NOVANA-programmet 2004–2009
Det Marine Modelkompleks

Delydelse 4.1: Analyse af den naturlige variabilitet - data rapport

Guðrið Johansen

Per Berg, Vibeke Huess, Jacob Woge Nielsen, Mads Hvid Ribergaard

Danmarks Meteorologiske Institut

27. maj 2005

Indhold

1 Indledning **4**
1.1 Rapportens opdeling 4
1.2 Tabel- og figuroversigt 6

2 Vandstand **7**
2.1 Data 7
2.2 Kvalitetskontrol af vandstandsdata 7
2.3 Analyser 10
2.4 Kommentarer 11

3 Temperatur **13**
3.1 Data 13
3.2 Kvalitetskontrol af temperaturdata 14
3.3 Analyser 16

4 Saltholdighed **18**
4.1 Data 18
4.2 Kvalitetskontrol af saltholdighedsdata 18
4.3 Analyser 22

5 Strøm **24**
5.1 Data 24
5.2 Kvalitetskontrol af strømdata 25
5.3 Analyser 26

6 Sammenfatning **27**
6.1 Den naturlige variabilitet 27

Litteratur **29**

A Appendix: Vandstand **30**
Kvalitetskontrol 31
Statistik af vandstand 33
Hyppighedsfordelinger for vandstand og residual 34
Statistik af tidevand og residual 56
Tidevandsanalyser 56
Spektralanalyse 68

B Appendix: Temperatur **71**
Tidslig og vertikal dækning 72
Kvalitetskontrol 77
Statistik 103
Årlig variation 171
Hyppighedsfordelinger 203
Dag til dag variation 429
Spektralanalyse 555

C Appendix: Saltholdighed **562**
Kvalitetskontrol 563
Statistik 588
Årlig variation 638
Hyppighedsfordelinger 665
Dag til dag variation 843

D Appendix: Strøm **937**
Kvalitetskontrol 938
Statistik 949
Tidevandsstrøm 973
Tidevandsellipser 982
Strømroser 991

Kapitel 1

Indledning

Denne rapport indeholder en dataanalyse af den naturlige hydrografiske variation i de åbne farvande omkring Danmark og er udarbejdet af Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) i forbindelse med Det Marine Modelkompleks (MMK) under det Nationale program for Overvågning af Vand og Natur i 2004–2009 (NOVANA).

Formålet med dataanalysen er at undersøge den naturlige variation i de hydrografiske forhold for at kunne opstille realistiske krav til 3D-havmodellen, der benyttes under MMK, og for at kunne sætte modelusikkerhed i relation til den naturlige variation.

Områdemæssigt dækker dataanalysen hele Nordsø-Østersø området, men med fokus på de danske farvande.

Et krav var, at data indsamlet under NOVA-2003 projektet for perioden 1998–2003 som minimum skulle benyttes. Det måtte ved modtagelsen af NOVA-2003 data overraskende konstateres, at der ikke var udført kvalitetskontrol på de lagrede data. Inden analyserne af den naturlige variabilitet kunne gennemføres, måtte der udføres en omfattende kvalitetskontrol, som blev vanskeliggjort af mangel på meta- og kontroldata. NOVA-2003 datasættes ringe kvalitet har bevirket, at der er søgt andre datakilder som supplement.

Følgende datamateriale ligger til grund for analyserne:

- NOVA-2003 CD-rom udleveret af DHI-Institut for Vand og Miljø.
- Temperatur- og saltholdighedsdata fra Århus Amt
- Data fra Sund og Bælt A/S
- Vandstandsdata fra Farvandsvæsenet (FRV)
- Vandstandsdata fra DMI
- Temperatur-, saltholdighed- og strømdata fra FRV
- Vandstandsdata for Gøteborg fra Sveriges Meteorologiska og Hydrologiska Institut (SMHI).

1.1 Rapportens opdeling

Ideen med rapporten er at lave et opslagsværk over den naturlige variabilitet i de hydrografiske forhold i farvandene omkring Danmark. Der er derfor lagt vægt på, at rapporten indeholder tabeller og figurer over de analyser der er foretaget.

Kapitlerne 2–5 er en kort introduktion til det benyttede datamateriale og de foretagede analyser for hver af de fire undersøgte parametre: vandstand, temperatur, saltholdighed og strøm.

En kortfattet sammenfatning over arbejdet ses i kapitel 6.

I appendiks A - D ses figur- og tabelmaterialet for henholdsvis vandstand, temperatur, saltholdighed og strøm. Herunder følger en oversigt over samtlige tabeller og figurer i appendiks.

1.2 Tabel- og figuroversigt

Vandstand:

Tabel A1	Kvalitetskontrol af vandstandsdata
Tabel A2:	Information om manglende vandstandsdata
Tabel A3:	Statistik af vandstand
Tabel A4–A7:	Hyppighedsfordeling af vandstand
Tabel A8–A10:	Hyppighedsfordeling af residual
Figur A1–A29:	Hyppighedsfordeling af vandstand og residual (grafisk fremstilling af tabel A4–A10)
Tabel A11:	Statistik af tidevand og residual
Tabel A12–A33:	Tidevand
Figur A30–A34:	Spektralanalyse af vandstand (5 udvalgte stationer)

Temperatur:

Figur B1–B5:	Tidslig og vertikal dækning af temperaturdata
Tabel B1–B25:	Kvalitetskontrol af temperaturdata
Tabel B26–B50:	Information om manglende temperaturdata
Tabel B51–B176:	Statistik af temperaturen månedsvis
Figur B6–B12:	Årlig gang i temperaturen
Figur B13–B37:	Årlige temperatur variationer
Tabel B177–B302:	Hyppighedsfordeling af temperaturen månedsvis
Figur B38–B137:	Hyppighedsfordeling af temperaturen månedsvis (grafisk fremstilling af tabel B177–B302)
Tabel B303–B428:	Dag til dag variationen af temperaturen
Figur B138–B144:	Spektralanalyse af temperaturen (6 udvalgte stationer)

Saltholdighed:

Tabel C1–C21:	Kvalitetskontrol af saltholdighedsdata
Tabel C22–C42:	Information om manglende saltholdighedsdata
Tabel C43–C136:	Statistik af saltholdighed månedsvis
Figur C1–C6:	Årlig gang i saltholdigheden
Figur C7–C27:	Årlige saltholdighed variationer
Tabel C137–C230	Hyppighedsfordeling af saltholdigheden månedsvis
Figur C28–C111:	Hyppighedsfordeling af saltholdigheden månedsvis (grafisk fremstilling af tabel C137–C230)
Tabel C231–C324:	Dag til dag variationen af saltholdigheden

Strøm:

Tabel D1–D9:	Kvalitetskontrol af strømdata
Tabel D10–D18:	Information om manglende strømdata
Tabel D19–D61:	Statistik af strøm månedsvis
Tabel D62–D70:	Tidevandsstrøm
Figur D1–C9:	Tidevandsellipser (grafisk fremstilling af tabel D62–D70)
Figur D10–D95:	Strømroser

Kapitel 2

Vandstand

2.1 Data

Lokaliteten af vandstandsstationerne behandlet i denne rapport ses i figur 2.1. En oversigt over den tidslige dækning ses i figur 2.2. Generelt dækker data perioden fra 1997 til 2003. De fleste af vandstandsstationerne er fra NOVA-2003 projektet. Data fra Drogden og Juelsminde har vi rekvireret direkte fra FRV p.g.a. dårlig datadækning og format-kaos i NOVA-2003 projektdata. Data fra Gøteborg har vi rekvireret fra SMHI, da data i NOVA-2003-databasen lå i svensk sommer/vinter tid samtidig med, at der var problemer med referenceniveauet. Data fra Esbjerg, Hornbæk, Vidå og Århus er hentet fra DMI's database for at få bedre datadækning.

2.2 Kvalitetskontrol af vandstandsdata

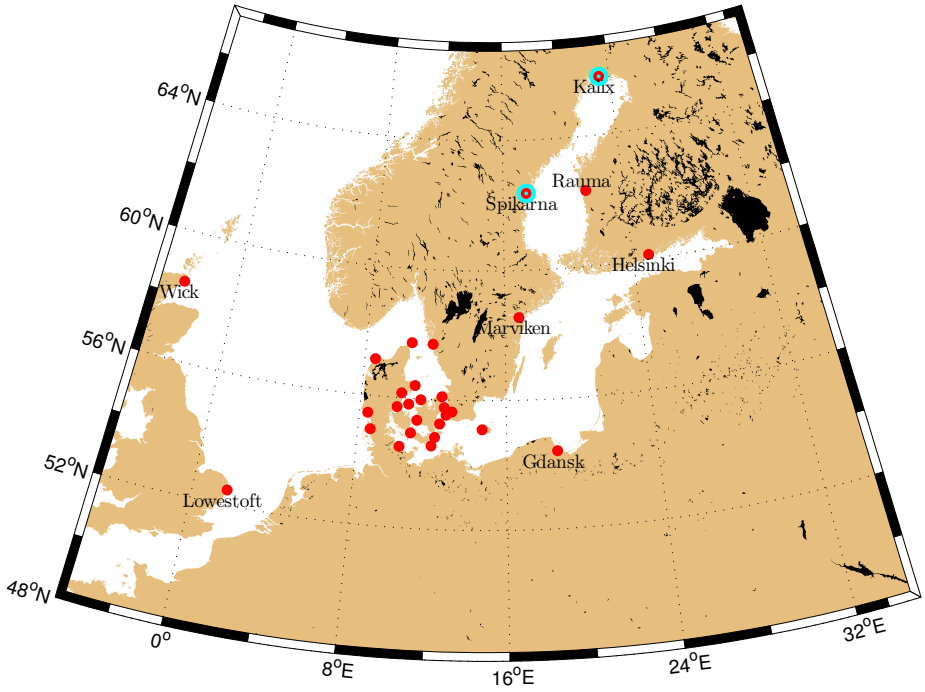
Nedenfor følger kvalitetssikringsproceduren for vandstandsdata:

- **Målenøjagtighed:** Vandstanden er for flere af stationerne opgivet i millimeter. DMI mener ikke, at det er muligt at angive en så høj nøjagtighed, og derfor er vandstandsdata afrundet til nærmeste hele centimeter.

