne er noget større for minimumsfordelingerne end for maximumsfordelingerne, hvilket skyldes den store spredning på middelværdien af årsminima. Fordelingsfunktionerne er transformeret til under- og overskridelsesfunktioner i figur 4.8 og figur 4.9.



Figur 4.8 Underskridelsesfunktioner bestemt på basis af de modelbereg- nede deskriptive statistiske parametre og på grundlag af empirisk bereg- nede værdier af data for hele driftsperioden, på begge test stationer.

Figure 4.8 T-year functions of annual minimum determined on the basis of the model calculated descriptive statistical parameters and the empirically calculated values of data for the entire operation period on both test stations.



Figur 4.9 Overskridelsesfunktioner bestemt på grundlag af modelbereg- nede deskriptive statistiske parametre og på grundlag af empirisk bereg- nede værdier af data for hele driftsperioden, på begge teststationer.

Figure 4.9 Exceedance functions determined on the basis of model calcu- lated descriptive statistical parameters and empirically calculated values of data for the entire operation period on both stations.

Det ses af figur 4.8, at afvigelserne mellem model bestemte og empirisk bestemte gentagelses intervaller på årsminima er så store, at resultatet ikke uden videre kan anvendes i praksis. Dette kan eventuelt skyldes, at der ikke indgår nogle beskrivende parametre der karakteriserer de kulturrelaterede indgreb, der specielt har meget stor indflydelse på minimumafstrømningen.

Modelberegnete fordelingsfunktioner har stor praktisk anvendelighed, især hvis pålidelige modeller kan opstilles uden at gøre brug af den negative recessionskoefficient eller andre karakteristiske afstrømnings- parametre, der jo i sagens natur er ukendte i oplande, hvorfra der ikke foreligger målinger.

Det fremgår derimod af figur 4.9, at der er en bedre overensstemmelse mellem modelbestemte og empirisk bestemte gentagelsesintervaller for årsmaksima.

4.3 Sammenfatning

Afstrømningens fordeling

Normalfordelingen giver ikke nogen god tilpasning til døgnmiddelafstrømningen, blandt andet fordi den empiriske fordeling er asymmetrisk, med højere middelværdi end median. De observerede afstrømninger ved de 39 stationer, der er undersøgt her, kan heller ikke antages at være lognormalfordelte. Lognormal fordelingen giver dog tilsyneladende en god tilpasning til almindeligt forekommende afstrømninger, men underestimerer generelt små afstrømninger og overestimerer store afstrømninger.

Refernceperiode

På baggrund af tidligere og aktuelle analyser anbefales det at refernceperioden for beregning af medianminimum, middel og medianmaksimum beregnes på grundlag af data fra 1971-1998 og at tidsserien i 2001 forlænges til at gælde en 30 års periode (1971 – 2000). Refernceperioden fremrykkes ved begyndelsen af hvert nyt årti.

Afstrømningskarakteristik i umålte og sparsomt målte oplande

Der er opstillet lineære modeller til bestemmelse af afstrømningen fordeling i sparsomt målte oplande. Input til modellerne er oplandsfysiske parametre og samt enkle hydrologiske parametre. Det vil være relevant, at indrage et mere omfattende datamateriale end det her anvendte i modelopsætningen, med det formål at forbedre modellen, så den alene bygger på oplandsfysiske parametre. Sådanne modeller vil have stor praktisk anvendelse til estimering af karakteristiske afstrømningsparametre i umålte oplande.

5 Karakteristik af vandføringen i relation til vandløbets økologi

Vandføringsserier er i Danmark traditionelt brugt til at måle vandressourcen. En del udenlandske undersøgelser har imidlertid vist, at afstrømningens måde at variere på har stor betydning for de levende organismer i vandløbet (*Minshall, 1988; Resh et al., 1988; Poff & Ward, 1989; Clausen & Biggs, 1997*). I dette kapitel beregnes en vifte af parametre, der antages at være økologisk relevante. De såkaldte strømningsøkologiske parametres indbyrdes sammenhæng er undersøgt og relationer mellem parametrene og den biologiske vandløbskvalitet er efterfølgende analyseret. Til slut er vandløbene grupperet i forhold til parameterværdier.

Datagrundlag

I analyserne af de indbyrdes relationer mellem strømningsøkologiske parametre og i grupperingen af vandløbene indgår 39 vandløb med data i perioden 1971–98 (Jævnfør kapitel 4). Korrelationsanalysen mellem strømningsøkologiske parametre og den biologiske vandløbskvalitet bygger på vandførings data fra 117 stationer (jævnfør afsnit 5.3).

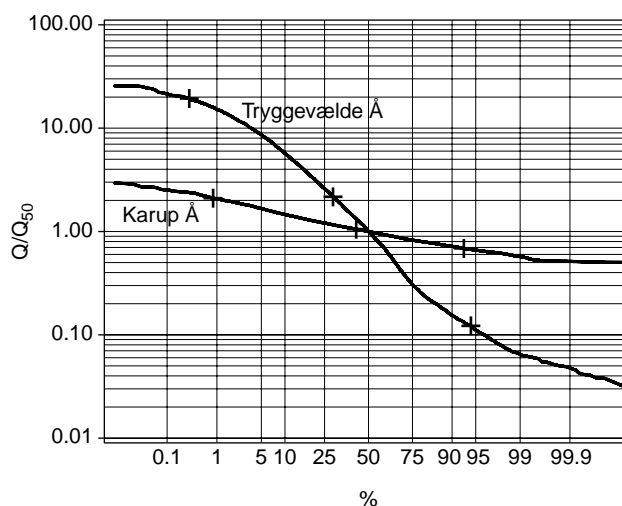
5.1 Strømningsøkologiske parametre

De parametre, der traditionelt bruges til karakterisering af afstrømningens størrelse, kan ændres til strømningsøkologiske parametre, når vandføringen normeres med medianen af vandføringen i stedet for størrelsen af det topografiske opland. Når varighedskurven beregnes på basis af normerede døgnmiddelvandføringer udtrykker percentilerne vandføringen variation, og ikke vandføringen størrelse som det ellers er tilfældet (figur 5.1).

Det fremgår af figur 5.1, at medianmaksimum er dobbelt så stor som medianværdien i Karup Å og ca. 20 gange større end medianværdien i Tryggevælde Å. Internationale undersøgelser (*Richter et al., 1996; Poff et al., 1997*) peger på, at der findes 5 bestanddele af vandføringsregimet, der har økologisk betydning. Det er udover størrelsen af vandføringen, frekvensen og varigheden af givne afstrømningshændelser, timing eller forudsigelighed af vandføringen og endelig vandføringen variation.

I det følgende gennemgås nogle resultater fra en undersøgelse af den indbyrdes sammenhæng mellem de strømningsøkologiske parametre i udvalgte danske vandløb (*Clausen et al., 2000b*).

I bilag 10 findes definitioner og værdier for 64 udvalgte strømningsøkologiske parametre, der dækker de omtalte 5 elementer af vandføringsregimet.



Figur 5.1 Varighedskurver for Karup Å og Tryggevælde Å. På Y-aksen er forholdet mellem vandføring(Q) og medianvandføring (Q50) afbildet. Overskridelsessandsynligheden er afbildet på en normalfordelt sandsynlighedsakse. Medianmaksimum ("+" til venstre), middel ("+" i midten) og medianminimum ("+" til højre) er afsat på varighedskurverne.

Figure 5.1 Duration curves for Karup Å and Tryggevælde Å. The Y axis shows the relationship between discharge (Q) and the median discharge (Q50). The exceedence probability is shown on a normal probability axis. Median maximum ("+" on the left), average ("+" in the middle) and median minimum "+" on the right) are marked on the duration curves.

Vandføringens størrelse

Vandføringens størrelse omfatter middel og median for den samlede tidsserie og for årets 12 måneder. Danske og udenlandske undersøgelser har vist, at vandløbets størrelse er en vigtig strømningsøkologisk variabel, især fordi antallet af habitater generelt er større i store vandløb (Jacobsen og Friberg 1997, Clausen og Biggs 1997).

Frekvens

Frekvensen af afstrømningshændelser omfatter årlige gennemsnitsværdier for, hvor ofte der sker over- eller underskridelser af givne tærskelværdier. Der er beregnet frekvens af overskridelse af 1, 3 og 7 gange medianvandføringen, samt frekvens af 25 percentilen (FRE1, FRE3, FRE7 og FRE25) og desuden frekvens af underskridelser af 75 percentilen samt af medianminimum (FRE75 og FREMEDMIN). Frekvensen af store afstrømninger er et direkte mål for, hvor ofte dyre- og plantelivet forstyrres eller ødelægges. Udenlandske undersøgelser peger på, at frekvensen af afstrømningshændelser er centrale for beskrivelsen af det fysiske stress på akvatiske økosystemer og derfor er strømningsøkologiske nøgleparametre (Clausen og Biggs, 2000a).

Varighed

Varigheden af afstrømningshændelser omfatter årlige middelvarigheder i dage af nogle afstrømningshændelser, som er nævnt ovenfor. Der er set bort fra de parametre, hvis tærskelværdi er en fraktile af varighedskurven (DUR1, DUR25 og DUR75), og som derfor er fuldstændigt korrelerede med de tilhørende frekvensparametre (FRE1, FRE25 og FRE75). Varighedsparametrene forventes at afspejle graden af habitatforstyrrelser under afstrømningshændelser, idet de kan relateres til størrelsen af bundtransporten.

Timing og forudsigelighed

Timing og forudsigeligheden af vandføringen omfatter "predictability" (PRE) som defineret af Colwel (1974). Beregning af "predictability"

(PRE) er udført på en matrix af 365 (dage) gange 9 vandføringsklasser. I beregningen af PRE er døgnmiddelvandføringen, standardiseret (dvs. divideret) med medianvandføringen (Q50) og herefter transformeret med den naturlige logaritme og opdelt i 9 klasser adskilt af heltallene (-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4). Disse 9 klasser dækker alle observerede vandføringer. De tidspunkter på året, hvor maksimum og minimum i gennemsnit indtræffer (JULMAX og JULMIN) samt variationskoefficienterne (CV) af tidspunkterne (JULMAXCV og JULMINCV), er også beregnet, idet 1. maj er dag nummer 1 og 30. april er dag nummer 365. Timing og forudsigelighed kan have specifik biologisk betydning for organismer med særlige livscyklus forhold.

Variation

Vandføringens variation omfatter et stort antal parametre, der er underopdelt i 5 grupper: Generel variation, sæsonvariation, høje vandføringer, lave vandføringer og ændringskarakteristik. Der er 3 mål for generel variation: SK er medianvandføring divideret med middelvandføring og er dermed et udtryk for skævhed, mens CV (variationskoefficienten) og CON ("Constancy" som beregnet af Colwell (1974)) er udtryk for den generelle variation. CON er et udtryk for hvor konstant vandføringen er og antager værdier mellem 0 og 1. Variationskoefficienten af de 12 månedsmiddelvandføringer er mål for sæson variation. Variationen af høje vandføringer og lave vandføringer omfatter percentiler fra varighedskurven (Q1, Q10, Q25, Q75, Q90 og Q95), middel af årlige minimum- og maksimumværdier af 1, 7 og 30 dages glidende middel (MAMAX, MAMAX7, MAMAX30, MAMIN, MAMIN7, MAMIN30), medianminimum (MEDMIN) og medianmaksimum (MEDMAX) samt gennemsnitsstørrelse af afstrømningstoppe over en tærskelværdi (PEA1, PEA3, PEA7 og PEA25). Alle disse værdier er divideret med Q50 og er derved dimensionsløse størrelser, der kan sammenlignes mellem de enkelte vandløb. Baseflow-indeks (BFI) indgår også i undergruppen "variation af lave vandføringer". Ændringskarakteristik omfatter NODAYRISES, som er andelen af dage, hvor vandføringen er højere end den foregående dag og 2 parametre, der beskriver medianen af stigning (KPOS) og fald (KNEG) af 2 nabodages logaritmetransformerede (ln) vandføringer. Parametre, der indeholder information om vandføringens variation, korrelerer signifikant med algediversitet og invertibrattæthed i New Zealand (Clausen & Biggs, 1997). Den relative størrelse af høje og lave vandføringer er sammen med varigheden af afstrømningshændelser et indirekte mål for intensiteten af habitatforstyrrelser og kan som sådan have betydning for vandløbets plante- og dyreliv. Vandføringens generelle variation og den relative størrelse af høje og lave vandføringer indeholder ikke information om, hvordan variationerne er fordelt tidsligt. Det gør derimod JANCV-DECCV, som er variationskoefficienten for de 12 måneders middelvandføringer. Sæsonvariation kan have betydning for arter med en præcis timing i livscyklus.