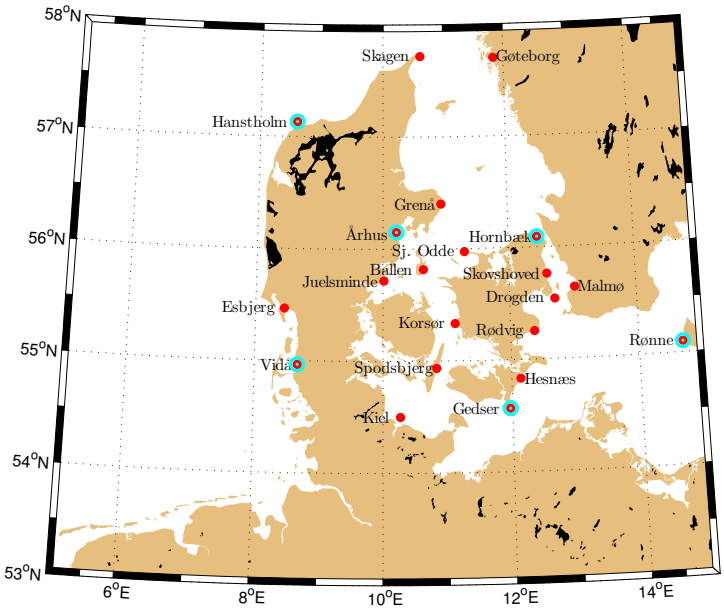
- **Tidsstempel:** Først er tidsstemplet checket. Målinger, hvor tiden går i stå eller går baglæns, er sorteret fra. 21 af de 29 stationer indeholder eksempler på to forskellige værdier til samme tidspunkt. Da det er svært at sige, hvilke af de to værdier er den rigtige, er begge kasseret. For station Hanstholm, hvor der er flest "dobbeltdata", er 96 værdier fjernet.

- **Timeværdier:** Det er valgt at arbejde med timeværdier, d.v.s. at der kun er en værdi for hver time. Dette er for at få et mere ensartet datasæt. I de oprindelige data er samplingsintervallet meget varierende fra 1 minut i dele af tidsserien fra Kiel til 4 timer for tidsserien fra Gdansk. Timeværdierne er udtrukket således, at det er de værdier, der ligger nærmest hele klokkeslet, der er taget med. Målefrekvensen varierer for flere af stationerne. Derfor er der nogle gange lidt under en time mellem to "timeværdier" og andre gange lidt mere. Der skal minimum være 45 minutter mellem to målinger, før begge medtages.

- **Out-of-range:** "Out-of-range" værdier er fjernet med et max/min-filter. 9 stationer indeholder sådanne værdier. Der er brugt individuelle grænser for hver station. Disse er fundet ud fra en visuel inspektion af de rå data.

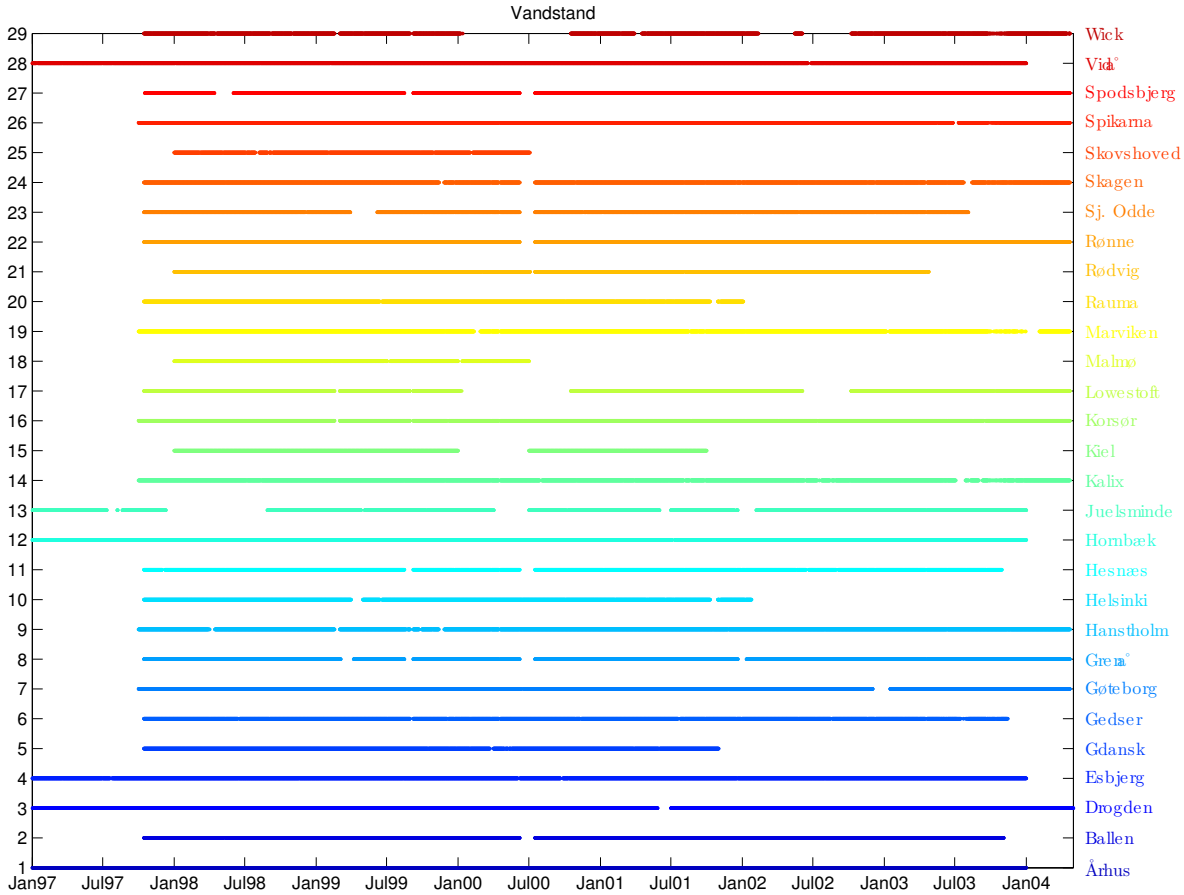


(a)



(b)

Figur 2.1: Kort over vandstandsstationerne. a) Hele området. b) Zoom på de danske farvande. Turkise cirkler angiver stationer, for hvilke der endvidere er lavet spektralanalyse.



Figur 2.2: Oversigt over den tidslige dækning af vandstandsdata.

- **Fejlværdien nul:** Nul er brugt som fejlværdi (dummy) i 5 af stationerne: Gøteborg, Helsinki, Kalix, Marviken og Spikarna [1] . Da nul er en en fysisk værdi kan alle nuller ikke bare fjernes.

  Produktet af værdien inden og efter et nul eller en række af nuller er beregnet. Hvis produktet er positivt og har en vis størrelse, forventes det, at værdien er fejl. For Kalix og Spikarna er kriteriet 10, for de tre andre stationer er det 100. Kriterierne er fundet ved at prøve forskellige værdier. For Marviken fjerner denne test ikke alle tvivlsomme værdier. Derfor er alle nuller fjernet for de sidste 8 måneder af denne tidsserie.

- **Konstante værdier:** Hvis vandstandsværdierne er konstante i længere tid tyder det på, at måleren har sat sig fast og værdierne skal kasseres. Stationerne er delt op i stationer med tydeligt tidevandssignal og stationer med svagt eller intet tidevandssignal. Grænsen mellem disse to grupper af stationer går tværs over Øresund (56°N) og syd gennem Sjælland, således at stationerne på østkysten af Sjælland og Falster hører til Østersø-stationerne, der har et lille tidevandssignal.

  For stationer med tidevand er antaget at 3 til 4 ens timeværdier efter hinanden indikerede fejl-

[1] Der er måske oprindeligt blevet brugt et meget lille tal som et sted i systemet er blevet afrundet til 0.

målinger. Det viste sig dog i nogle tilfælde, at dette var for restriktivt et krav. Vidå data viste feks at 5 timeværdier tilfældigvis var ens selvom vandstanden i rå-data (højere opløsning) varierede. Disse tilfælde skal naturligvis ikke fjernes. Derfor er 12 ens værdier i træk valgt som kriteriet for, hvornår konstante værdier fjernes for stationer med tidevand.

Vandstanden ved de østlige stationer varierer meget langsomt, og 12 ens timeværdier i træk forekommer ofte. Hvis måleren viser det samme i 1 døgn kasseres værdierne for disse stationer.

- **Store spring:** Store pludselige vandstandsændringer i tidsserien er fjernet. For at finde ud af hvilken side af ændringen der er fejlbehæftet, beregnes afstanden fra punktet til de to nabopunkter. Det punkt, der har størst afstand til sine nabopunkter, fjernes.

  Stationerne er også delt op i dette check. For stationerne i Vadehavet og langs den engelske kyst med kraftigt tidevand varierer vandstanden mere end for resten af stationerne. Under decemberstormen i 1999 blev der målt en vandstandsstigning på 120 cm/time i Vadehavet. En vandstandsændring hurtigere end denne værdi anses for urealistisk og fjernes. For resten af stationerne anses en vandstandsændring på 60 cm/time for urealistisk.

Tabel A.1 viser hvor mange datapunkter der er fjernet med de forskellige checks. Information om manglende data findes i tabel A.2, hvor der er angivet største periode med manglende data, manglende data ialt både antal og i procent. Desuden er angivet hele periodens længde og det største tidslige interval, hvor der ikke er huller på over 2 dage.

2.3 Analyser

Statistik på vandstandstidsserien

Simpel statistik på vandstandsdata er præsenteret i tabel A.3. Beregningerne er foretaget på hele tidsserien for den pågældende station. Der er beregnet gennemsnit (gns.), median, standardafvigelse (std.), minimum (min.) og maksimum (max.). Desuden er angivet datoen for hvornår min. og max. forekom samt antal observationer (obs.).

Hyppighedsfordelingen af vandstanden er beregnet. Hyppigheden i procent af vandstanden inddelt i intervaller på 20 cm er givet i tabellerne A.4 til A.7. Obs. i tabel A.3 giver antal observationer der er brugt til hyppighedsberegningen. Hyppighedsfordelingen er også vist som blokdiagrammer, figur A.1a til figur A.29a. Her er hyppigheden vist i 10 cm intervaller, dog er hyppigheden for Esbjerg, Lowestoft, Vidå og Wick vist i 20 cm intervaller.