5.2 Indbyrdes sammenhænge mellem parametre

Formålet med korrelationsanalysen

Hvis man ønsker at isolere centrale strømningsøkologiske parametre, er det for det første vigtigt at kende den biologiske betydning af parametrene, men det er også relevant at kende den indbyrdes sammenhæng mellem parametrene for at eliminere evt. overflødige parametre og for at opnå den størst mulige informationsværdi hos de

parametre, der udvælges (Clausen og Biggs, 2000a). At 2 parametre er korrelerede betyder dog ikke, at den ene er fuldt ud beskrevet ved den anden. Selv om 2 parametre er indbyrdes korrelerede, kan de således udmærket påvirke forskellige biologiske komponenter.

Data-analyser

Den indbyrdes relation mellem de hydrologiske parametre er beregnet med Spearman-koefficienter, og den videre gruppering er foregået ved hjælp af cluster-analyse og principal-component-analyse (PCA) (SAS Institute Inc, 1989). Cluster-proceduren VARCLUS blev brugt til at splitte variable op i clustre indtil mindst 90 % af variationen kunne forklares. Det bemærkes, at cluster-analyse er et rent matematisk værktøj til gruppering af parametre, og at de fastsatte grænser for opdeling beror på skøn. Det resulterede i 13 clustre (sværme), hvoraf kun 3 clustre havde mere end en variabel. PCA-analyse blev udført på de 3 clustre, der indeholdt mere end en parameter for at få et fingerpeg om deres indbyrdes sammenhænge. Parametrenes vægte i de 2 første principalkomponenter (PC1 og PC2) er vist i figur 5.2.

Beliggenheden (afstand og fortegn) i forhold til de 2 centrale akser ($x=0$ og $y=0$) angiver hvor stærk sammenhængen (korrelationskoefficienten) er mellem parametre og henholdsvis PC1 og PC2. Parametre i modsatte og diagonale hjørner af plottet er stærkt korrelerede (tosidet symmetri). Parametre der hører sammen i følge PCA-analysen, benævnes i det følgende "grupper".

Cluster 1

Cluster 1, der danner en veldefineret gruppe i PCA-plottet pga. høje vægte i den anden principale komponent, beskriver vandføringens størrelse (JAN, ..., DEC). Middel (MF) og median (Q50) ligger midt i denne gruppe med middel forskudt mod vintermåneder og median mod sommermåneder, og middel og median er som sådan gode repræsentanter for denne cluster.

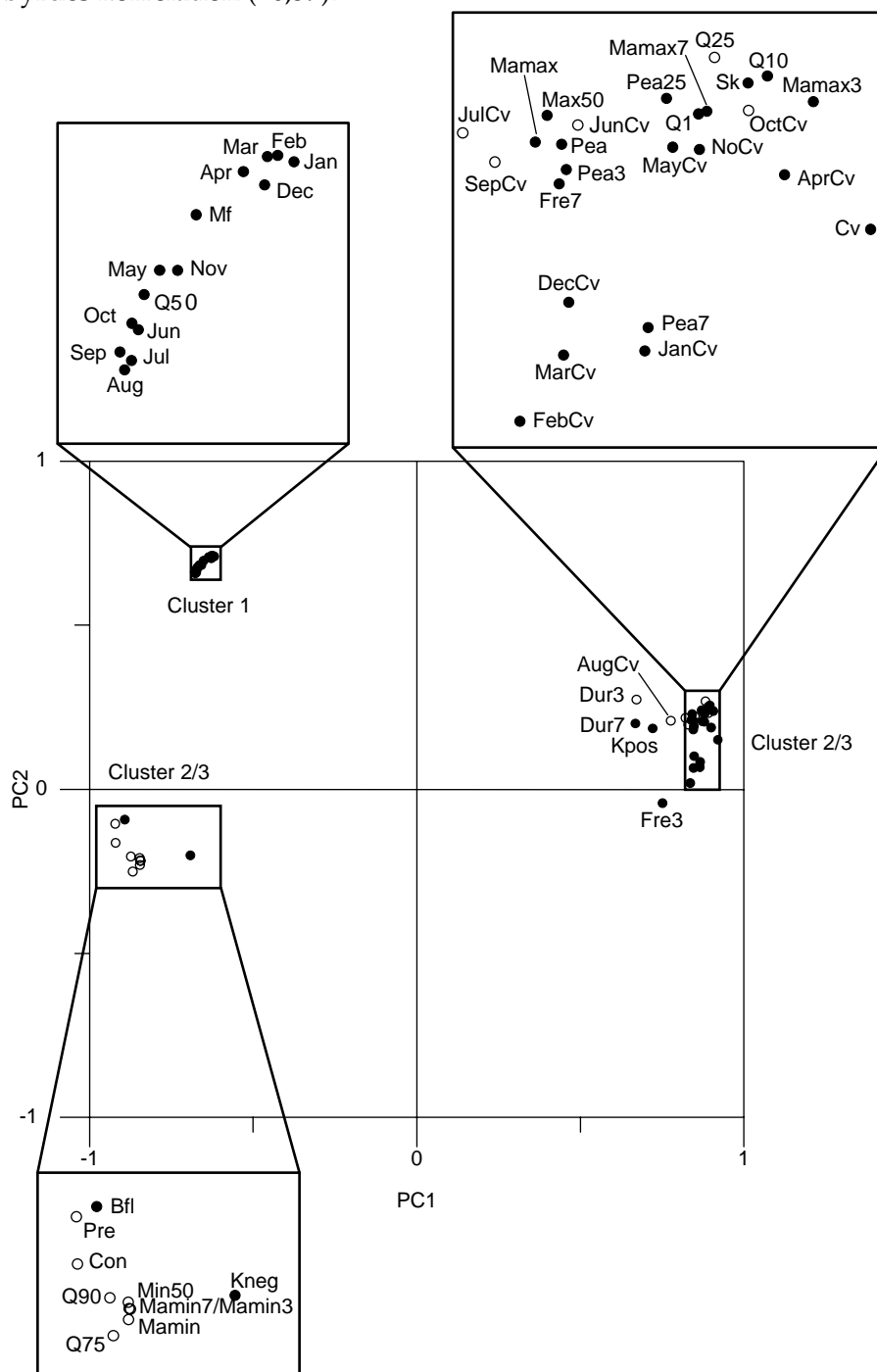
Cluster 2 og cluster 3

Cluster 2 og 3 består hovedsageligt af parametre, der beskriver vandføringens variation. Cluster 2 beskriver generelt de høje vandføringer, mens cluster 3 består af "lowflow" parametre. Når man tager den tosidede symmetri i PCA-plottet i betragtning, ses det, at parametrene i clustrene 2 og 3 er tæt forbundne. Der kan derfor argumenteres for at samle cluster 2 og 3 i en gruppe på grund af deres indbyrdes tætte beliggenhed. Tilsvarende kan der argumenteres for, at FRE 3 kunne danne sin egen gruppe, fordi den ligger yderligt i forhold til resten af parametrene i cluster 2 (den eneste parameter i cluster 2 med positiv PC1 og negativ PC2) og fordi Spearman koefficienter er mindre end 90 % i forhold til alle øvrige parametre (ligesom de 10 parametre, der danner egne clustre).

New Zealandsk undersøgelse

Samlet set grupperer de her undersøgte parametre sig således overordnet i 2 elementer af det hydrologiske regime: *Vandføringens størrelse* og *vandføringens variation*. I en tilsvarende undersøgelse fra New Zealand er der identificeret 4 elementer af det hydrologiske regime: *Vandføringens størrelse*, *vandføringens variation*, *varighed* og *volumen af afstrømningshændelser* samt *frekvens af afstrømningshændelser*. Kigger man nærmere på de danske resultater ser man, at 2 ud af de 3 varighedsparametre placerer sig i periferien af cluster 2, og at den 3. varighedsparameter danner sin egen cluster. FRE3 har tilsvarende en peri-

fer beliggenhed i cluster 2 og 4 andre frekvens parametre danner egne clustre. Der er således god overensstemmelse mellem danske og newzealandske resultater på trods af landenes store forskelligartedhed hydrologisk set. De øvrige variable, der formede egne clustre: *Timing og forudsigelighed af vandføringen*, NODAYRISES og DURMEDMIN var ikke omfattet af den newzealandske undersøgelse. Noget uventet sås det, at FREMEDMIN og DURMEDMIN var korreleret mindre end 50 % med alle øvrige variable og også havde en lille indbyrdes korrelation (-0,39).



Figur 5.2 Vægte på de første 2 principalkomponenter (PC1 og PC2) af 54 strømningsekologiske variable, der indgår i de 3 clustre, der indeholder mere end en parameter. Åbne cirkler angiver variable i cluster 3.

Figure 5.2 Loads on the first two principal components (PC1 and PC2) of 54 flow ecological variable that form part of the 3 clusters containing more than one parameter. Open circles indicate variables in cluster 3.

5.3 Smådyrsfauna

Data og analyse

Det er undersøgt om der eksisterer sammenhænge mellem strømningsekologiske parametre og smådyrsfaunaen ved 117 målestationer, som er drevet under det nationale overvågningsprogram for vandløb og kilder. Ved de 117 stationer er de hydrologiske parametre beregnet for perioden 1989-1998 og sammenlignet med 1-2 bedømmelser af biologisk vandløbskvalitet i 1997 ud fra smådyrsfaunaen. Forudsætningen for at kunne sammenligne hydrologiske parametre og bedømmelse af vandløbskvalitet i forskellige perioder er at smådyrsfaunaen tilpasses de hydrologiske regimer over en årrække. Biologisk vandløbs kvalitet er udtrykt ved Dansk Vandløbsfaunaindeks (DVFI) (*Miljøstyrelsen 1998*). DVFI har indexværdier fra 1-7, hvor største værdi svarer til bedste kvalitet. Den indbyrdes relation mellem strømningsekologiske parametre og DVFI er beregnet med Spearman-korrelationskoefficienter (jævnfør bilag 10.3).

46 (72 %) af de 64 strømningsekologiske parametre er signifikant korrelerede med DVFI på 95 % konfidens niveau. Heraf er 36 (56 %) signifikant korrelerede på 99 % konfidens niveau og 24 (38 %) på 99,9 % konfidensniveau.

Vandføringens størrelse

6 af de 14 strømningsekologiske parametre der karakteriserer vandføringens størrelse og som danner en veldefineret gruppe i PCA-plottet er positivt korrelerede med DVFI i efteråret 1997 på 95 % konfidens niveau. Det er navnlig vandføringen i sommermånederne, der er korreleret med DVFI i efteråret.

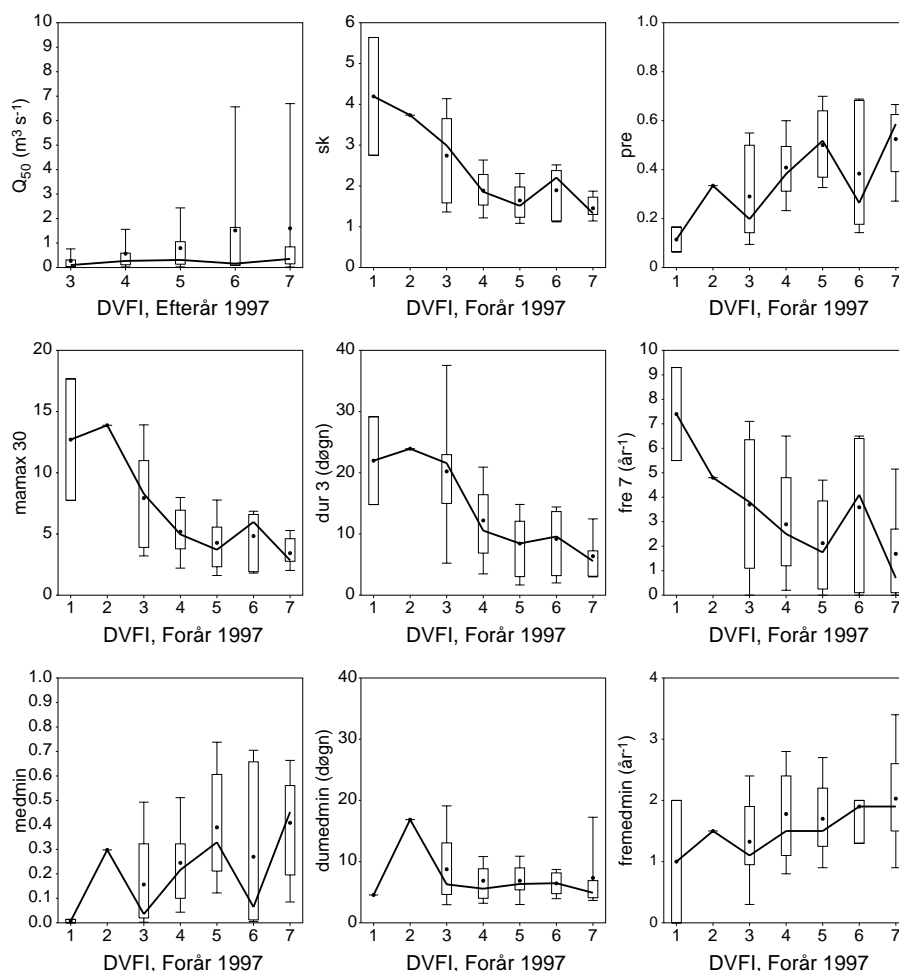
Det fremgår af figur 5.3, at den biologiske vandkvalitet generelt er god i vandløb med stor median afstrømning (Q50), mens vandkvaliteten er mere varierende i små vandløb.

Vandføringens variation

Resultaterne viser tydeligt, at den biologiske vandløbskvalitet er dårligst i vandløb med stor variation i vandføringen. Således er 34 ud af 36 parametre, der udtrykker vandføringens variation korreleret med DVFI på 95 % konfidens niveau. Generelle variationsparametre (Sk, Cv og Con) er meget stærkt korrelerede med DVFI (99% konfidensniveau) og det gælder næsten uanset hvilken måned af året variationen dækker.

Store afstrømninger

Den biologiske vandløbskvalitet er dårligst i de vandløb, hvor de største afstrømningstoppe registreres (negativ korrelation). afstrømningsniveauet i perioder med store afstrømninger (Mamax30, Q10, Q25 og Pea25) er dog generelt stærkere korreleret til DVFI end størrelsen af de mere ekstreme afstrømningshændelser (mamax, max50, pea3 og pea7). Det fremgår desuden at varigheden af store afstrømningshændelser (Dur 3 og Dur7) er stærkere korreleret med DVFI end frekvensen (fre3 og fre 7) af store afstrømningshændelser.



Figur 5.3 Udvalgte strømningsøkologiske parametre plottet mod Dansk Vandløbs Fauna Indeks. Vandføringsdata i perioden 1989-1998 fra 117 målestationer med målinger af DVFI i 1997. Boxplot med median (forbundne linjer), gennemsnit (punkt), 25 og 75 percentil (rektangel) og 10 og 90 percentil (vandrette streger på lodrette linjestykker).

Figure 5.3 Selected flow ecological parameters plotted against the Danish Stream Fauna Index (DVFI). Water flow data for the period 1989-1998 from 117 monitoring stations with measurements of DVFI in 1997. Box plot with median (connected lines), average (point), 25 and 75 percentile (rectangle) and 10 and 90 percentile (horizontal lines on vertical line segments).

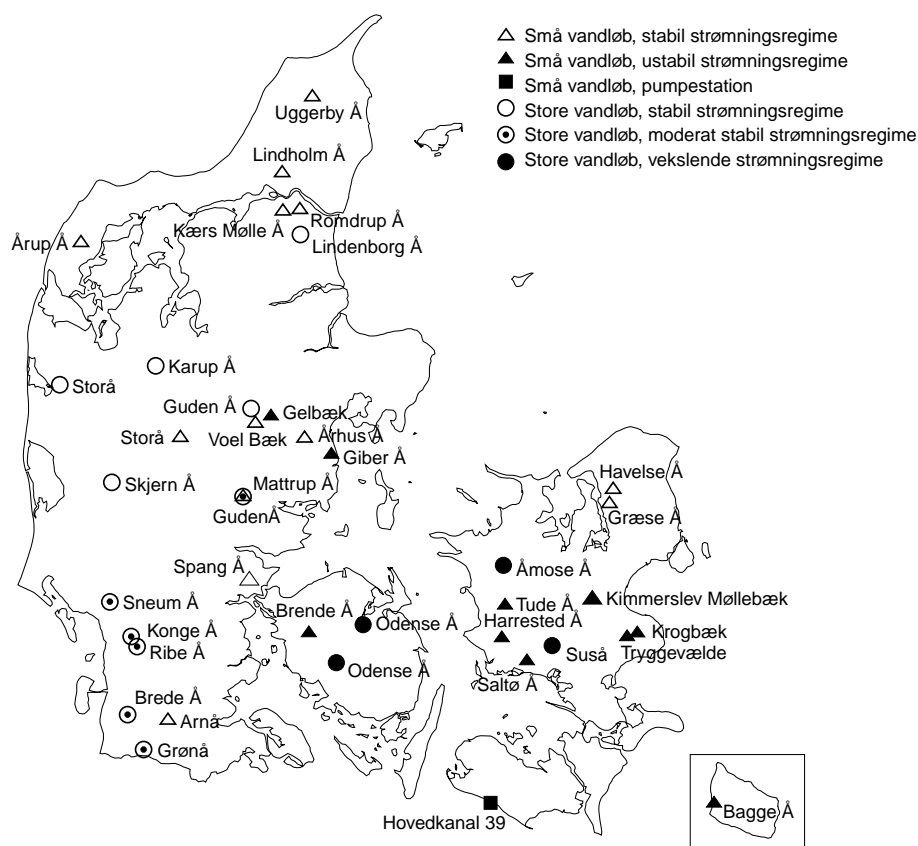
Medianminimum er ligesom de øvrige lowflow varians parametre positivt korreleret med DVFI. Det vil sige, at den bedste biologiske vandløbskvalitet findes i vandløb hvor medianminimumsvandføringen er forholdsvis stor i tørre perioder. Frekvensen og varigheden af medianminimum er ikke korreleret med DVFI.

Hovedparten af de strømningsøkologiske parametre er som nævnt korrelerede med DVFI. Det vil sige, at der er en sammenhæng mellem strømningsøkologiske parametre og den biologiske vandløbskvalitet, men ikke at der nødvendigvis eksisterer en årsagssammenhæng. Det er påvist at vandløb i overvågningsprogrammet med et stort indhold af organisk stof generelt har den dårligste biologiske vandløbskvalitet (Windolf, 1996). Årsagen til at vandløb med lille variation i vandføringen generelt har en god vandløbskvalitet, kan derfor være at disse vandløb ofte vil have et stort grundvandsbidrag og dermed en stor og konstant fortynding af organisk stof der følger

med spildevand. Selv hvis der er årsagssammenhænge mellem vandføringens variation og den biologiske vandløbskvalitet, er det på det foreliggende grundlag vanskeligt at udpege hvilke variable, der i givet fald har betydning for vandløbets økologi, fordi de hydrologiske parametre har vist sig at være så tæt forbundne. Resultaterne viser blot, at der er grundlag for at foretage mere detaljerede analyser af sammenhænge mellem strømningsøkologiske parametre og smådyrene i vandløbene.

5.4 Hydrologiske regimer

Der er gennemført cluster analyser efter "Average Linkage"-metoden (SAS Institute Inc, 1989) på 39 stationer for at få indikation af hvilke vandløb, der ligner hinanden i henseende til strømning (figur 5.4).



Figur 5.4 Strømningsregimer i Danmark. Resultater af clusteranalyser udført på 39 danske vandløb på basis af strømningsøkologiske parametre.

Figure 5.4 Flow regimes in Denmark. Results of cluster analyses performed in 39 Danish streams on the basis of flow ecological parameters.

Dataanalyse

Der er først udført clusteranalyse på den gruppe af strømningsøkologiske parametre, der beskriver vandføringens størrelse, fordi de er tydeligt isolerede fra de øvrige parametre i PCA-afbildningen. Små vandløb med en middelvandføring mindre end $2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ og oplande mindre end ca. 200 km^2 adskiller sig tydeligt fra resten (store vandløb) med en "gennemsnitlig afstand mellem clusters" mindre end 0,12. De små og de store vandløb er yderligere underopdelt ved at foretage clusteranalyser på grundlag af de øvrige økologiske parametre, der jo overordnet ligger tæt i PCA-plottet. Ud fra en fastsat grænse afstand mellem clusters på 1,0 dannes 3 clustre af små vand-

løb og 2 clustre af store vandløb. Den ene cluster af store vandløb er yderligere delt i 2, der har gennemsnitlig afstand mellem clusters mindre 0,8.

Små vandløb kontra store vandløb

Frekvensen af høje og lave afstrømningshændelser og varigheden af høje afstrømningshændelser er størst i de små vandløb. Vandføringen er desuden mindre forudsigelig, og variationen er generelt større.

Små vandløb

Clusteranalysen giver en opdeling af små vandløb med et relativt stabilt strømningsregime og små vandløb med relativt ustabil strømningsregime. Et enkelt stærkt reguleret vandløb skiller sig ud fra resten af de små vandløb (Hoved kanal 39, Kramnizte pumpestation). Det fremgår af figur 5.4, at små vandløb med stabilt afstrømningsregime fortrinsvis ligger i Jylland, mens vandløb med et ustabil afstrømningsregime fortrinsvis ligger på øerne. Forskellen på strømningsmønsteret i de små vandløb i Øst- og Vestdanmark ses af tabel 5.1.

Middelvandføringen i de vestdanske vandløb er noget større end i de østdanske vandløb, hvilket kun til dels kan forklares af forskelle i oplandstørrelse. De topografiske oplande til de små vestdanske vandløb er i gennemsnit 1,4 gange større end i de østdanske vandløb, mens middelvandføringerne i gennemsnit er 1,75 gange større. Der er lavere frekvens og kortere varighed af afstrømningshændelser i vestdanske vandløb. Udsvingene i vandføringen er også mindre, og forudsigeligheden er større.

Store vandløb

Clusteranalysen viser, at der findes en gruppe af stabilt strømmende store vandløb i den vestlige og centrale del af Jylland, en gruppe af store vandløb med moderat stabile strømningsregimer i det sydlige Jylland og endelig en gruppe af store vandløb på øerne med ustabile strømningsregimer (figur 5.4). Det fremgår af tabel 5.2, at de store afstrømningshændelser optræder med større hyppighed og i længere perioder på øerne. De små vandføringer er mere ekstreme (set i forhold til medianvandføringen), men også af kortere varighed på øerne. Endelig er der mindre regelmæssighed (PRE er mindre) i vandføringen på Sjælland.

Tabel 5.1 Gennemsnit af udvalgte strømningsøkologiske parametre i små vandløb med henholdsvis stabilt og ustabil strømningsregime.

Table 5.1 Average of selected flow-ecological parameters in small water courses with stable and unstable stream regimes respectively.

	Små vandløb	
	Stabilt strømningsregime (primært vestdanske vandløb)	Ustabilt strømningsregime (primært østdanske vandløb)
Topografisk opland	82 km ²	59 km ²
Middelvandføring	717 l s ⁻¹	406 l s ⁻¹
Frekvens af overskridelse af 7 gange medianvandføring (Fre7)	1,4 gange pr. år	4,9 gange pr. år
Gennemsnitlig varighed af mere end 7 gange medianvandføring (dur7)	1,9 døgn	6,5 døgn
Frekvens af underskridelse af medianminimum	2,2 gange pr. år	2,2 gange pr. år
Gennemsnitlig varighed af underskridelse af medianminimum	10,1 døgn	6,7 døgn
Medianmaksimum divideret med medianvandføring	6,7	18,8
Medianminimum divideret med medianvandføring	0,38	0,12
Forudsigelighed (PRE)	0,65	0,47

Table 5.2 Gennemsnit af udvalgte strømningsekologiske parametre i store vandløb med henholdsvis stabile, moderat stabile og ustabile strømningssystemer.