Tidevand og residualet

Tidevandsbidraget er trukket fra vandstanden. Tidevandskonstituentsæt, udarbejdet af DMI og FRV, er blevet brugt til tidevandsprediktionen [Huess et al., 2002]. For 15 af stationerne er konstituentsættene hentet fra DMI-FRV databasen, mens konstituentsættene blev beregnet for 7 af stationerne (Gøteborg, Juelsminde, Kiel, Lowestorf, Malmø, Skovshoved og Wick). Kravet for om der er tidevand er sat til 1 cm for konstituenten M_2. Dette giver, at følgende stationer ikke har tidevand: Helsinki, Kalix, Marviken, Rauma, Rønne og Spikarna. Hertil kommer, at Gdansk kun har vandstandsobservationer for hver 4. time, hvorfor stationen ikke er blevet analyseret for tidevand.

Tidevandsanalysen kræver, at data ligger med samme tidsskridt mellem målingerne, altså ækvidistant sampling. For 15 af stationerne ligger vandstandsobservationerne med varierende samplingsfrekvens. For de andre 14 stationer ligger observationerne på hele timer. Derfor er tidsstemplet blevet

ændret, således at alle observationer ligger på hele timer på minuttal nul. Den største tidslige ændring er på 14 minutter for Skovshoved. For de andre stationer er den maksimale ændring 8 minutter, men generelt ligger ændringen under 5 minutter. [2]

Tidevandsprediktionen er beregnet i Matlab ved brug af t_tide programpakken [Pawlowicz et al., 2002]. Prediktionen er lavet for et år ad gangen. Tidevandskonstituentsættene er givet i tabellerne A.12 til A.33. Programpakken t_tide kender ikke MNS_2 og $2MN_2$. Derfor er hhv. ϵ_2 og L_2 brugt i stedet. Disse konstituenter har samme frekvens som de førnævnte, men ϵ_2 og L_2 er astronomiske konstituenter mens MNS_2 og $2MN_2$ er "shallow-water" konstituenter.

Std., min. og max. er beregnet for residualet (vandstandssignalet fratrukket tidevandsprediktionen). Disse sammen med std. for prediktionen og std., min. og max. for hele vandstandssignalet (angivet igen for sammenligning) findes i tabel A.11. Hyppighedsfordelingen af residualet findes i tabellerne A.8 til A.10 og figurene A.1b til A.29b. Bemærk, at hyppighedesintervallerne er vist i procent for hver 10 cm i figurerne, og for hver 20 cm i tabellerne.

Spektralanalyse

Der er lavet spektralanalyse af det totale vandstandssignal og af residualet, figur A.30 til A.34. Analysen er lavet for et antal stationer, der vurderes at være repræsentative for resten af stationerne. På figur 2.1 er disse stationer markeret med en turkis cirkel. Stationerne er valgt ud fra placering og datadækning.

Analysen kræver en komplet ækvidistant tidsserie. Tidsserierne, hvor observationerne er lagt på hele timeværdier, er derfor anvendt. Manglende data udfyldes ved lineær interpolation, og den tidslige trend fjernes. Estimeringen af power spectral density sker ved brug af periodogram metoden og FFT (fast Fourier transform). Tidsserien deles op i segmenter af ca. 1 års længde med 50% overlap, således at alle segmenter har samme længde for en station. Disse filtreres med et Hamming filter af samme længde. Der beregnes spektre for alle 1-års segmenter, og disse midles herefter til det viste spektrum. Dette bliver gjort for at få statistisk pålidelige spektre, men det sker på bekostning af den spektrale opløsning. Signifikans på 95% niveauet er beregnet og errorbaren er tegnet på figurene. For mere information om spektralanalyse, se f.eks. Emery and Thomson [2001].

2.4 Kommentarer

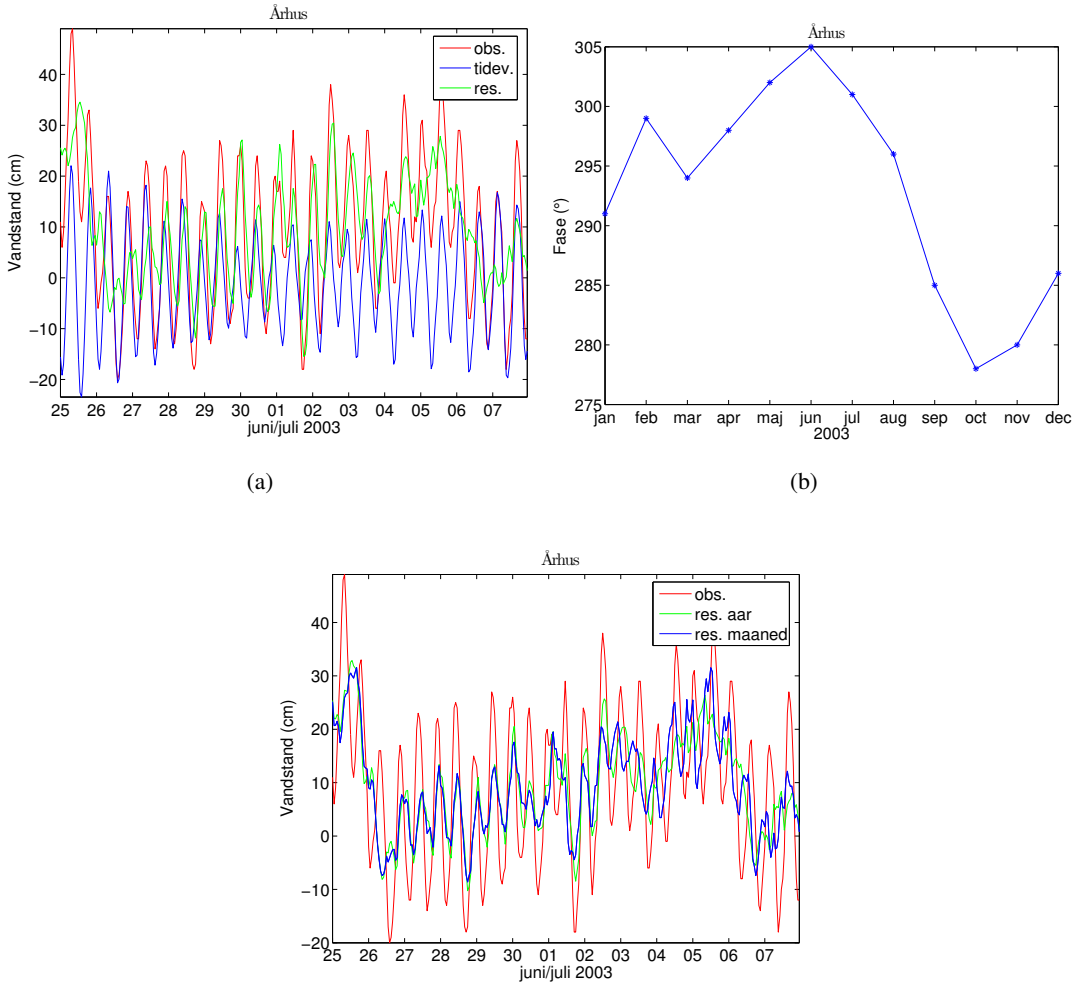
Tidevand

Tidevandet trækkes ikke altid lige godt ud af tidsserierne. I perioder ser det ud til, at den observerede vandstand og prediktionen har forskellig fase. Dette gør, at der i residualet stadig er et tidevandssignal, men med en anden fase. Et eksempel er vist i figur 2.3. Eksemplet er for Århus omkring 1. juli 2003, men fænomenet er også tilstede for andre stationer. Dette ses også i spektrene for residualet, hvor noget af tidevandsenergien stadig er tilstede. Procentdelen, der er tilbage, er dog ikke så stor. For det halvdaglige M_2 signal, der er det største, er der ca. 2 % af energien tilbage, jvf. figur A.30 til figur A.34.

For at finde ud af hvad dette skyldes, er der foretaget yderligere analyser af tidsserien for Århus år 2003. Tidevandsanalysen er først foretaget igen ved at bruge t_tide programpakken, men dette gav samme resultat som i DMI-FRV databasen. Dernæst er tidevandsanalysen gennemført for en måned ad gangen. Dette giver en variation på næsten 30° på fasen for M_2 igennem året (figur 2.3b), hvilket

[2] En alternativ metode ville være tidslig interpolation af data til værdier hver hele time. Denne metode ville dog mindske variationen af data (spids-værdierne).

gør, at observationerne og den årlige prediktion (som har samme fase hele året) har forskellig fase i perioder. Tidevandet analyseret månedsvis trækker ikke tidevandet bedre ud af vandstandsserien, end når analysen er foretaget på årsbasis, figur 2.3c.



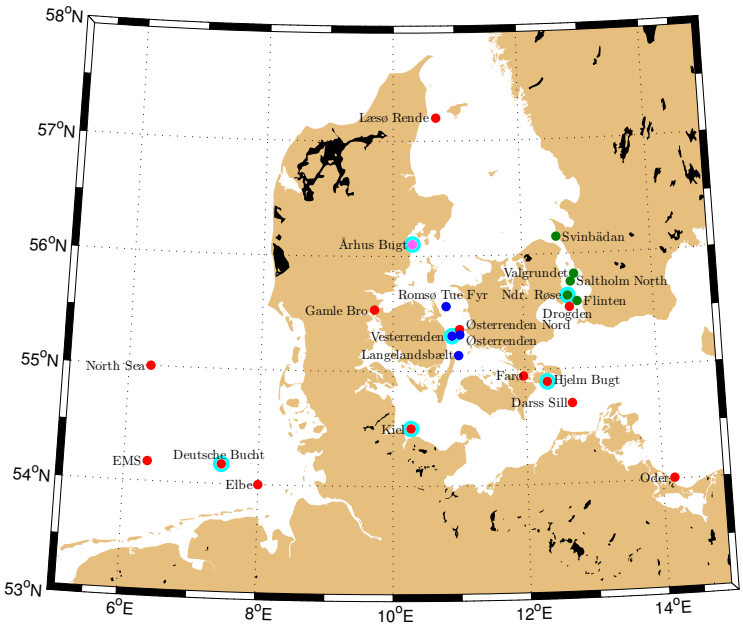
Figur 2.3: Resultater fra tidevandsanalysen for Århus år 2003. a) Observationer (rød kurve), tidevandsprediktionen (blå kurve) og residualet (grøn kurve). Figuren viser, at der er tidevandssignal tilbage i residualet. b) fasen for M_2 for år 2003. c) residualet for hhv. at analysere tidevandet på års- (grøn kurve) og månedsbasis (blå kurve). Observationerne er også vist til sammenligning (rød kurve).