Table 5.2 Average of selected flow ecological parameters in large water courses with stable, moderately stable and unstable flow regimes, respectively.

	Store vandløb		
	Stabile strømningssystemer	Moderat stabile strømningssystemer	Ustabile strømningssystemer
	(Nordvestlige Jylland)	(Midt og sydlige Jylland)	(Øerne)
Topografisk opland	834 km ²	394 km ²	473 km ²
Middelvandføring	11,3 m ³ s ⁻¹	5,4 m ³ s ⁻¹	4,1m ³ s ⁻¹
Frekvens af overskridelse af 7 gange medianvandføring (Fre7)	0 gange pr. år	0,2 gange pr. år	1,5 gange pr. år
Gennemsnitlig varighed af mere end 7 gange medianvandføring (dur7)	0 døgn	1,1 døgn	6,7 døgn
Frekvens af underskridelse af medianminimum	2,1 gange pr. år	1,5 gange pr. år	2,2 gange pr. år
Gennemsnitlig varighed af underskridelse af medianminimum	10,1 døgn	13,0 døgn	6,3 døgn
Medianmaksimum divideret med medianvandføring	2,7	5	7,7
Medianminimum divideret med medianvandføring	0,61	0,41	0,25
Forudsigelighed (PRE)	0,77	0,70	0,59

5.5 Sammenfatning

Parametrenes indbyrdes sammenhæng

Der er i kapitel 5 introduceret en række parametre, der beskriver strømningssystemer, og som i udlandet har fundet anvendelse som indikatorer af økologiske forhold. Parametrenes indbyrdes sammenhæng er undersøgt (Clausen 2000b), og der viser sig at være god overensstemmelse mellem danske og newzealandske resultater på trods af landenes store forskellighed hydrologisk set.

Strømningsekologiske parametre og smådyrsfauna

Resultater af en korrelationsanalyse mellem strømningsekologiske parametre og Dansk Vandløbsfaunaindeks viser klart, at den biologiske vandløbskvalitet generelt er dårligst i vandløb med den største variation i vandføringen. Det vides ikke om korrelationen skyldes at variationen i vandføringen har betydning for smådyrsfaunaen eller om den skyldes andre faktorer, der både er korrelerede med strømningssystemer og den biologiske vandløbskvalitet. Dette kan f.eks. være tilfældet med koncentrationen af organisk stof. De strømningsekologiske parametre er tæt indbyrdes korrelerede, og det er usikkert hvilke variable, der i givet fald har mest betydning for vandløbets økologi. Der er derfor behov for mere detaljerede analyser af sammenhænge mellem strømningsekologiske parametre og smådyr i vandløbet.

Hydrologiske regimer

Gruppering af vandløb i forhold til de økologiske parametre viser ikke overraskende, at der er store forskelle mellem strømningssystemerne i det østlige og vestlige Danmark.

6 Afstrømningsfordeling og vandbalance

I forbindelse med udarbejdelsen af denne rapport er der foretaget en kortlægning af middel-, medianminimum- og medianmaksimumafstrømningsfordeling i Danmark. Kortene findes som indstik bagest i rapporten. Der er ikke tidligere foretaget en kortlægning af afstrømningsfordelingen for hele landet. Dette kapitel beskriver de metoder og data, der danner grundlag for denne kortlægning. De resultater, som kortene repræsenterer, er kort beskrevet og analyseret. Endvidere gives en oversigt over metoder og resultater for opgørelsen af ferskvandstilstrømningen til de danske kystafsnit. Vandbalancen for Danmark er kort beskrevet og opgjort, herunder nedbør og fordampning.

6.1 Kortlægning af afstrømningsfordelingen i Danmark

Metode til kortlægning af afstrømningsfordeling

Kortlægning af afstrømning ved interpolation er komplekst og indebærer både teoretiske og praktiske problemer. Udarbejdelse af afstrømningskort kan foretages under anvendelse af mange forskellige metoder (*Arnell & Gottschalk, 1993*). Kortlægning af afstrømningsfordeling kan foretages ved hjælp af data fra afstrømningsstationer og udtegnning af isohydaters, der er linier gennem punkter med samme afstrømning. Kortlægningen kan enten ske manuelt eller automatisk, f.eks. ved hjælp af GIS. Data for nedbørsfordeling kan anvendes som supplerende datainput. Afstrømningskortlægning direkte på basis af data fra målestationer, evt. kombineret med data for nedbørsfordeling kan give et bedre resultat end ved modellering på baggrund af data for jordtype, arealanvendelse og klimatiske data (*Bishop et al., 1998*). Valg af metode vil afhænge af det foreliggende datagrundlag.

GIS-interpolation på basis af data fra 243 målestationer

Kortlægning af årsmiddelaflstrømningsfordeling for Danmark er her foretaget ved udtegnning af isohydaters på basis af værdier af årsmiddelaflstrømning fra målte oplande. Interpolationen er gennemført, således at data for hvert opland er behandlet som punktværdier for målestationen. Denne metode medfører en fejl i kortlægningen, idet afstrømningsdata repræsenterer et arealmæssigt gennemsnit. Den relativt store tæthed i stationsnettet medfører, at fejlen på fordelingsfastsættelsen vurderes at være af mindre betydning for kortlægningen.

Kortlægningen er udarbejdet ved hjælp af en GIS-interpolationsmodel (*ESRI 1996*), og modelleringen er foretaget for perioden 1971 til 1998 på basis af vandføringsdata fra 243 målestationer. 34 af målestationerne har været i uafbrudt drift siden 1971 (referencestationer). Data for de øvrige stationer, der alle har en uafbrudt driftperiode på 10 år eller mere i perioden 1971-98, er korrigeret i forhold til referencestationerne. Der er til hver station udvalgt en referencestation, og korrektionen er foretaget ved at relatere mellem den enkelte stations

middelafstrømning for måleperioden med den tilsvarende middel for referencestationen.

Ca. 55 % af landets areal er målt

Oplandene til målestationerne dækker tilsammen ca. 55 % af landets areal. Det er overvejende de kystnære områder, der ikke er målt, og datagrundlaget er således ringe i disse områder. Modellen foretager derfor en form for ekstrapolation, og kortlægningen er derfor mest usikker i de kystnære områder. Især for øer uden målestationer er modelberegningen meget usikker, da der for disse øer foretages ekstrapolation af data fra målte oplande, der kan ligge i betydelig afstand og kan have væsentlig anderledes vandbalanceforhold. Dette gælder bl.a. Læsø, Anholt, Samsø, Mors, Fanø og Rømø.

I de vandløbssystemer, hvor der er mere end en målestation, er der foretaget en opsplitting af afstrømningen mellem de opstrøms beliggende stationsoplande og de nedstrøms beliggende. Det er således afstrømningen fra de enkelte deloplande, der er basis for kortlægningen.

Stationer med et opland på mindre end 30 km² er ikke anvendt til fastlæggelsen af afstrømningsfordelingen. Stationer i små oplande er valgt fra, idet der i visse tilfælde optræder relativt ekstreme værdier f.eks. på grund af lokale forhold for grundvandstilstrømning og spildevand. Endvidere er der en større relativ usikkerhed på afstrømningsberegninger for små oplande (jf. kapitel 2 og bilag 2). Der er også afvigelser mellem topografisk opland og grundvandsopland for stationer med større oplandsareal, men afvigelserne vil her være relativt mindre. Samtidig vil stationer med større oplande repræsentere regionalt udbredte forhold, som netop er søgt præsenteret og analyseret med denne kortlægning.

Kortene C og D, der viser fordelingen af henholdsvis medianminimumafstrømningen og medianmaksimumafstrømningen i Danmark, er udarbejdet efter samme metode som kortet for årsmiddelafstrømningens fordeling (kort B), og der er anvendt data fra de samme 243 målestationer.

Usikkerhed på afstrømningskortlægningen

Usikkerheden på fastsættelsen af maksimum- og minimumfordelingerne er større end for middelafstrømningen, idet den relative usikkerhed for ekstremværdierne ved de enkelte målestationer er større end for middelværdierne (jf. kapitel 4). Især på medianmaksimumafstrømningen er der betydelig usikkerhed ved sammenligning og interpolation, idet målestationernes forskelle i oplandsareal vil afspejle forskellige forsinkelser i en flom-begivenhed, og dermed også forskellige maksimumniveauer. I små vandløb kan forholdene være mere ekstreme, så lokalt kan der optræde store afvigelser i forhold til kortene. Kortlægningen vurderes alligevel at give et godt overblik over den regionale fordeling af minimum- og maksimumafstrømningen i Danmark.

Middelafstrømning

Middelafstrømningen er som gennemsnit for Danmark ved hjælp af modellen opgjort til 10,1 l s⁻¹ km⁻² svarende til 318 mm pr. år, men der er betydelige variationer i de forskellige dele af landet. De laveste

værdier findes overvejende på Sjælland og Lolland-Falster, hvor det generelle niveau ligger mellem 4 og 8 l s⁻¹ km⁻² svarende til 125 - 250 mm pr. år med et gennemsnit på 192 mm. Der er områder i det centrale Sjælland, f.eks. oplandet til den nedre del af Susåen og i et mindre område i Nordsjælland, hvor middelfafstrømningen er omkring 300 mm, hvorimod den i området omkring København kun er ca. 100 mm.

På Fyn er middelfafstrømningen mellem 6 og 9 l s⁻¹ km⁻² svarende til 190 og 280 mm pr. år, og den gennemsnitlige middelfafstrømning er opgjort til 238 mm. På Bornholm er middelfafstrømningen mellem 7 og 9 l s⁻¹ km⁻² svarende til 220 og 280 mm pr. år med et gennemsnit på 249 mm.

I Jylland er middelfafstrømningen mellem 6 og 20 l s⁻¹ km⁻² svarende til 190 og 630 mm pr. år med et gennemsnit på 368 mm. De laveste værdier findes i de østlige dele af Jylland, hvor nedbørsmængden også er lavest (kort E), og hvor fordampningen er størst (kort F). Endvidere er afstrømningen relativ lav i et større område i det centrale Jylland. De største afstrømningsværdier findes i Vestjylland og Sydvestjylland samt i et område, der strækker sig fra Viborg ned over Silkeborg mod Vejle og Haderslev.

Middelfafstrømning og medianminimum for perioden 1971 til 1998 er ved hjælp af modellen opgjort som middel for hele landet og amtsvis. Resultaterne fremgår af tabel 6.1.

Tabel 6.1 Middelfafstrømning og middel af medianminimum opgjort for hvert amt samt middel for Danmark.

Table 6.1 Mean runoff and mean median minimum calculated for each county and for Denmark as a whole.

Amt	Middelfafstrømning		Medianminimum
	mm	l s ⁻¹ km ⁻²	l s ⁻¹ km ⁻²
Nordjylland	305	9,7	3,4
Viborg	361	11,5	5,9
Århus	289	9,2	3,6
Ringkøbing	442	14,0	6,9
Frederiksborg	173	5,5	1,4
Vejle	386	12,2	4,8
Vestsjælland	203	6,4	0,7
København	122	3,9	0,5
Ribe	460	14,6	6,2
Roskilde	167	5,3	0,3
Københavns Amtskommune	148	4,7	0,3
Fyn	238	7,6	1,2
Bornholm	249	7,9	0,1
Sønderjylland	391	12,4	3,2
Storstrøm	208	6,6	0,2
Danmark	318	10,1	3,5

Middelfafstrømningen for hele landet er ved hjælp af kortlægningen beregnet til 318 mm for perioden 1971-98. Opgørelser af middelfafstrømningen fra Danmark til havet, der foretages hvert år som led i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram jvf. afsnit 6.2, giver en middelfafstrømning fra Danmark på 323 mm for den samme periode (Bøgestrand, 1999). Der er således på landsplan en særdeles god overensstemmelse mellem resultaterne af den her anvendte model og tallene fra de hidtidige årlige opgørelser.