Kapitel 3

Temperatur

Dette kapitel beskriver analyserne foretaget på temperaturdata. Det skal bemærkes, at der ikke er taget højde for ændringer af vanddybden som følge af f.eks. stærk storm og/eller stærk strøm.

3.1 Data

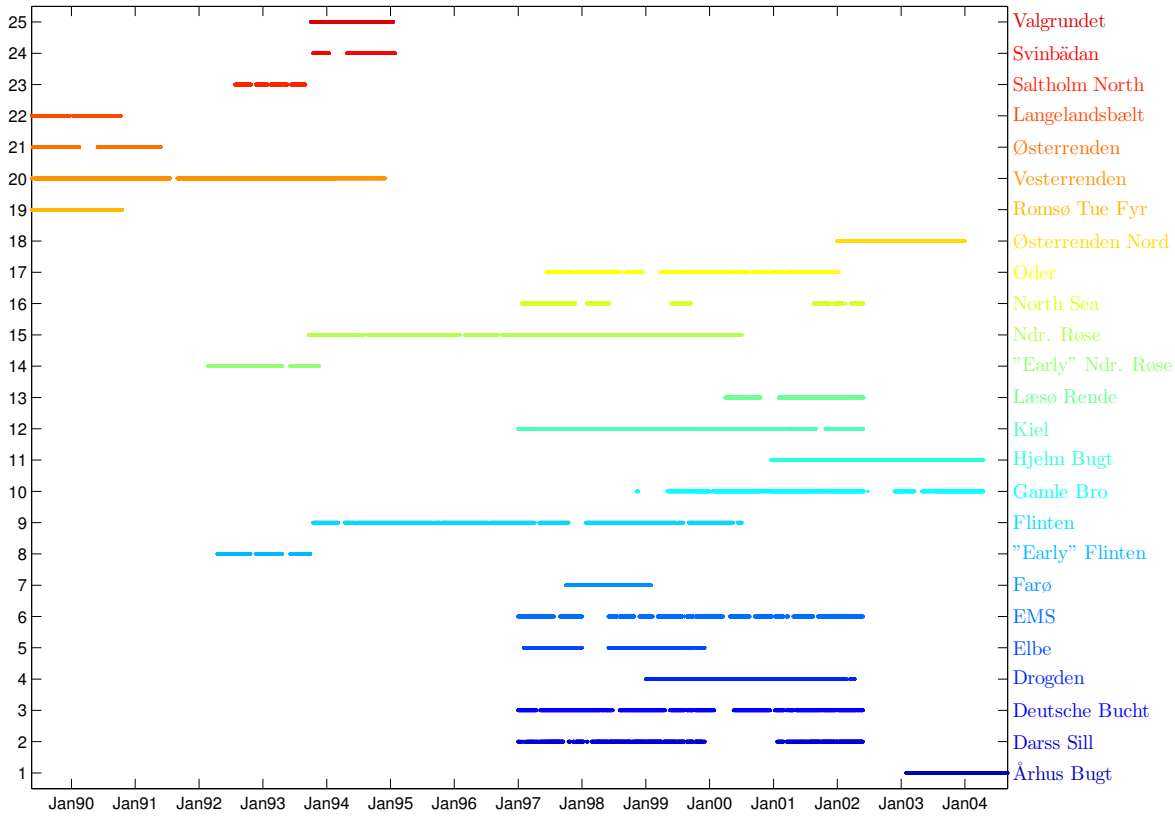


Figur 3.1: Stationskort over temperaturdata. Data fra NOVA-2003 programmet er markeret med rødt, stationer fra Storebæltsbroen er markeret med blåt og stationer fra Øresunds brobygningen er angivet med grønt. Østerrenden Nord fra FRV er også markeret med rødt. Stationen Århus Bugt fra Århus Amt er markeret med lilla. ”Early” Flinten og ”Early” Ndr. Røse er ikke vist på figuren. Disse stationer ligger på næsten samme position som hhv. Flinten og Ndr. Røse og stammer også fra Øresunds broprojektet. Turkis ringe angiver stationer, hvor der envidere er lavet spektral analyse.

Lokaliteten af de bøjestationer, hvor der er målt temperatur, ses på figur 3.1. Halvdelen af station-

erne er fra NOVA-2003 programmet (12 stationer). Disse er suppleret med data fra de to broprojekter fra Storebælt og Øresund. Århus Amt har leveret temperatur og saltholdighed for station Århus Bugt. Denne station er nærmere omtalt i section 3.2. Temperatur og saltholdighed fra Østerrenden Nord er leveret af FRV. Sensorene fra Østerrenden Nord er ikke kalibrerede siden marts 2001, men vi har valgt at bruge data, da kvaliteten ikke ser ringere ud end for de andre stationer[1]. Vi har ingen information om kalibreringstidspunkt for de andre stationer.

En oversigt over den tidslige dækning for alle stationer er vist i figur 3.2. Den vertikale dækning er vist i figurene B.1 til B.5.



Figur 3.2: Tidslig dækning af temperatur for alle stationer. Linierne viser hvor der er målinger for hver station i mindst én dybde.

3.2 Kvalitetskontrol af temperaturdata

Nedenfor følger kvalitetssikringsproceduren for temperaturdata:

- **Tidsstempel:** Tidsserierne er først blevet tidskontrollerede således, at punkter, hvor tiden går i stå eller går baglæns, er fjernet. 10 ud af 24 stationer indeholder eksempler på to forskellige værdier til samme tidspunkt. Da det er svært at sige, hvilke af de to værdier er den rigtige, er

[1] Østerrenden Nord bør efter stationsoversigten være i NOVA-2003 databasen, men biblioteket er tomt.

begge kasseret. For station EMS i 30 m dybde, hvor der er flest "dobbeltdata", er 442 værdier fjernet.

- **Out-of-range:** "out-of-range" værdier er fjernet med et max/min-filter. Der er brugt individuelle grænser for hver station. Disse er fundet ud fra visuel inspektion af de rå data.
- **Spikes i tid:** "Spikes" i tid er fjernet for alle stationer. En måling bliver betragtet som en "spike" hvis målingen ligger mindst 2°C højere eller lavere end begge nabomålinger, $dT = 2°\mathrm{C}$. Der må ikke være mere end 1 time mellem målingerne, $dtid = 1$ time.
- **Manuel rettelse:** Perioder med fejlmålinger er fjernet manuelt. Følgende stationer indeholder sådanne perioder: Darss Sill, Deutche Bucht, EMS, Farø, "Early" Ndr. Røse, North Sea, Oder, Vesterrenden, Langelandsbælt og Saltholm.
- **Enkeltstående målinger:** Hvis der er 3.5 dag uden målinger på hver side af en måling, og denne enkelte måling afviger mere end 1°C fra den lineære interpolering mellem nabopunkterne fjernes målingen.
- **Spikes i tid 2:** "Spikes- i-tid" filteret er kørt igen. Nu er $dT = 2.5°\mathrm{C}$ og $dtid = 6$ timer.
- **Vurdering af tidsserier:** Efter disse tjek er der foretaget en visuel vurdering af kvaliteten, ud fra den rettede tidsserie.
  Disse stationer bliver herefter ikke tjekket yderligere: Flinten, Gamle Bro, Hjelm Bugt, Læsø Rende, Ndr. Røse, Østerrenden Nord, Svinbäden og Valgrundet. Da de anses for at være ok.
- **Glidende middel og standardafvigelse:** For de resterende stationer, der stadig ser fejlbehæftede ud er der beregnet glidende middel (gns.) og standardafvigelse (std.) for en periode på 15 dage omkring målingen. Hvis den pågældende måling afviger mere end 4 std. fra gns, fjernes punktet.
- **Timeværdier:** Efter at de enkelte tidsserier er kontrolleret, er målingerne midlet til timeværdier. Disse er lagt på minuttal '00.
- **Spikes i dybden:** "Spikes" i dybden er fjernet for alle stationer. Dette gælder dog ikke for den øverste og nederste dybde. For at være en "spike" i dybden skal målingen ligge minimum 5°C fra målingerne i dybderne over og under den pågældende måling. Dette tjek bliver kun udført, hvis der er en måling for alle tre involverede dybder. Dette tjek bliver først foretaget efter midlingen til timeværdier, fordi målingerne til de forskellige dybder ikke ligger på samme minuttal for alle stationerne.

Tabellerne B.1 til B.25 viser hvor mange datapunkter der er fjernet med de forskellige tjek. Information om manglende data findes i tabellerne B.26 til B.50, hvor der er angivet største periode med manglende data og manglende data i alt både i antal og i procent. Desuden er angivet hele periodens længde og det største interval, hvor der ikke er huller på over 2 dage.

Vurdering af proceduren

Data fra Århus Bugt er brugt til at vurdere ovenstående kvalitetssikringsprocedure. Århus Amt har lagt et stort stykke arbejde i at måle tilstanden i Århus Bugt (bl.a. T og S) så nøjagtigt som muligt. Målesensorene er blevet renset, og der er taget kontrolmålinger før og efter rensning hver 2.-3. uge

af en dykker. På den måde ved man om målesensorene driver og hvor stor driften evt. måtte være. I perioder med drift kan målingerne enten kasseres, eller man kan prøve at rette op på disse ved f.eks. lineær interpolation af afvigelsen over perioden. Århus Amt har valgt at kassere data. I den 1 år og 8 måneder lange tidsserie, vi har modtaget, er der ingen afvigelser i temperaturen mellem to efterfølgende målinger på over 1°C. Dette er den nøjagtighed som Århus Amt har valgt at bruge.

Der er målt i 3 dybder. Disse tre tidsserier har været igennem kvalitetskontrollen. I 4 m dybde fjernes 1 spike. Dette er et punkt, der også ud fra stabilitetskriteriet er en fejlmåling. I 9 m dybde fjernes også en spike. Det er dog tvivlsomt om dette virkelig er en spike. I 14 m dybde findes ingen spike. Ellers er der ikke yderligere spikes eller andre fejlmålinger i tidsserierne.