Årsager til middelfafstrømningens fordeling i Danmark

De regionale variationer i årsmiddelfafstrømning (kort B) afspejler i store træk tilsvarende variationer i nedbør (kort E) og fordampning (kort F), men også andre faktorer, især grundvandstilstrømning og vandindvinding, har afgørende indflydelse på fordelingen. Den forholdsvis lave afstrømning på Sjælland har sammenhæng med en relativ høj fordampning og med lav nedbørmængde sammenlignet med gennemsnittet for landet. Derimod kan den meget lave afstrømning i området omkring København ikke alene tilskrives lavere mængder nedbør eller større fordampning end i resten af Sjælland. Det er den betydelige grundvandsindvinding, der medfører, at tilstrømningen til vandløbene er reduceret betydeligt. Tilsvarende er afstrømningen påvirket af vandindvinding i områderne omkring mange af de øvrige større danske byer.

Afviigelser mellem topografisk opland og grundvandsopland har i mange områder stor betydning for afstrømningen

Der er et område i det centrale Jylland, hvor årsmiddelfafstrømningen er lavere end i det omkringliggende område, og som ikke afspejler en tilsvarende fordeling i nedbørmængden. Det karakteristiske afstrømningsmønster er forårsaget af, at der er betydelige forskelle i målestationernes topografiske oplande og deres grundvandsoplande, et forhold der optræder mange steder langs israndslinien i Jylland. Det centrale område med relativ lav afstrømning udgøres overvejende af de store, sandede hedesletter. En væsentlig del af den nedbør, der falder her, strømmer ikke umiddelbart til de nærmeste vandløb. I stedet strømmer det via store, regionale grundvandsmagasiner med stor vandledningsevne enten mod øst til de øverste dele af de vandløb, der strømmer mod østkysten eller mod vest til de nedre dele af de vandløb, der strømmer mod vestkysten. Det er således i disse "tilstrømningsområder", der modtager ekstraordinært meget grundvand, at middelfafstrømningen er størst. I enkelte områder er middelfafstrømningen mere end $20 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, hvilket svarer til ca. 630 mm pr. år. I de områder, hvor middelfafstrømningen er større end $17\text{--}18 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, svarende til omkring 550 mm pr. år, er det med stor sandsynlighed forårsaget af et sådant "ekstraordinært" grundvandstilskud.

Medianminimumafstrømning

Der er særdeles stor forskel i medianminimumafstrømningen mellem de forskellige dele af landet, (kort C), og forskellene er større end for årsmiddelfafstrømningen. På Sjælland og Lolland-Falster er niveauet mellem $0,05$ og $3 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ med et gennemsnit på $0,6$. De laveste værdier findes overvejende på det østlige Sjælland og på Lolland Falster, og de højeste findes i et større område i Nordsjælland og i mindre områder på Midt- og Vestsjælland f.eks. i en del af oplandet til Susåen.

På Bornholm er medianminimumafstrømningen meget lav med et gennemsnit på $0,1 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ og varierer mellem $0,03$ og $0,2 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. På Fyn ligger medianminimumafstrømningen mellem $0,5$ og $2 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ med et gennemsnit på $1,2$.

I Jylland varierer medianminimumafstrømningen mellem ca. $0,6 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ i området omkring Århus og $10 - 12 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ i visse områder i Midt- og Vestjylland. I et enkelt område vest for Silkeborg når den helt op på ca. $18 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. De laveste værdier findes i det østjyske område bortset fra Djursland og i mindre områder i Nordjylland. Endvidere har et område i Midtjylland, der indeholder oplande til de øvre dele af de mod vest løbende vandløb, lavere medianminimumafstrømning end de omkringliggende områder. Betydningen af afvigelser mellem topografiske vandskel og grundvandsskel som beskrevet for årsmiddelfafstrømningen har en tilsvarende indflydelse på mønstret i medianminimum.

Særdeles store forskelle på medianminimum i de forskellige dele af landet

Der er groft regnet omkring en faktor 10 til forskel mellem medianminimumafstrømningen i det vestlige og det østlige Danmark. Den altovervejende årsag til dette er, at der er tilsvarende store forskelle i jordtyper og grundvandsmagasiner. Vandindvinding kan lokalt have en stor betydning, og klimaforskelle har en mindre indflydelse på fordelingen.

I perioder uden nedbør, hvor vandløbsafstrømningen naturlig nok også er lav, er grundvandsforhold og sammenhængen mellem vandløb og grundvandsmagasiner helt afgørende for afstrømningsniveauet. Det er derfor ikke uventet, at de laveste værdier findes på de lerede jorde som f.eks. i Østjylland, store dele af Fyn og Sjælland samt på Lolland-Falster. På Bornholm medfører bjergarterne i undergrunden, at grundvandsmagasinerne kan være særdeles ringe udbredt. Her er minimumafstrømningen også særdeles lav, og mange af de bornholmske vandløb tørrer helt ud om sommeren.

Medianmaksimumafstrømning

Medianmaksimumafstrømningen varierer også meget i de forskellige dele af landet (kort D). På Sjælland og Lolland-Falster ligger niveauet mellem 15 og $65 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. De største værdier findes på Sydsjælland og på Lolland-Falster, og de laveste findes i det nordsjællandske område. På Fyn er niveauet mellem 25 og $60 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$.

På Bornholm er maksimumafstrømningen særdeles stor. På den nordlige del af øen, hvor grundfjeldet danner jordoverfladen, kan nedbøren ikke sive ned og afstrømmer derfor meget hurtigt til vandløbene. Her findes ikke overraskende landets største medianmaksimumafstrømning, der er omkring $140 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$.

I Jylland varierer medianmaksimum mellem 15 og $100 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Der er store områder i bl.a. Midtjylland og Himmerland, hvor medianmaksimum ikke er større end 20 til $30 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, hvilket kun er lidt højere end niveauet for medianminimum i nærliggende områder. I Østjylland og den østlige del af Sydjylland er medianmaksimumafstrømningen stor mellem 70 og $100 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, og bortset fra på Bornholm er det her landets største værdier findes. Dette forhold må til-

skrives, at der i disse områder er meget kuperede forhold, og at de øverste jordlag generelt er meget lerede og næsten impermeable. Landskabet er præget randmoræneaflejringer fra sidste istid.

Klar sammenhæng mellem medianmaksimum afstrømning og jordtype

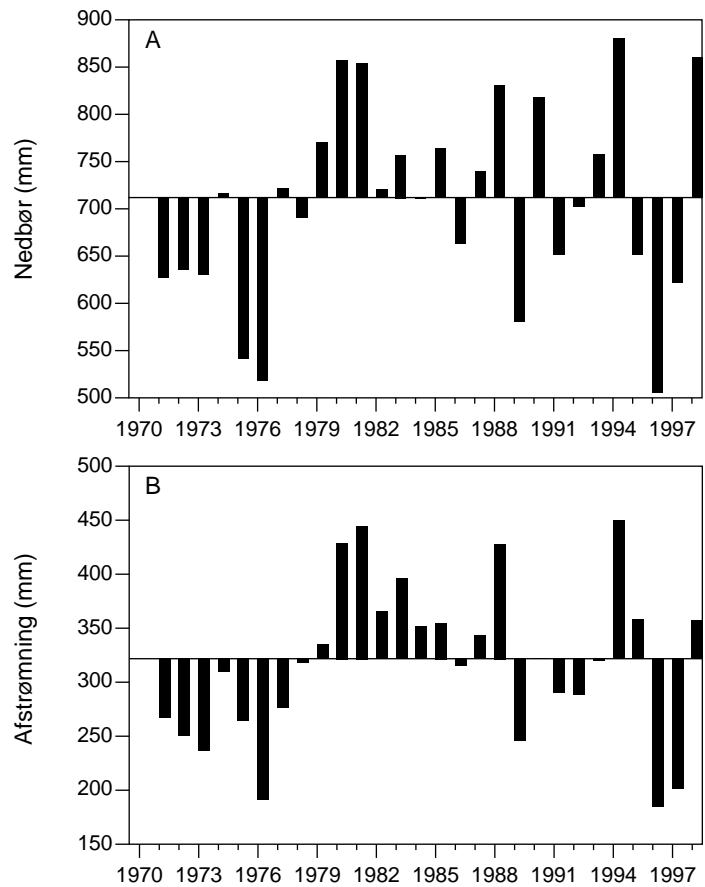
Der er, som det fremgår af ovenstående, en meget tydelig sammenhæng mellem jordart (Pedersen, 1989) og medianmaksimum. I områder med sandede jordarter kan nedbøren sive ned, og der sker en forsinkelse af tilstrømningen til vandløbene, og medianmaksimum bliver derfor lav. I områder med lerede jordarter kan nedbøren ikke sive så hurtigt ned, og der sker kun en mindre forsinkelse af tilstrømningen til vandløbene, og medianmaksimum bliver derfor meget høj. Områder, der er dækket af skov, vil have en reduceret maksimumafstrømning. Befæstede byområder, hvor regnvand hurtigt ledes til vandløbene via kloaksystemerne, vil medvirke til en forøget maksimumafstrømning.

6.2 Ferskvandstilstrømning til danske farvande

Ferskvandsafstrømningen til danske marine kystafsnit er opgjort til de 49 2. ordens farvandsområder (Ovesen & Svendsen, 1995) på månedsbasis siden 1991, og på årsbasis fra 1971 for de 9 1. ordens farvandsområder samt på månedsbasis fra 1981. Opgørelserne er siden 1991 foretaget på baggrund af daglig middelvandføring ved ca. 100 vandføringsstationer og er opgjort på basis af de 67 nedbørsområder, som landet er opdelt i (Techt-Hansen, 1925). Afstrømningen er efterfølgende opgjort til hvert 2. ordens kystafsnit. For umålte oplande er afstrømningen beregnet ved arealproportionering ud fra referencemålestation i samme vandløbssystem, alternativt i samme nedbørsområde. Nærmere beskrivelse af metoder til opgørelser findes i Høybye, 1991 og Ovesen & Svendsen, 1995.

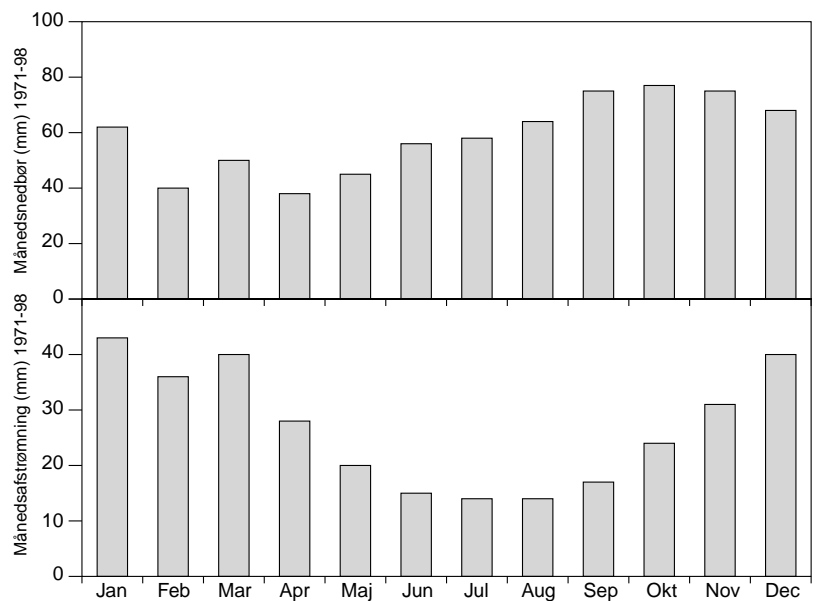
Fra hele Danmark afstrømmer der i gennemsnit en vandmængde på ca. 14 mia. m³ pr. år, hvilket svarer til 320 millimeter (figur 6.1). I meget tørre år som f.eks. 1976 og 1996 kan afstrømningsmængden være mindre end 200 mm (190 mm i 1996), og i år med megen nedbør og derfor også stor vandløbsafstrømning som f.eks. 1981 og 1994 er mængderne mere end 400 mm (455 mm i 1994).

Afstrømningsniveauet er normalt lavest i perioden juli–august (figur 6.2.), og det er i denne periode, at medianminimumsituationen oftest opstår, og mange af de små vandløb i de øvre dele af vandløbssystemerne risikerer at tørre ud. Afstrømningen til de danske farvande er i gennemsnit ca. 3 gange større om vinteren end om sommeren, men der er meget store forskelle i årstidsvariationerne for de forskellige dele af landet jvf. afsnit 6.1.