Det er nærmest umuligt at fjerne alle fejlmålinger automatiskt, uden at nogle gode målinger også fjernes. Århus Amts data viser, at de krav, vi har stillet, om spikes ikke er for strenge, da vi kun mister 1 god måling i de tre tidsserier.

Tidsserierne fra Århus Amt har også været igennem gns./std.-filteret. Under normale omstændigheder ville disse tidsserier ikke blive kørt gennem dette tjek, da den forinden ville have været vurderet ok. Dette filter fjerner 12 punkter i 9 m dybde og 10 punkter i 14 m dybde. Dette er punkter, der ikke er fejlmålinger, d.v.s. at der kasseres for mange punkter i de tidsserier, der gennemgår tjekket, men det vidste vi på forhånd. Det er derfor kun de tidsserier, der stadig har fejlmålinger efter at have været igennem de andre tjek, der gennemgår dette tjek. Vi har således valgt at acceptere, at der i disse tilfælde fjernes nogle gode punkter for også at få de dårlige fjernet. Den del, der fjernes fejlagtigt, er dog meget lille. I tilfældet med data fra Århus Amt kun 0.04%.

3.3 Analyser

Simpel statistik

Simpel månedsstatistik for temperaturen er præsenteret i tabel B.51 til B.176. Månedsmidler for vandtemperatur er beregnet (gns). Gns. for en måned er beregnet ved først at beregne dagsmidler[2] for hele perioden. Derefter er månedsmidler beregnet. Denne størrelse bliver kun beregnet, hvis der er mindst 15 dage med målinger i den pågældende måned. Værdien i tabellerne er gennemsnittet af månedsmidlerne, og størrelsen år i tabellen angiver antallet af månedsmidler for den pågældende måned. Antal timeværdier for den pågældende måned er også givet (obs.).

Medianværdi og standard afvigelse (std.) er beregnet. Medianværdien er beregnet ud fra alle data i den pågældende måned. Std. er beregnet for hver enkelt måned, og derefter er gennemsnittet af disse beregnet. Variationen mellem de forskellige år er således ikke inkluderet, og alle måneder er herved vægtet ens, dvs. at der ikke er taget højde for, hvor mange målinger der er i hver måned.

Den højeste og den laveste målte vandtemperatur i hver måned (alle data) er også givet i tabellerne ved hhv. max. og min.

Årlig variation

Figurene B.6 til B.12 viser den årlige udvikling i temperaturen gennem vandsøjlen. For hver station er månedsmidlerne for alle dybder plottet. Figurene B.13 til B.37 viser også udviklingen henover året, men tillige er også inkluderet std., max. og min. for den pågældende station og dybde.

[2] Hvis der er en observation for den pågældende dag medtages dagen

Hyppighedsfordeling

For hver måned er hyppigheden i procent af vandtemperaturen for hver hel grad beregnet, se tabel B.177 til B.302. Der er også angivet det samlede antal observationer, der er brugt til beregningen. Hyppighedsfordelingen er vist som blokdiagrammer i figur B.38 til B.137. Figuren viser fordelingen for alle dybder for den pågældende station den pågældende måned. Hyppigheden i procent af vandtemperatur mellem to på hinanden følgende hele grader ses af søjlehøjden mellem de to gradtal.

Dag til dag variation

Hyppigheden i procent af dag til dag variationen for hver halve grad er givet i tabellerne B.303 til B.428. Denne beregning er også foretaget på månedsdata. Dag til dag ændringen er beregnet ud fra temperaturen kl. 8. Hvis målingen kl. 8 mangler udgår dagen. Den nederste linie i tabellen angiver hvor mange dag til dag ændringer hyppigheden er beregnet ud fra.

Spektral analyse

Der er lavet spektralanalyse for udvalgte stationer, figur B.138 til B.144. Stationerne er valgt ud fra dækning og placering og vurderes at være repræsentative for resten af stationerne. I figur 3.1 er disse stationer markeret med en turkis cirkel. Der er brugt samme metode som for vandstandsdata, se afsnit 2.3.

Der er undersøgt, hvor store huller der kan accepteres i dataserien. Dette er gjort ved at lave kunstige huller i de tidsserier, der har bedst dækning, og sammenligne resultaterne med og uden introducerede huller. Erfaringen heraf er, at huller på op til 3 måneder ændrer meget lidt på spektralanalysen.

Kapitel 4

Saltholdighed

Dette kapitel beskriver analyserne foretaget på saltholdighedsdata. Det skal bemærkes, at der ikke er taget højde for ændringer af vanddybden som følge af f.eks. stærk storm og/eller stærk strøm.

4.1 Data

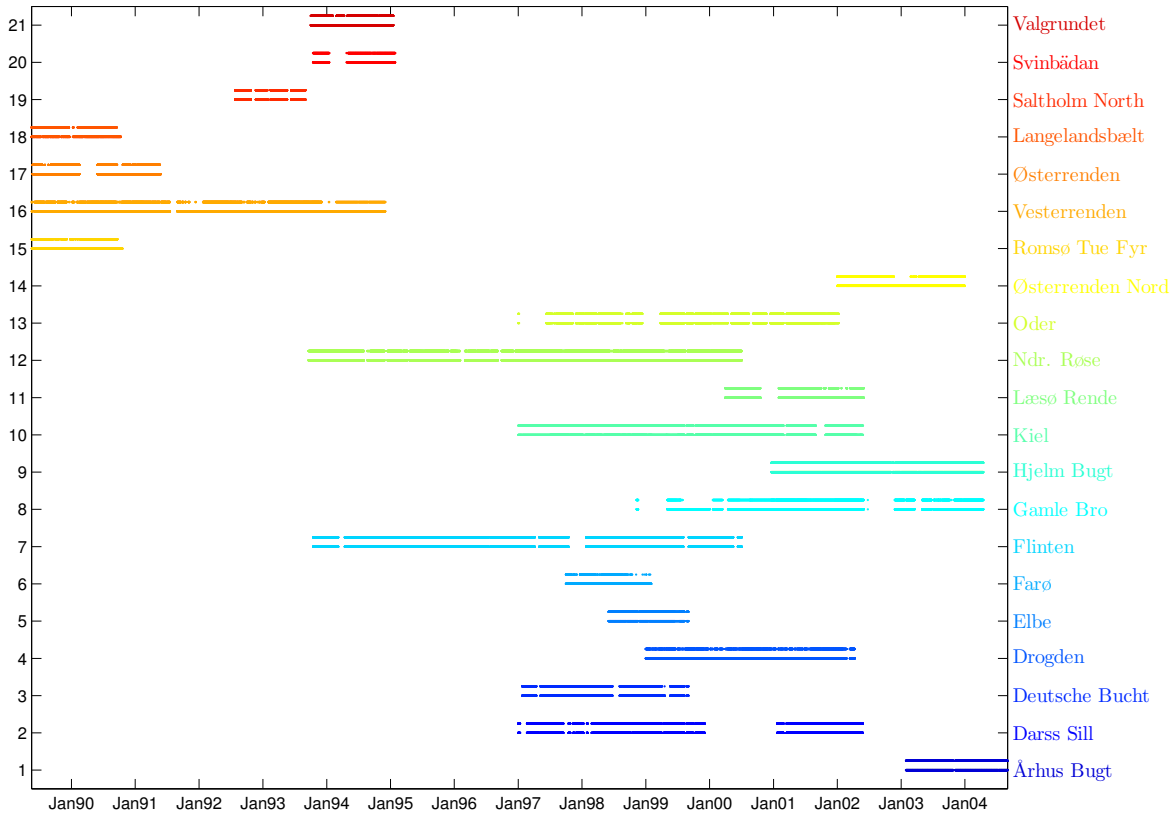
De bøjestationer, der har målt temperatur, har også målt saltholdighed. For visse stationer gælder det dog kun i nogle af dybderne. Bøjestationernes position er vist på figur 3.1. På grund af få og/eller dårlige data er følgende stationer dog ikke med i analysen: "Early" Flinten, "Early" Ndr. Røse, EMS og North Sea. En oversigt over den tidslige dækning af saltdata for alle stationer er vist i figur 4.1. Den vertikale dækning er vist i figur B.1 til B.5. Det er kun huller af en vis størrelse ($2-3$ uger), der kan ses på oversigtskortene. Kortene kan således kun bruges til at danne et overblik over den tidslige dækning. Hvor mange data, der reelt mangler, ses i tabellerne C.1 til C.42, se nedenfor.

Generelt er datakvaliteten af saltholdighed ringe. Dette gælder dog ikke for stationen i Århus Bugt. Alle stationer har profiler, der til tider er ustabile. Vi har dog vurderet, at tidsseriernes variation er troværdig. Denne vurdering er baseret på, at de uafhængige målere på en station viser samme episode f.eks. en front-passage, men niveauerne er ikke rigtige, og dette giver til tider ustabile profiler. Et eksempel på dette er vist i figur 4.2. Da vi ikke har kendskab til, om der er foretaget kontrolmålinger, er det os umuligt at kende det rigtige niveau. Derfor har vi valgt at bruge to udgaver af tidsserierne i analyserne. En hvor det er et krav, at vandsøjlen er stabil, og en hvor vi tillader ustabilitet. Ud fra den første beregnes gennemsnit, minimum og maximum, og den anden bruges til analyserne af variabiliteten. Der er dog ingen garanti for at niveauerne ligger rigtigt selvom vandsøjlen er stabil, men det er det bedste vi kan gøre. Derfor må analyserne af saltholdighed tages med et vist forbehold. Begge tidsserier skal selvfølgelig også kvalitetskontroleres for f.eks. "out-of-range" værdier og spikes.

Data fra Århus Bugt er en undtagelse fra denne tvivlsomme kvalitet. For denne station har vi fået, som omtalt i afsnit 3.2, oplysninger om rensningstidspunkter og kontrolmålinger både før og efter rensning. Disse oplysninger sætter os i stand til at vurdere kvaliteten og også mulighed for at rette op på data i perioder, hvor der har været en drift/begroning af målerne. Derved kan vi lave en bedre analyse af denne station, og denne behandles derfor særskilt.

4.2 Kvalitetskontrol af saltholdighedsdata

Nedenfor følger kvalitetssikringsproceduren for saltholdighedsdata. Århus Bugt behandles dog lidt anderledes, se næste afsnit.



Figur 4.1: Tidslig dækning af saltholdighed for alle stationer. Linierne viser hvor der er målinger for hver station i mindst én dybde. Der er to tidslinier for hver station. Den nederste viser hele tidsserien og den øverste viser hvornår der er en stabil profil.

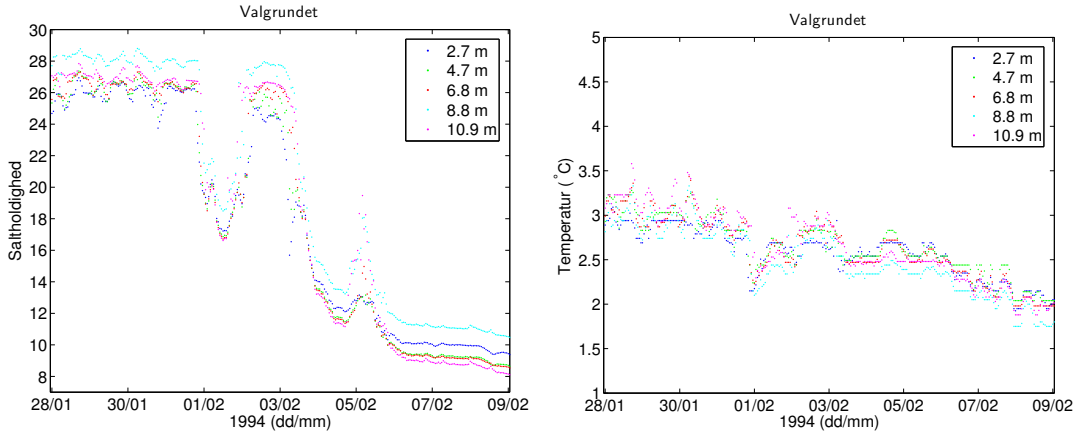
- **Tidsstempel:** Tidsserierne er først blevet tidskontrollerede, således at punkter, hvor tiden går i stå eller går baglæns er kasseret. Der er ikke eksempler på stationer, hvor der er to forskellige værdier til samme tidspunkt, som det var tilfælde for temperaturmålingerne.

- **Out-of-range:** ”out-of-range” værdier er fjernet med et max/min-filter. Der er brugt individuelle grænser for hver station. Disse er fundet ud fra visuel inspektion af de rå data.

- **Spikes i tid:** ”Spikes” i tid er fjernet for alle stationer. En måling bliver betragtet som en ”spike” hvis målingen ligger et vist antal psu (dS) højere eller lavere end begge nabomålinger. Der må ikke være mere end 1 time mellem målingerne, $dtid = 1$ time. Spikehøjden dS er forskellig for hver station, men ligger i området 2–5 psu. dS er valgt ved at vurdere variabiliteten for den enkelte station ud fra en visuel inspektion af de rå data.

- **Manuel rettelse:** Perioder med fejlmålinger er fjernet manuelt. Følgende stationer indeholder sådanne perioder: Deutche Bucht, Drogden, Elbe, Farø og Oder.

- **Enkeltstående målinger:** Hvis der er 1 døgn uden målinger på hver side af en måling, og denne enkelte måling ligger mindst 1 psu fra den lineære interpolering mellem nabopunkterne, fjernes målingen.



(a) (b)

Figur 4.2: Frontpassage ved station Valgrund. a) saltholdighed og b) temperatur. De 5 uafhængige saltmålere viser samme episode, men niveauerne er ikke rigtige. F.eks. er målingen i 10.9 m dybde den mindst salte i perioder. I de danske farvande, hvor saltholdighed dominerer densiteten, ville dette betyde, at det letteste vand er nederst. Dette kan oplagt ikke være korrekt gennem længere tid.

- **Spikes i tid 2:** "Spikes-i-tid" filteret er kørt igen. Denne gang er dS 1 psu højere end, da det blev kørt første gang og $dtid = 24$ timer.
- **Timeværdier:** Efter at de enkelte tidsserier er kontrolleret, er målingerne midlet til timeværdier.
- **Krav om stabil vandsøjle** Vandets densitet er beregnet ud fra timeværdierne for salt og temperatur. Hvis vandsøjlen er ustabil fjernes målingerne i alle dybder det pågældende tidspunkt. Grunden hertil er, at det ofte er umuligt at afgøre i hvilke(n) af dybderne, der er fejlmåling. Vi har dog tilladt at der er en ustabilitet på op til 0.5 kg/m^3 på grund af måleusikkerhed og at ustabilitet kan forekomme. Denne grænse bruges også i Århus Bugt.

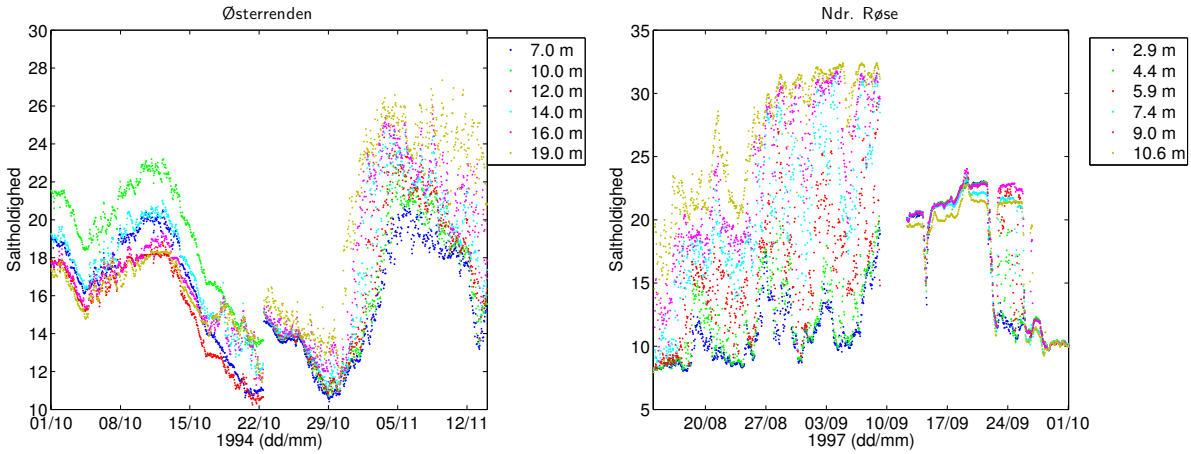
Tabellerne C.1 til C.21 viser, hvor mange datapunkter der er fjernet med de forskellige tjek. Information om manglende data finges i tabellerne C.22 til C.42 både for hele tidsserien, og når stabilitet kræves. Der er angivet største periode med manglende data, manglende data i alt både antal dage og i procent. Desuden er angivet hele periodens længde og det største tidsligeinterval, hvor der ikke er huller på over 2 dage. Alle perioder er givet i antal dage.

Vurdering af proceduren

Der er "spring" i saltholdighed for de fleste af stationerne. Figur 4.3 viser to eksempler på dette. Det ene er fra Østerrenden. Springet ser ud til at være sket i forbindelse med en rensning, hvor saltholdigheden i hver dybde ændres 1–5 psu. Det tyder på, at det er en rensning, fordi profilerne bliver stabile efterfølgende. De er også stabile 1 1/2 måned før dette spring. Der er kun 1 time, der mangler i tidsserien i forbindelse med springet. Ændringen i niveauet er af samme størrelse som ved rensningerne af bøjen i Århus Bugt. Det andet eksempel er fra Ndr. Røse. Der mangler målinger i 3 døgn omkring et spring. Derfor er det svært at bestemme om niveauerne er ændret eller ikke. Variationen kan sagtens forekomme naturligt, men vandsøjlen er ikke stabil efter springet.

Vi har ikke været i stand til at rette op på denne slags fejl, fordi vi ikke har fået tidspunkter for rensninger og afvigelsen til eventuelle kontrolmålinger. En mulighed kunne være at slette data

et stykke tid før springene, hvis vi tror, at de optræder i forbindelse med, at måleren bliver renset. Det er dog meget svært at vurdere, hvornår fejlen eller begroningen er startet. Disse fejlmålinger er derfor stadig inkluderede i de rettede tidsserier. Hvis vandsøjlen er ustabil så fjernes fejlmålingerne, i hvertfald delvis, ved stabilitetskriteriet. Hvis begroningen sker langsomt i forhold til variationen i systemet, er variationen i tidsserierne ikke nævneværdigt påvirkede af denne process. Tillige er springene som oftest ikke store i forhold til variabiliteten. Derfor antager vi, som før nævnt, at variabiliteten i tidsserierne er realistiske, og vi anvender hele tidsserierne til studierne af variabiliteten.



(a) (b)

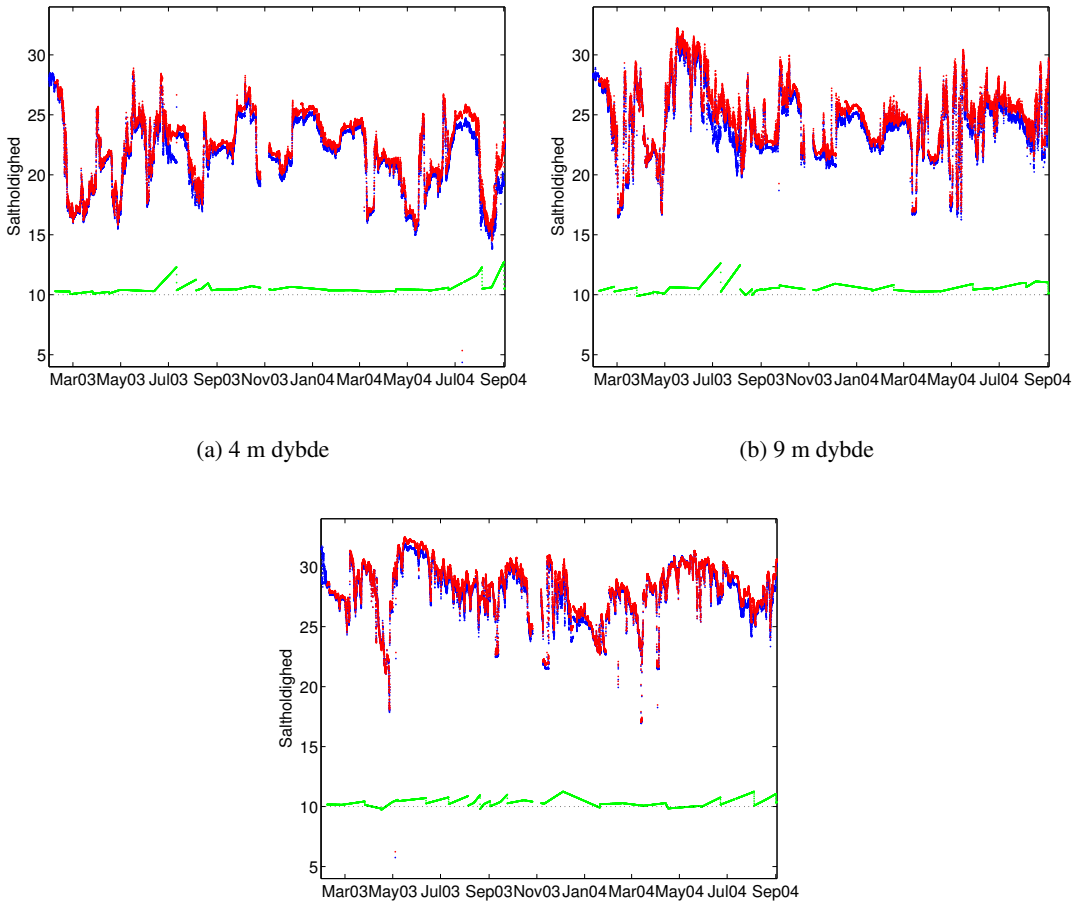
Figur 4.3: Eksempel på spring i data. a) Østerrenden. b) Ndr. Røse.