Figur 6.1 Årsafstrømning og målt årsnedbør for Danmark for 1971-98 angivet i forhold til middel for perioden.

Figure 6.1 Annual runoff and measured annual precipitation in Denmark for the period 1971-98 relative to the period average.



Figur 6.2 Månedsafstrømning og månedsnedbør for Danmark som middel for perioden 1971-98.

Figure 6.2 Monthly runoff and monthly precipitation for Denmark as an average for the period 1971-98.

Afstrømning fra umålte oplande opgøres normalt ved arealproportionering

Den største usikkerhedsfaktor i opgørelsen af ferskvandsafstrømningen er den generelle antagelse om arealproportionering fra målte til umålte oplande jf. afsnit 6.1. Da alle målestationer er lokaliseret i en vis afstand fra kysten, er det afstrømningen fra de kystnære områder, der ikke bliver registreret. Idet den generelle grundvandsbevægelse er fra højere mod lavere beliggende områder og således mod kysterne, kan det antages, at dette betinger en relativ højere specifik afstrømning fra de kystnære områder. Endvidere kan der ske en generel underestimering af afstrømningen, hvis der sker en udsivning af fersk grundvand i havbunden ud for kysterne. Dette forhold er ikke undersøgt, men er uden tvivl almindeligt forekommende. Omvendt er der generelt en negativ gradient i nedbørsmængden i retning mod kysten, og dette forhold vil betinge en mindre afstrømning fra de kystnære områder. Der er således usikkerhedsfaktorer, der trækker i hver sin retning med hensyn til afstrømningen fra de umålte oplande langs kysterne. Tidligere undersøgelser (*Høybye, 1991*) dokumenterer, at arealproportionering kan anvendes, men datagrundlaget er ikke så omfattende. F.eks. er metoden ikke undersøgt for år med ekstreme vandbalanceforhold, hvor problemet kan være af større betydning.

Ny regressionsmodel til estimering af afstrømning på basis af geografiske data

Der arbejdes med at undersøge mulighederne for en forbedret opgørelse af afstrømningen fra de umålte oplande (*Müller-Wohlfeil et al. 1999*). Metoden bygger på afstrømningsmodellering på grundlag af GIS-data for bl.a. nedbør, fordampning, arealanvendelse, jordtyper og geologi, grundvandsstand, oppumpning og topografi. Hensigten med modellen er at kunne opgøre både vand- og næringsstofafstrømningen på landsplan og for regionale områder på års- og månedsniveau.

6.3 Nedbør og fordampning

Nedbør i Danmark 1971-98

Nedbørsfordelingen for perioden 1971-98 er beregnet for Danmark ud fra nedbørsdata fra 300-500 målestationer og 10 gange 10 km griddata ved anvendelse af en GIS interpolationsrutine (kort E, data fra *Frich et al., 1997* og *Danmarks Meteorologiske Institut, 2000*). Nedbøren er korrigeret for primært vindeffekt og wettingtab, som beskrevet i *Allerup et al. (1998)*. Korrektionen betinger, at den målte nedbør i gennemsnit på årsplan skal forøges med 21 %, mest når det blæser kraftigt, og nedbøren falder som sne, og når nedbørsmåleren står med dårlige læforhold.

Nedbøren falder ujævnt fordelt over Danmark trods landets beskedne størrelse. Den største del af nedbøren falder i forbindelse med frontpassager, der ofte kommer fra retninger mellem sydvest og nordvest og bevæger sig østover. Når en front når ind over land, vil en kombination af friktion med landoverfladen og hævnning af luftmasserne grundet topografi (orografiske effekt) medføre, at den sydvestlige og vestlige del af Jylland og andre områder med høj topografi i Jylland får mest nedbør. Endvidere vil der over de højere partier af øerne (Fyn, Sjælland og ikke mindst Bornholm) også falde større mængder orografisk nedbør. En del af frontens fugtighed mistes, når det regner, så nedbørsintensiteten ofte falder fra vest mod øst. Herudover giver frontnedbør lave nedbørsmængder over Storebæltsområdet (læeffekt og ringe friktion) samt de mindre øer i de indre dan-

ske farvande. Fronterne kan også komme fra andre retninger, men dette påvirker ikke den overordnede nettonedbørsfordeling. Oven i frontnedbørsmønstret vil der i sommerhalvåret grundet lokal opvarmning specielt med ustabile luftmasser kunne dannes tordenbyger med lokalt store nedbørsmængder inde over land.

Det samlede mønster for Danmark bliver, at nettonedbøren i den midterste del af Sønderjylland og generelt i Sydvestjylland 30-50 km fra Vestkysten har været mellem 1.000 og 1.150 mm i perioden 1971-98, mens Storebæltsregionen, Lolland-Falster og dele af Djursland kun får fra 550 til 700 mm eller ca. det halve.

Fordampningen i Danmark 1971-98

Fordampningen et givent sted vil bl.a. afhænge af nettonedbørens størrelse og fordeling hen over året, jordtype og jordfugtighed, vegetation, klimaforhold mv. Fordampningens fordeling i Danmark i perioden 1971-98 er beregnet som den potentielle fordampning jvf. *Mikkelsen & Olesen (1991)* (modificeret Penman-metode) og er baseret på data fra 40 x 40 km grid (*Danmarks JordbrugsForskning, 1998* og *Danmarks Meteorologiske Institut, 2000*) med en efterfølgende GIS-interpolationsrutine (kort F). Der er ikke de store variationer i den potentielle fordampning i Danmark, hvor der i Sydvestjylland i gennemsnit fordamper godt 500 mm pr. år, mens der på Øerne er en fordampning på op til 600 mm med maksimum på Lolland-Falster og på Bornholm. Den aktuelle fordampning vil typisk være mindre end den potentielle fordampning, selv om den modificerede Penman-metode i et vist omfang tager højde for de aktuelle vejrforhold. Men er jordene udtørrede vil den potentielle fordampning være et overestimat i forhold til den aktuelle fordampning. Omvendt vil den såkaldte oaseeffekt i forbindelse med åbne vandflader kunne give større aktuel fordampning end den beregnede potentielle fordampning.

6.4 Det hydrologiske kredsløb

Nedbør, fordampning og vandløbsafstrømning udgør de vigtigste dele af det hydrologiske kredsløb. Hertil kommer de vandmængder, der indvindes til vandforsyning og markvanding, og som dermed fjernes fra det naturlige kredsløb. Vandløbsafstrømningen stammer fra grundvand, vand fra den umættede zone herunder eventuelt drænvand, vand der afstrømmer overfladisk på marker, veje og byer samt regn- og spildevandsudledninger. En mindre andel af det indvundne vand vil komme tilbage til vandløbene i form af spildevand og i forbindelse med markvanding. Endvidere vil en del af grundvandet kunne strømme direkte i havet ved kysterne.

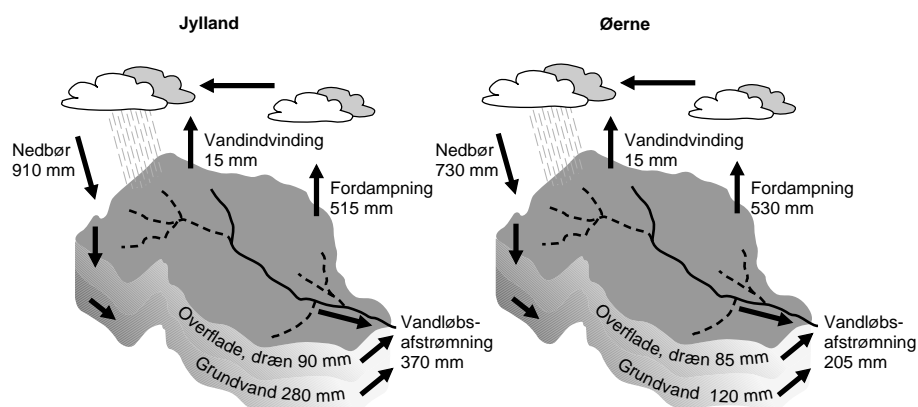
En overordnet betragtning af det hydrologiske kredsløb i Danmark, her præsenteret som vandbalancen opdelt på hhv. Jylland og Øerne for perioden 1971-98 (fig. 6.3) viser, at der selv i et lille land som Danmark er store regionale forskelle. I Jylland er nedbørsmængden ca. 25 % større end på Øerne, den potentielle fordampning er lidt mindre, men vandløbsafstrømningen er næsten dobbelt så stor. I Jylland strømmer i gennemsnit langt det meste vand fra grundvandet til vandløbene, hvorimod der på Øerne er en mere ligelig fordeling mellem grundvand og overfladevand. Opgørelsen af fordelingen mellem grundvand og overfladevand (figur 6.3) er foretaget på bag-

grund af gennemsnitlige baseflow-indeks jf. kapitel 4 og tabel i bilag 7. Da alle de enkelte parametre i vandbalancen, som er angivet på figur 6.3 er opgjort uafhængigt af hinanden, går ligningen ikke helt op.

Vandbalancen kan opgøres ved at summen af fordampningen og afstrømningen skal modsvare nedbørmængden ($N = F + A$), idet det antages, at grundvandsmagasinerne er konstante over en længere tidsperiode. En alternativ beskrivelse af afstrømningen fås således ved over en lang tidsperiode at trække fordampningen (F) fra nedbøren (N). Der viser sig også at være meget god overensstemmelse på landsplan mellem den beregnede vandbalance ($N - F$) og den beregnede afstrømning i perioden 1971-98 (se tabel 6.2).

Kortlægning af vandbalancen – store regionale variationer

Kortlægningen af vandbalancen for hele landet (kortbilag G) viser, at der er mange områder, hvor vandbalancen ikke går op. Dette kan især skyldes grundvandsbevægelse på tværs af topografiske vand-skel, således nogen områder tilføres ekstra meget grundvand på bekostning af andre områder. Disse forhold er specielt udpræget i det centrale Jylland, og at det er betydelige vandmængder fra store områder der strømmer på tværs af oplandgrænserne, fremgår af kortet bilag G. Vandindvinding vil også påvirke vandbalancen, og dette kan f.eks. ses i området omkring København. Vandbalancen, som den er opgjort i denne kortlægning er forbundet med en del usikkerhed på de enkelte parametre. De mest betydende faktorer er, at den potentielle fordampning ikke svarer til den aktuelle, og at afstrømningsmængden er usikkert bestemt for en del af landet jf. 6.1.



Figur 6.3. Det hydrologiske kredsløb med værdier for vandbalancen for perioden 1971-98 opdelt på hhv. Jylland og Øerne. De enkelte parametre er opgjort uafhængigt.

Figure 6.3 The hydrological circuit including values for the water balance for the period 1971-98 in Jylland and on the Danish islands. The individual parameters have been calculated independently.

Forsinkelse i den hydrologiske respons

Der optræder en større eller mindre forsinkelse i det hydrologiske kredsløb, og når vandbalancen betragtes kvantitativt og især over kortere perioder, må ændringer i vandindhold i jord- og grundvandsmagasiner tages i betragtning. I en periode med ringe nedbør og gode fordampningsbetingelser vil der ske en reduktion i vandmagasinernes indhold, og tilsvarende vil mængden øges i perioder med megen nedbør. Sådanne udsving i magasinernes indhold betyder, at afstrømningens respons på nedbøren forsinkes, og variationer redu-

ceres. Dette vil især have stor betydning i områder, hvor der er en stor andel af grundvand i det vand, der strømmer til vandløbene. Denne forsinkelseffekt kan have ret stor betydning ved opgørelser af vandbalancen på årsbasis. $N - F$ må således i tørre år, hvor der sker en reduktion i grundvandsmagasinerne, forventes at underestimere den faktiske afstrømning (specielt med flere tørre år i træk). Omvendt vil der i løbet af et eller flere våde år ske en opbygning af grundvandsmagasinerne, således at $N - F$ vil overestimere den faktiske afstrømning. (figur 6.1 og tabel 6.2).

Tabel 6.2 Årsmiddelværdier for temperatur, målt nedbør, beregnet potentiel vandbalance (korrigeret nedbør minus beregnet potentiel fordampning) samt ferskvandsafstrømningen. Desuden er angivet vinterværdier (middel for december foregående år til marts) for nedbør og afstrømning.