Filteret, der fjerner spikes, fjerner for mange punkter. Dette indvirker imidlertid ikke på analyserne, da det kun drejer sig om en meget lille del af tidsserien. Se envidere næste afsnit om Århus Bugt.

Århus Bugt

Saltholdighedsdata fra Århus Bugt er blevet rettet op ved at bruge forskellen mellem kontrolmålingerne og målingerne taget med bøjestationen. Der er brugt interpolation mellem forskellen, der er ved kontroltidspunkterne (offset). Offset'et er dernæst lagt til den rå tidsserie, se figur 4.4. Bøjestationen måler hver 1/2 time, så der er op til 15 minutter mellem kontrolmålingen og målingen foretaget med bøjestationen. Det antages, at disse to målinger er foretaget samtidigt, når differensen beregnes.

Tidsserierne fra Århus Bugt har dernæst været igennem det samme kvalitetskontrol som for de andre stationer. Stabilitetskravet er dog foretaget før timemidlingen. Der fjernes 5 målinger i 9 m dybde med spike-filtret. Af disse anser vi kun 2 punkter for at være reelle spikes. Ved stabilitetskriteriet fjernes i alle dybder 7 punkter. De 6 af punkterne er fejlmålinger i 14 m dybde. Det er svært at vurdere, om det sidste punkt er en fejlmåling i 9 m eller 14 m dybde. Den automatiske kontrol, som tidsserierne har været igennem, fjerner 31 målinger i de tre tidsserier, hvor et manuelt tjek kun ville fjerne ialt 15 punkter. Det er nærmest umuligt at fjerne alle fejlmålinger automatisk uden at nogle gode målinger også fjernes. Det er dog en så lille del der fjernes, at det ikke påvirker resultaterne.



(a) 4 m dybde

(b) 9 m dybde

(c) 14 m dybde

Figur 4.4: Saltholdighed fra Århus Bugt. Rå data er vist med blåt. Data, der er rettet op lineært, er vist med rødt. De grønne kurve viser størrelsen af den lineære trend beregnet ud fra forskellen mellem kontrolmålinger og målinger taget af bøjestationen. Nulpunktet for den grønne kurve er sat til 10 (den stiplede linie). Figur a) viser måleserien i 4 m dybde, b) i 9 m dybde og c) i 14 m dybde.

4.3 Analyser

Der er anvendt samme fremgangsmåde og metode til analyserne af saltholdighedsdata som ved temperaturanalyserne. Derfor er der kun nogle få kommentarer til analyserne af saltholdigheden. Fremgangsmåden er beskrevet i afsnit 3.3.

Simpel statistik og årlig variation

Resultatet af at anvende simpel statistik på månedsdata er præsenteret i tabellerne C.43 til C.136. Månedsmidler, median, maximum og minimum er beregnet ud fra tidsserierne, hvor det er et krav at vandsøjlen er stabil. Standardafvigelsen er beregnet ud fra hele tidsserien.

Den årlige variation i saltholdighed er beskrevet ud fra ovenstående statistik. Den årlige variation for alle dybder er vist i figur C.1 til C.6. Middel, std., min. og max. for hver måned og dybde for hver station er vist i figur C.7 til C.27.

Hyppighedsfordeling og dag til dag variation

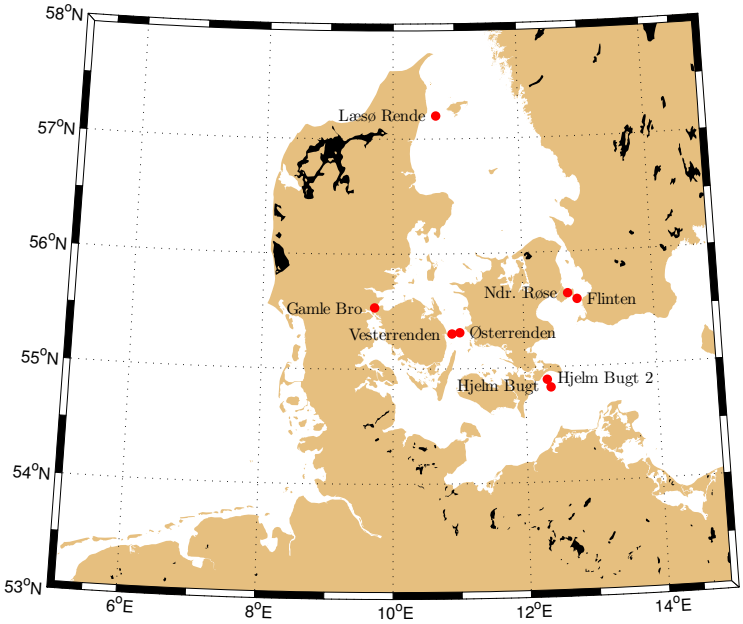
Hyppighedsfordeling og dag til dag variation er beregnet ud fra de fulde tidsserier (uden stabilitetskrav). For hver måned er hyppigheden i procent af saltholdigheden for hver hel psu beregnet og gengivet i tabel C.137 til C.230. De tilsvarende blokdiagrammer er vist i figur C.28 til C.111. Dag til dag variationen er præsenteret i tabellerne C.231 til C.324.

Kapitel 5

Strøm

5.1 Data

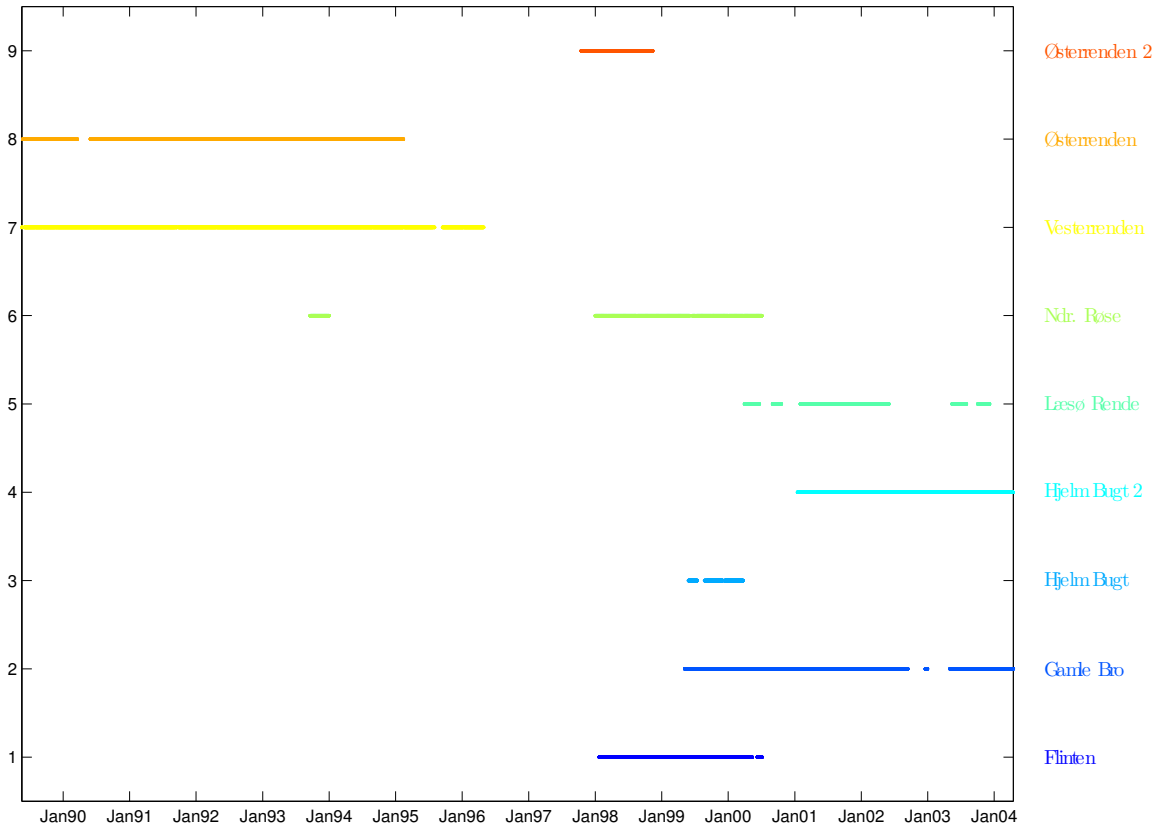
Dette kapitel beskriver analyser foretaget på strømdata.



Figur 5.1: Stationskort over målestationer med strøm. Østerrenden 2 ligger meget tæt på Østerrenden og er derfor ikke medtaget i figuren.

Lokaliteten af strømmålerene der er inkluderet i analyserne ses i figur 5.1. Der er kun benyttet ADCP[1] data, som generelt er af god kvalitet. Ca. 85% af vandsøjlen over ADCP'en bliver målt. En oversigt over den tidslige dækning for alle stationer er vist i figur 5.2.