Table 6.2 Annual mean values for temperature, measured precipitation, calculated potential water balance (corrigated precipitation minus calculated potential evaporation) as well as fresh water runoff. Winter values are also shown (December average previous year until March) for precipitation and runoff.

Periode	Temperatur	Nedbør		Vandbalance	Afstrømning		
	År °C	År mm	Vinter mm	Potentiel mm	År mm	År 10 ⁶ m ³	vinter mm
1989	9,2	581	210	131	241	10800	133
1990	9,3	812	271	420	315	14000	151
1991	8,2	654	197	317	296	12700	154
1992	9,0	706	208	280	294	12600	129
1993	7,6	758	199	413	325	14000	155
1994	8,7	880	360	524	455	19600	259
1995	8,2	652	337	245	363	15600	246
1996	6,8	505	70	129	190	8200	68
1997	8,5	622	153	244	207	8900	104
1998	8,2	860	243	561	362	15600	136
1989-98	8,4	703	224	326	305	13100	136
1971-98	7,9	706	210	334	322	13900	159

6.5 Menneskelig påvirkning af afstrømningen

Det hydrologiske kredsløb i Danmark påvirkes bl.a. af vandindvinding, dræning, kloakering og vandløbsreguleringer. Vandindvindingen er umiddelbart den vigtigste faktor, idet den i dele af landet har en meget stor indvirkning på afstrømningen. Dette gælder især i sommerhalvåret. Vandindvindingen kan opdeles i indvinding til markvanding og vandforsyning til husholdning og industri.

Vandindvinding kan lokalt have stor indflydelse på vandbalancen

Den årligt indvundne vandmængde svarer til ca. 20 mm på landsplan gennem de seneste år (*Jacobsen et al. 1995*). Den geografiske fordeling af vandindvindingen er meget ujævn med oppumpning til vandforsyning koncentreret omkring de større byer og indvinding til markvanding overvejende koncentreret i det midt- og vestjyske område, hvor jorden er sandet og kun er i stand til at tilbageholde vand i kort tid i vækstperioden.

Geologien i det enkelte opland er af stor betydning for, hvordan vandindvindingen kan påvirke vandløbsafstrømningen. Hvis indvindingen sker fra dybtliggende, artesiske (spændte) grundvandsmagasiner, vil påvirkningen fordele sig jævnt over året, også selv om indvindingen er til markvanding og primært sker i sommerperioden. Hvis indvindingen derimod sker fra overfladenære grundvandsmagasiner med frit vandspejl, kan responsen i vandløbet ske meget hurtigt i løbet af få dage eller uger, også selvom borerne er placeret et godt stykke fra vandløbet. Herved øges risikoen for udtørrede vandløb i sommerperioden.

Den ujævne geografiske fordeling af vandindvindingen medfører, at en stor del af de danske vandløb ikke er nævneværdigt påvirkede, hvorimod nogle er særdeles kraftigt påvirkede og evt. tørrer ud om sommeren på grund af indvindingen.

Fysiske indgreb i oplandet medfører ændret respons på nedbør

Dræning og tilledning af vand fra befæstede arealer samt udretning af vandløb har medført at vand i f.eks. byområder hurtigt ledes til vandløb. Dette resulterer i mere ekstreme afstrømningsforhold med både meget høje og meget lave vandføringer. For Skjern Å viser en analyse af afstrømningens respons på nedbør, at åen efter udretninger og dræning af vandløbsnære arealer op til midten af 1960'erne nu reagerer en dag hurtigere end før (Svendsen og Hansen, 1997). Det samme gælder også skovvandløb, hvor der i mange kulturskove er sket en grøftning.

Udretning af vandløb og hårdhændet vedligeholdelse har ligeledes betydet, at bufferkapaciteten i vore ådale ikke udnyttes, idet regulerede vandløb sjældent oversvømmer de vandløbsnære arealer. Dette er også med til at give mere ekstreme afstrømningsforhold end i naturlige vandløb.

6.6 Sammenfatning

Middelaftømning - fordeling i Danmark

For Danmark som gennemsnit er den årlige middelaftømning opgjort til 10,1 ls-1km² svarende til 318 mm. I de østlige dele af landet ligger middelaftømningen omkring 200 mm pr. år, og i nogen delområder er den kun 100 mm. I de vestlige dele af landet er middelaftømningen omkring 400 mm pr. år. I dele af Midt- og Sydjylland er niveauet omkring 600 mm. De betydelige forskelle i afstrømningsmængderne er betinget af forskelle i nedbør og fordampning samt i regionale grundvandsstrømninger og vandindvinding. I år med små nedbørsmængder, som f.eks. 1976 og 1996, kan årsmiddelaftømningen være mindre end 200 mm, og i år med nedbørsrige år, som f.eks. 1981 og 1994 kan den komme op over 450 mm.

Ekstremafstrømning - fordeling i Danmark

Minimumafstrømningen udviser meget store afvigelser mellem de forskellige dele af landet. I de østlige dele af landet er medianminimumafstrømningen omkring 0,5 l s⁻¹ km⁻², og i de vestlige dele omkring 10 gange så stor. Det er især forskelle i jordtyper og grundvandsmagasiner, der er årsag til de store forskelle i minimumafstrømning.

Tilsvarende findes betydelige forskelle i maksimumafstrømningen, hvor de lerede områder med ringe mulighed for nedsivning af regnvand har meget store værdier med medianmaksimum på mellem 50 og $100 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. På Bornholm findes de største værdier på mere end $100 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. I de mere sandede dele af landet er maksimumafstrømningen mindre, typisk mellem 20 og $40 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$.

Vandbalance

Betragtes vandbalancen som middel for hele landet og over en længere periode iagttages en god overensstemmelse mellem nedbør, fordampning og afstrømning. Som middel for Danmark for perioden 1971 – 98 er den korrigerede årlige nedbør 854 mm, den potentielle fordampning 520 mm og afstrømningen 322 mm. For mindre regioner eller kortere tidsperioder kan der optræde betydelige afvigelser. De væsentligste årsag til dette er grundvandsbevægelse på tværs af topografiske vandskel, vandindvinding og varierende indhold i magasinerne.

[Tom side]

Referencer

Akaike, H. (1974): A new look at statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control, AU-19, 716-722.

Allerup, P., Madsen, H. & Vejen, F. (1998): Standardværdier (1961-90) af nedbørskorrekationer. Danmarks Meteorologiske Institut, Teknisk rapport 98-10, 19 p.

Arnell, N.W. & Gottschalk L. (1993): Large-scale variations in river flow characteristics. Flow Regimes from International Experimental and Network Data (FRIEND), Vol. 1, Hydrological studies.

Bishop, G.D., Church, M.R., Aber, J.D., Neilson, R.P., Ollinger, S.V. & Daly, C. (1998): A comparison of mapped estimates of long-term runoff in the northeast United States. Journal of Hydrology 206: 176-190.

Bjarnov, S. (1987): Beregning af medianminimum på grundlag af år-sminimumsseriere. Hedeselskabets hydrometriske undersøgelser, Beretning nr. 32.

Bloomfield, P. & Nychka, D. (1992): Climate Spectra and Detecting Climate Change. Climatic Change, 21: 275-287.

Burg, J. P. (1967): Maximum Entropy Spectral Analysis. Paper presented at the 37th Annual International S.E.G. Meeting, Oklahoma City, Oklahoma.

Bøgestrand, J. (red.) (1999): Vandløb og kilder 1998. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 292, 132 s.

Cappelen (1992): Danmarks Klima 1992. Danmarks Meteorologiske Institut.

Cappelen, J. & Jørgensen, B. (2000): Danmarks klima 1999 med tillæg om Færøerne og Grønland. Danmarks Meteorologiske Institut. Trafikministeriet.

Clarke, R.T. (1994): Statistical modelling in hydrology. John Wiley & Sons.

Clausen, B. & Biggs, B.J.F. (1997): Relationships between benthic biota and hydrological indices in New Zealand streams. Freshwater Biology 38, 327-342.

Clausen, B. & Biggs, B.J.F. (2000a): Flow variables for ecological studies in temperate streams: groupings based on covariance. Submitted to Freshwater Biology.

Clausen, B., Iversen, H.L & Ovesen, N. B. (2000b): Ecological flow variables for danish streams. Submitted to Nordic Hydrological Programme report.

- Clausen, B., Rasmussen, K.R. (1988):* Fysisk Hydrologi Medianminimum. Geologisk Institut, Århus Universitet, Geokompender Nr. 28.
- Colwell, R.K. (1974):* Predictability, constancy, and contingency of periodic Phenomena. *Ecology* 55: 1148-1153
- Danmarks JordbrugsForskning (1998):* Fordampningsdata 1961-97 for 40*40 km grid.
- Danmarks Meteorologiske Institut (2000):* Årsværdier for nedbørsstationer og 10*10 km grid samt. fordampning for 40*40 km grid.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI) (1996):* ArcView, Spatial Analyst, ver 1.1. Environmental Systems Research Institute Inc. Redlands CA.
- Friberg, N. (1998):* Skov og Skovvandløb. Temarapport fra DMU, Nr. 21, Miljø og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser, 32 s.
- Frich, P., Rosenørn, S., Madsen, H. & Jensen, J.J (1997):* Observed precipitation in Denmark, 1961-90. Danmarks Meteorologiske Institut, Teknisk rapport 97-8: 39 p.
- Gilbert, R. O. (1987):* Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Gustard, A., Bullock, A., Dixon, J.M. (1992):* Low flow estimation in the United Kingdom. Report No. 108, Institute of Hydrology, Wallingford, UK, 88 p.
- Hedeselskabet (1978):* Afstrømningsmålinger i Danmark 1917-70, 10. Beretning. Det Danske Hedeselskabs Hydrometriske Undersøgelser, 131 s.
- Hirsch, R. M., Slack, J. R. & Smith, R. A. (1982):* Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data. *Water Resources Research*, 27: 803-813.
- Høybye, J. (1991):* Ferskvandstilstrømning til danske farvande 1990. Publikation fra Fagdatacenter for Hydrometriske Data, Hedeselskabet.
- Høybye, J. (1991):* Oplandskarakteristik. Publikation nr. 8 fra Fagdatacenter for Hydrometriske Data, Hedeselskabet.
- IPCC (1995):* IPCC Second Assessment. Climate Change 1995. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Iversen, H.L. & Ovesen, N.B. (1997):* Vandføringsevne i danske vandløb 1976-1995. 2. udgave. Danmarks Miljøundersøgelser. 56 s. Faglig rapport fra DMU nr. 218.
- Jacobsen, O. S. (Red.) (1995):* Grundvandsovervågning 1995. Særudgivelse, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse 1995.
- Jacobsen, D. & Friberg, N. (1997):* Macroinvertebrate communities in Danish streams: The effect of riparian forest cover.

- Jensen, J.L. & Frost, K. (1992):* Hydrometrisk feltarbejde. Publikation nr. 10 fra Fagdatacenter for Hydrometriske Data, Hedeselskabet, 52 s.
- Jensen, J.L. (1974):* Afstrømningens medianminimum. Vand no. 4.
- Jensen, J.L. (1993):* Referenceperiode for karakteristiske afstrømningsværdier. Publikation nr. 13 fra Fagdatacenter for Hydrometriske Data, Hedeselskabet.
- Kendall, M.G. (1975):* Rank Correlation Methods. Charles Griffin, London.
- Kite, G.W. (1977):* Frequency and risk analysis in hydrology. Water Resources Publications.
- Laursen, E.V., Larsen, J., Rajakumar, K., Cappelen, J. & Schmith, T. (1999):* Technical Report 99-20. Observed daily precipitation & temperature from six Danish sites, 1874-1998.
- Mikkelsen, H.E. & Olesen, J.E. (1991):* Sammenligning af metoder til bestemmelse af potentiel vandfordampning. Statens Planteavlsforsøg. Beretning nr. S2157, 68 s.
- Miljøstyrelsen (1998):* Biologisk vandløbskvalitet. Vejledning nr. 5/1998. Miljø- og Energiministeriet. 39pp.
- Minshall, G.W. (1988):* Stream ecosystem theory: a global perspective. Journal of the North American Benthological Society, 7, 263-288.
- Müller-Wohlfeil, D.-I., Kronvang, B. & Ovesen N.B. (1999):* Estimation of the regional annual runoff in Denmark. Abstract, European Geophysical Society, The Hague, The Netherlands, April 19-23, 1999.
- Nielsen, K., Stjernholm, M., Østergaard Olsen, B., Müller-Wohlfeil, D.-I., Madsen, I.-L., Kjeldgaard, A., Groom, G., Hansen, H.S., Rolev, A.M., Hermansen, B., Skov-Petersen, H., Kvist Johannesen, V., Hvidberg, M., Egholm Jensen, J., Bacher, V. & Larsen, H. (2000):* Arealinformationssystemet. Danmarks Miljøundersøgelser.
- Nørrevang, A. & Meyer, T.J. (1969):* Danmarks Natur, Bind 5, De ferske vande, Politikens forlag.
- Ovesen, N.B. & Svendsen, L.M. (1995):* Ferskvandstilstrømning til danske farvande 1994. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 138, 62 s.
- Pedersen, S.A.S. (1989):* Jordartskort. Danmarks Geologiske Undersøgelser
- Poff, N.L. and Ward, J.V. (1989):* Implications of streamflow variability and predictability for lotic community structure: A regional analysis of streamflow patterns. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 46, 1805-1818.
- Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E. & Stromberg, J.C. (1997):* The natural flow regime. BioScience, 47: 769-784.