[1] Acoustic Doppler Current Profiler



Figur 5.2: Tidslig dækning af strøm for alle stationer. Linierne viser hvor der er målinger for hver station i mindst én dybde.

5.2 Kvalitetskontrol af strømdata

Nedenfor følger kvalitetssikringsproceduren for strømdata:

- **Tidsstempel:** Tidsserierne er først blevet tidskontrollerede, således at punkter, hvor tiden går i stå eller går baglæns, er fjernet. 6 ud af 9 stationer indeholder eksempler på to forskellige værdier til samme tidspunkt. Da det er svært at sige, hvilke af de to værdier er den rigtige, er begge kasseret.
- **Out-of-range:** ”out-of-range” værdier er fjernet med et max/min-filter, der er sat til ± 3.5 m/s.
- **Spikes i tid:** ”Spikes” i tid er fjernet for alle stationer. En måling bliver betragtet som en ”spike” hvis målingen ligger mindst 0.2 m/s over eller under begge nabomålinger, $dV = 0.2$ m/s. Der må ikke være mere end 1 time mellem målingerne, $dtid = 1$ time.
- **Manuel rettelse:** Perioder med fejlmålinger er taget væk manuelt. Følgende stationer indeholder sådanne perioder: Flinten og Ndr. Røse.
- **Enkeltstående målinger:** Hvis der er 3.5 dag uden målinger på hver side af en måling, og denne enkelte måling ligger mindst 1 cm/s fra den lineære interpolering mellem nabopunkterne fjernes målingen.

- **Spikes i tid 2:** ”Spikes- i-tid” filteret er kørt igen. Nu er $dV = 0.3$ m/s og $dtid = 6$ timer.

Tabellerne D.1 til D.9 viser, hvor mange datapunkter der er fjernet med de forskellige tjek. Information om manglende data findes i tabellerne D.10 til D.18, hvor der er angivet største periode med manglende data, manglende data ialt både antal og i procent. Desuden er angivet hele periodens længde og det største interval, hvor der ikke er huller på over 2 dage.

5.3 Analyser

Simpel statistik

Simpel månedsstatistik for strømmen er præsenteret i tabel D.19 til D.61. Månedsmidler for strømhastighederne er beregnet (gns). Gns. for en måned er beregnet ved først at beregne dagsmidler[2] for hele perioden. Derefter er månedsmidler beregnet. Denne størrelse bliver kun beregnet, hvis der er mindst 15 dage med målinger i den pågældende måned. Værdien i tabellerne er gennemsnittet af månedsmidlerne og størrelsen år i tabellen angiver antallet af månedsmidler for den pågældende måned. Antal timeværdier for den pågældende måned er også givet (obs.).

Medianværdi og standardafvigelse (std.) er beregnet. Medianværdien er beregnet ud fra alle data i den pågældende måned. Std. er beregnet for hver enkelt måned, og derefter er gennemsnittet af disse beregnet. Variationen mellem de forskellige år er således ikke inkluderet, og alle måneder er herved vægtet ens, dvs. at der ikke er taget højde for hvor mange målinger der er i hver måned.

Den højeste og den laveste målte strømhastighed i hver måned (alle data) er også givet i tabellerne (hhv. max. og min.).

Tidevand

Strømdata er analyseret for tidevand vha. MATLAB programpakken t_tide [Pawlowicz et al., 2002]. Ellipseparameterne for de 4 største tidevandskonstituenter ved hver station og dybde ses i tabel D.62 til D.70. Ellipserne er optegnet i figurene D.1 til D.9.

Strømroser

Strømroser for samtlige stationer og dybder optegnet månedsvis ses i figur D.10 til D.95. Strømroserne er inddelt i 16 intervaller af hver 22.5 grader og i 5 hastighedsintervaller (< 0,25 m/s, < 0,50 m/s, < 0,75 m/s, < 1,00 m/s, > 1,00 m/s). Strømroserne viser procentfordelingen af strømstyrken opdelt på de 16 retningsintervaller.

[2] Hvis der er en observation for den pågældende dag medtages dagen

Kapitel 6

Sammenfatning

Denne datarappport indeholder en analyse af den naturlige variabilitet i de danske og omkringliggende farvande for parametrene vandstand, strøm, temperatur og saltholdighed. Vi har valgt at lave rapporten som et slags opslagsværk, og hovedvægten i rapporten er lagt på tabeller og figurer med overskuelig information.

En vigtig erfaring fra den gennemførte dataanalyse er, at en kvalitetssikringsprocedure for observationer er af meget stor vigtighed for den videre brug af data og bør indgå som en integreret del af et observationsprogram. Som det fremgår af rapporten, så er data praktisk taget ubrugelige uden kvalitetskontrol og et løbende tilsyn. Et observationsprogram uden løbende tilsyn med rensning, vedligeholdelse og kontrolmålinger, og en efterfølgende datakontrol og -behandling må betragtes som spild af ressourcer. Fælles procedurer for kvalitetssikring af oceanografiske observationer for de ansvarlige observationsmyndigheder er ønskværdig.

6.1 Den naturlige variabilitet

Nedenfor er opsummeret nogle af de overordnede betragtninger, der kan udledes fra de foretagede analyser af den naturlige variabilitet.

Vandstand og tidevand

Farvandene omkring Danmark er præget af forskellige effekter på vandstanden, med Nordsøen domineret af tidevand, til Østersøen, hvor der ikke er noget tidevand af betydning og hvor variationer i vandstanden derfor udelukkende skyldes atmosfærens påvirkning.

I Kattegat og Storebælt er tidevandets amplitude af størrelsen 10-15 cm. I Øresund under 10 cm, og længere inde i Østersøen bliver det uden betydning. For stationer, der ikke er domineret af tidevand, ses en standardafvigelse i vandstanden at være af størrelsen ca. 20 cm.

Temperatur

Variationen i temperaturen gennem året er af størrelsen 13 – 20 ° C i de øverste lag, og ca. 10 – 15 ° C ved bunden.

For de fleste stationer ses i sommerhalvåret en udvikling af en temperaturgradient ned gennem vandsøjlen. En relativ kraftig temperaturgradient ses i Storebælt. I Øresund ses en svag vertikal temperaturgradient ved Nordre Røse stationen nord for tærsklen, hvorimod der i middel ikke ses

en temperaturgradient syd for tærsklen ved stationerne Flinten og Drogden. Ligeledes ses en opblandet vandmasse for station Farø. Ved stationerne i Tyske Bugt ses for Elbe og EMS en opblandet vandmasse uden temperaturgradient, ved station Deutche Bucht en svag gradient, og længere ude i Nordsøen ved station North Sea ses en temperaturgradient i sommerhalvåret.

For en stor del af de stationer hvor der ses en vertikal temperaturgradient, ses en tydelig tidslig forskydning af temperaturmaksimum med dybden. Det skyldes en langsom propagering af varme ned gennem vandsøjlen. Data fra Århus Bugt og Hjelm Bugt ses som fine eksempler.

Fra spektralanalyserne ses en dominant daglig variation nær overfladen, som forventet. Dybere nede ses signaler, der følger tidevandet på stationen.

Saltholdighed

Generelt var datakvaliteten af saltholdighedsdata ringe, hvilket dog ikke gælder for stationen i Århus Bugt. Analyserne af saltholdigheden må derfor tages med et vist forbehold.

I de indre danske farvande, Kattegat og Skagerrak sker en opblanding af det salte nordsøvand med det ferske østersøvand. Dette resulterer i et meget stort interval af saltholdighed ved de analyserede stationer; fra op til 35 i Tyske Bugt til ca. 7 ved Darss Sill i den vestlige del af Østersøen.

Variabiliteten i saltholdigheden, eksemplificeret ved standardafvigelsen, varierer ligeledes en del mellem de forskellige stationer. For station Deutche Bucht ses en relativ lille standardafvigelse (ca. 1), hvorimod stationer i Øresund (Drogden, Flinten, Nordre Røse), der er domineret af frontpassager, har betydeligt højere standard afvigelser (op til 7).

I Øresund ses betydeligt større saltholdigheder om vinteren end om sommeren (forskel på op til ca. 6); hvilket ses som en kombination af en større ferskvandstilførsel til Østersøen om foråret, og af en kraftigere vestenvind om vinteren, hvilket vil presse fronten længere mod syd om vinteren.

Lagdelingen i Øresund ses at opretholdes hele året rundt. I Storebælt og Lillebælt viser de analyserede stationer (Romsø Tue Fyr, Vesterrenden, Østerrenden, Langelandsbælt og Gamle Bro) en kraftig lagdeling om sommeren. Denne lagdeling nedbrydes om vinteren, hvor der ses en opblandet homogen vandmasse.

Strøm

Strømdata viser store variationer mellem de analyserede stationer afhængig af deres geografiske placering. Middelstrømme ses af størrelsen 10 cm/s – 70 cm/s, hvor de laveste hastigheder er fra station Hjelm Bugt og de største fra Lillebælt. Tilsvarende varierer den maksimale strøm målt på en station fra mindre end 1 m/s i Hjelm Bugt til mere end 3 m/s i Lillebælt. Her bør de begrænsede antal analyserede år naturligvis holdes in mente.

Storebælt og Øresund ses at have strømme af samme størrelsesorden, med middelstrømme på omkring 0,5 m/s i overfladen og med makismalt målte strømme på omkring 2 m/s.

Ud fra strømroserne ses at strømretningerne for en del af stationerne er styret af bathymetrien og områdets geografi. Station Gamle Bro i Lillebælt viser en klar hovedstrømretning. For enkelte af de månedlige strømroser ses eksempelvis at for mere end 80 % af målingerne foregår strømmen i hovedstrømretningen. I Øresund ses ligeledes en hovedstrømretning på stationerne Flinten og Ndr. Røse. Hjelm Bugt stationen viser et variabelt strømmønster med strøm i samtlige retningsintervaller.

Litteratur

Emery, W. J. and Thomson, R. E. (2001). *Data analysis methods in physical oceanography*. Pergamon.

Huess, V., Nielsen, P. B., and Nielsen, J. W. (2002). Tidevand ved de danske vandsstationer. Technical Report 02-21, Danmarks Meterologiske Institut.

Pawlowicz, R., Beardsley, B., and Lentz, S. (2002). Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. *Computers and Geosciences*, 28:929–937.