- Prescott, P. & Walden, A.T. (1980):* Maximum likelihood estimation of the parameters of the generalized extreme-value distribution. *Biometrika* 67(3), 241-250.
- Prescott, P. & Walden, A.T. (1983):* Maximum likelihood estimation of the three-parameter generalized extreme-value distribution from censored samples. *Journal of Statistical Computing and Simulation* 16, 241-250.
- Resh, V.H., Brown, A.V., Covich, A.P., Gurtz, M.E., Hiram, W.L., Minshall, G.W., Reice, S.R., Sheldon, A.L., Wallace, J & Wissmar, R.C. (1988):* The role of disturbance instream ecology. *Journal of the North American Benthological Society* 7: 33-455.
- Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J. and Braun, D.P. (1996):* A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology* 10, 1163-1174.
- Raaschou, P. (1991):* Vejledning i bearbejdning af data fra vandføringsstationer. Publikation nr. 7 fra Fagdatacenter for Hydrometriske Data, Hedeselskabet, 41 s.
- SAS Institute Inc. (1989):* SAS/STAT User's Guide, Volume 2, GLM-VARCOMP, Version 6, Fourth edition. SAS Institute Inc., SAS Circle, Box 8000, Cary, NC.
- SAS Institute Inc. (1999):* SAS OnlineDoc®, Version 8, Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Schmidt, E. (1999):* Afstrømningsmålinger i Nordjyllands Amt 1998. Nordjyllands Amt, Natur- og Miljøkontoret, 140 s.
- Sen, P. K. (1968):* Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63: 1379-1389.
- Snedecor, G. W. & Cochran, W. G. (1989):* Statistical Methods. Iowa State University Pres, Ames, Iowa.
- Statens Panteaølsforsøg (1996).* Geografiske data hos Afd. For Arealanvendelse 90 s. SP rapport Nr. 6.
- Svendsen, L.M. & Hansen, H.O. (red.) (1997):* Skjern Å. Sammenfatning af den eksisterende viden om de fysiske, kemiske og biologiske forhold i den nedre del af Skjern Å-systemet. Danmarks Miljøundersøgelser & Skov- og Naturstyrelsen.
- Techt-Hansen, F. (1925):* Beretning om Det Danske Hedeselskabs Kulturtekniske Afdelings Hydrometriske Undersøgelser 1923-1924.
- Theil, H. (1950):* A Rank-Invariant Method of Linear and Polynomial Regression Analysis, I-III. *Proc. Kon. Ned. Akad. v. Wetensch. A.*, 53, 386-392, 521-525: 1397-1412.
- Windolf, J. (Eds, 1996):* Ferske Vandområder - Vandløb og kilder. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1995. Faglig rapport nr. 177 fra Danmarks Miljøundersøgelser.

betegne de ordnede værdier $(N = T(T - 1)/2)$. Dernæst er konfidensintervallet defineret ved

$$[\beta_{[M_1]}, \beta_{[M_2+1]}],$$

hvor

$$M_1 = \frac{N - C_\alpha}{2}$$

$$M_2 = \frac{N + C_\alpha}{2}$$

$$C_\alpha = z_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{\text{Var}(S)}.$$

Størrelsen z_p angiver p -fraktilen i standardnormalfordelingen.

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljø- og Energiministeret. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.

Henvendelse kan rettes til:

URL: <http://www.dmu.dk>

Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399
Postboks 358
4000 Roskilde
Tel: 46 30 12 00
Fax: 46 30 11 14

*Direktion
Personale- og Økonomisekretariat
Forsknings- og Udviklingssektion
Afd. for Systemanalyse
Afd. for Atmosfærisk Miljø
Afd. for Miljøkemi
Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi*

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejlsovej 25
Postboks 314
8600 Silkeborg
Tel: 89 20 14 00
Fax: 89 20 14 14

*Afd. for Terrestrisk Økologi
Afd. for Sø- og Fjordøkologi
Afd. for Vandløbsøkologi*

Danmarks Miljøundersøgelser
Grenåvej 12, Kalø
8410 Rønne
Tel: 89 20 17 00
Fax: 89 20 15 14

*Afd. for Landskabsøkologi
Afd. for Kystzoneøkologi*

Danmarks Miljøundersøgelser
Tagensvej 135, 4.
2200 København N
Tel: 35 82 14 15
Fax: 35 82 14 20

Afd. for Arktisk Miljø

Publikationer:

DMU udgiver temarapporter, faglige rapporter, arbejdsrapporter, tekniske anvisninger, årsberetninger samt et kvartalsvis nyhedsbrev, DMU Nyt. Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web.

I årsberetningen findes en oversigt over årets publikationer. Årsberetning og DMU Nyt fås gratis ved henvendelse på telefon 46 30 12 00

Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical Reports

2000

- Nr. 307: Cadmium Toxicity to Ringed Seals (*Phoca hispida*). An Epidemiological Study of possible Cadmium Induced Nephropathy and Osteodystrophy in Ringed Seals from Qaanaaq in Northwest Greenland. By Sonne-Hansen, C., Dietz, R., Leifsson, P.S., Hyldstrup, L. & Riget, F.F. (in press)
- Nr. 308: Økonomiske og miljømæssige konsekvenser af merkedsordningerne i EU's landbrugsreform. Agenda 2000. Af Andersen, J.M., Bruun et al. 63 s., 75,00 kr.
- Nr. 309: Benzene from Traffic. Fuel Content and Air Concentrations. By Palmgren, F., Hansen, A.B., Berkowicz, R. & Skov, H. 42 pp., 60,00 DKK.
- Nr. 310: Hovedtræk af Danmarks Miljøforskning 1999. Nøgleindtryk fra Danmarks Miljøundersøgelsers jubilæumskonference Dansk Miljøforskning. Af Secher, K. & Bjørnsen, P.K. 104 s., 100,00 kr.
- Nr. 311: Miljø- og naturmæssige konsekvenser af en ændret svineproduktion. Af Andersen, J.M., Asman, W.A.H., Hald, A.B., Münier, B. & Bruun, H.G. 104 s., 110,00 kr.
- Nr. 312: Effekt af døgnregulering af jagt på gæs. Af Madsen, J., Jørgensen, H.E. & Hansen, F. 64 s., 80,00 kr.
- Nr. 313: Tungmetalledfald i Danmark 1998. Af Hovmand, M. & Kemp, K. 26 s., 50,00 kr.
- Nr. 314: Virkemidler i pesticidpolitikken. Reduktion af pesticidanvendelsen på behandlede jordbrugsarealer. Af Hasler, B., Schou, J.S., Ørum, J.E. & Gårn Hansen, L. 71 s., 75,00 kr.
- Nr. 315: Ecological Effects of Allelopathic Plants – a Review. By Kruse, M., Strandberg, M. & Strandberg, B. 64 pp., 75,00 DKK.
- Nr. 316: Overvågning af trafikens bidrag til lokal luftforurening (TOV). Målinger og analyser udført af DMU. Af Hertel, O., Berkowicz, R., Palmgren, F., Kemp, K. & Egeløv, A. 28 s. (Findes kun i elektronisk udgave)
- Nr. 317: Overvågning af bæver *Castor fiber* efter reintroduktion på Klosterheden Statsskovdistrikt 1999. Red. Berthelsen, J.P. 37 s., 40,00 kr.
- Nr. 318: Order Theoretical Tools in Environmental Sciences. Proceedings of the Second Workshop October 21st, 1999 in Roskilde, Denmark. By Sørensen, P.B. et al. 170 pp., 150,00 DKK.
- Nr. 319: Forbrug af økologiske fødevarer. Del 2: Modellering af efterspørgsel. Af Wier, M. & Smed, S. 184 s., 150,00 kr.
- Nr. 320: Transportvaner og kollektiv trafikforsyning. ALTRANS. Af Christensen, L. 154 s., 110,00 kr.
- Nr. 321: The DMU-ATMI THOR Air Pollution Forecast System. System Description. By Brandt, J., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Berkowicz, R., Kemp, K. & Palmgren, F. 60 pp., 80,00 DKK.
- Nr. 322: Bevaringsstatus for naturtyper og arter omfattet af EF-habitatdirektivet. Af Pihl, S., Søgaard, B., Ejrnæs, R., Aude, E., Nielsen, K.E., Dahl, K. & Laursen, J.S. 219 s., 120,00 kr.
- Nr. 323: Tests af metoder til marine vegetationsundersøgelser. Af Krause-Jensen, D., Laursen, J.S., Middelboe, A.L., Dahl, K., Hansen, J. Larsen, S.E. (in press)
- Nr. 324: Vingeindsamling fra jagtsæsonen 1999/2000 i Danmark. Wing Survey from the Huntig Season 1999/2000 in Denmark. Af Clausager, I. 50 s., 45,00 kr.
- Nr. 325: Safety-Factors in Pesticide Risk Assessment. Differences in Species Sensitivity and Acute-Chronic Relations. By Elmegaard, N. & Jagers op Akkerhuis, G.A.J.M. 57 pp., 50,00 DKK.
- Nr. 326: Integrering af landbrugsdata og pesticidmiljømodeller. Integreerede MiljøinformationsSystemer (IMIS). Af Schou, J.S., Andersen, J.M. & Sørensen, P.B. 61 s., 75,00 kr.
- Nr. 327: Konsekvenser af ny beregningsmetode for skorstenshøjder ved lugtemission. Af Løfstrøm, L. (Findes kun i elektronisk udgave)
- Nr. 328: Control of Pesticides 1999. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krongaard, T., Petersen, K.K. & Christoffersen, C. 28 pp., 50,00 DKK.
- Nr. 329: Interkalibrering af metode til undersøgelser af bundvegetation i marine områder. Krause-Jensen, D., Laursen, J.S. & Larsen, S.E. (i trykken)
- Nr. 330: Digitale kort og administrative registre. Integration mellem administrativt registre og miljø-/naturdata. Energi- og Miljøministeriets Areal informations System. Af Hansen, H.S. & Skovpetersen, H. (i trykken)
- Nr. 331: Tungmetalledfald i Danmark 1999. Af Hovmand, M.F. Kemp, K. (i trykken)
- Nr. 332: Atmosfærisk deposition 1999. NOVA 2003. Af Ellermann, T., Hertel, O. & Skjødt, C.A. (i trykken)
- Nr. 333: Marine områder – Status over miljøtilstanden i 1999. NOVA 2003. Hansen, J.L.S. et al. (i trykken)
- Nr. 334: Landovervågningsoplande 1999. NOVA 2003. Af Grant, R. et al. (i trykken)
- Nr. 335: Søer 1999. NOVA 2003. Af Jensen, J.P. et al. (i trykken)
- Nr. 336: Vandløb og kilder 1999. NOVA 2003. Af Bøgestrand J. (red.) (i trykken)
- Nr. 337: Vandmiljø 2000. Tilstand og udvikling. Faglig sammenfatning. Af Svendsen, L.M. et al. (i trykken)