

Detailanalyser bag justering fra ver.06 til ver.13 indeks

Fakta om forringelse af møllernes produktion i tid og inddragelse af Merra og EMD_ConWx model vinddata til kalibrering af vindindeks niveauet.

Af Per Nielsen, EMD International A/S

Ver. 5. 30-10-2013 – PUBLIC

Indhold

Opsummering	1
Baggrund – UK undersøgelse	3
Kontrol af vindindeks niveau med målemaster	4
Analyse af forringelse i tid	6
Den samlede forringelse i tid	10
Hvorfor forringes mølleproduktion i tid	10
Alder, størrelse og mølletype forskelle	14
Justering af vindenergi indekset	17
Merra vs ConWx som indeks generatorer, samt valg af filter	20

Opsummering

Det kan med baggrund i produktionsdata for alle danske vindmøller konstateres at der er en vis nedgang i produktion i tid i forhold til den vind, de er til rådighed. Der er tale om ca. 0,6% pr.år.

Forringelserne i møllernes produktion kan tilskrives følgende:

- nedgang i rådighed, altså flere længere driftsstop med alderen
- terrænet ændrer sig, dvs. træer vokser og der bygges. Det giver større ruhed og lægger reduktion
- gradvis forringelse af vindmøllerne (overflader på vinger, krøjefejl, flere "småfejle" i tid mv.)
- flere vindmøller i terrænet kan give reduktion, det er dog meget få steder i Danmark dette vurderes at kunne betyde noget grundet planlovens afstandskrav. I Tyskland derimod væsentligt mere.

Det kan imidlertid ikke på baggrund af de data der er til rådighed og de udførte analyser siges hvor stor en andel af forringelsen der kan tilskrives de forskellige punkter. Det eneste der med sikkerhed kan siges er at de 0,2% stammer fra nedgang i rådighed. Men der er nok en større andel der skal forklares af dette, da stop af kortere varighed ikke fanges af datafiltreringen. Og det er almindelig kendt at



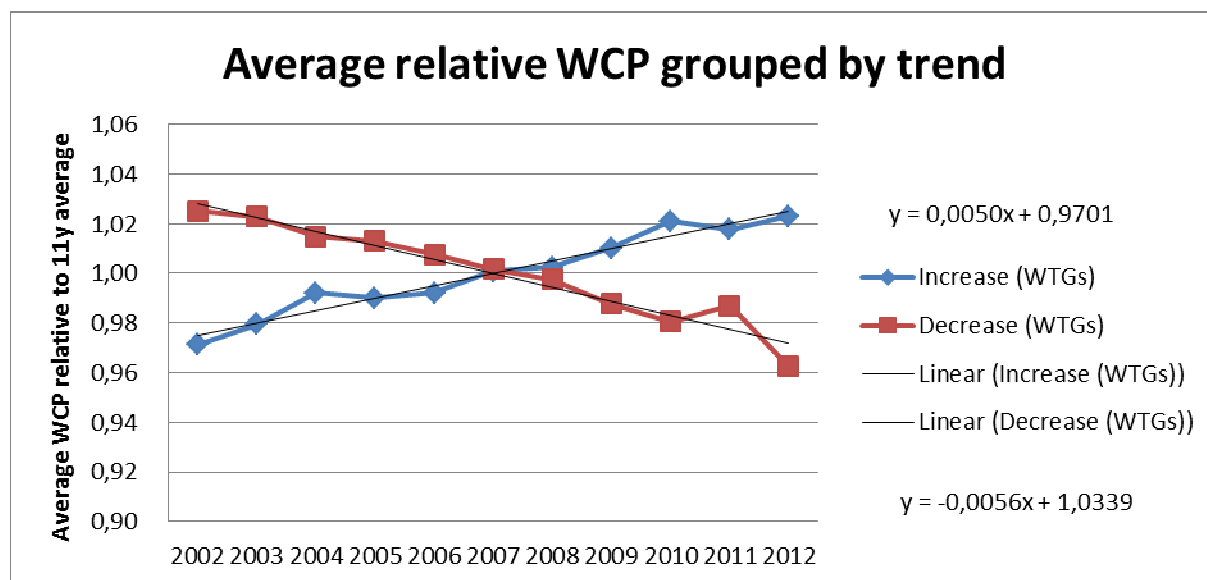
interessen for en hurtig løsning af et problem falder med møllens alder, og fx udskydes en reparation med henblik på en billigørelse for ældre møller der afregnes med en lav elpris.

Når vi med stor sikkerhed kan påstå der sker en forringelse, skyldes dette: Ved at opdele møllerne i 2 lige store grupper, dem der forbedrer og dem der forringer produktion i forhold til vindindeks, så passer den trend for dem der forbedrer med hvad model vinddata i gennemsnit viser der burde være af vind til rådighed relativ til hvad vindindeks siger. Da vi ikke tror halvdelen af møllerne forbedrer produktionsevnen i tid, må det være fordi vindforhold beskrevet ved vindindeks, indeholder den nedgang i produktion som møllerne udviser. Med andre ord indeholder vindindekset en nedgang i møllers produktionsevne, og beskriver således ikke kun vinden. Dette fører naturligvis til en revision af vindenergi indekset.

At problemet ikke har været synligt, skyldes netop at vindenergi indekset baseres på mølleproduktion, og derfor falder det sammen med møllernes produktion. Jeg har forsøgt at holde øje med at dette ikke sker, når jeg hver måned genererer vindindeks, ved at lave et kontrol indeks ud fra 3 vindmålemaster. Der er imidlertid tale om så små ændringer, at disse drukner i den forskel der er mellem de vindmåler og de mølleproduktions baserede indeks. Dette beskrives mere detaljeret i denne rapport.

Endelig redegøres for hvorledes nedgangen ikke kan tilskrives bestemte mølletyper, men at der er en vis forøgelse i nedgangen med alderen af møllen.

Der redegøres også for hvordan vindindeks baseret på model vinddata er gode til at afsløre lidt længevarende trends, men ikke præcise nok på månedsniveau til at etablere et fornuftigt vindindeks. Derfor bør mølleproduktioner fortsat anvendes til indeks beregning, blot med inddragelse af den nye viden så fremtidige ændringer i møllernes tilstand ikke giver forskydninger i indeks.



Kernen i undersøgelsen er denne graf, der viser hvordan halvdelen af de danske vindmøller forbedrer produktion år for år efter vindindeks korrektion, den anden halvdel forringer. Dette viser indeks er forkert, idet vi antager at halvdelen af møllerne i Danmark ikke er forbedret nævneværdigt gennem årene – altså må det være vindindekset, der er faldet mere end vinden reelt er faldet.

Bemærk: Dette dokument skal ses som et arbejdsnotat, hvor "findings" rapporteres, ikke en formfuldendt videnskabelig rapport – der er ingen ekstern finansiering til arbejdet.

Baggrund – UK undersøgelse

Flere skotske analyser vedr. udviklingen af vindmøllernes produktion i tid påstår der er en markant forringelse i vindmøllers produktion i tid i forhold til den vind der er til rådighed. Første offentliggjorte artikel: G. Hughes, *The Performance of Wind Farms in the United Kingdom and Denmark*. 2012, London: Renewable Energy Foundation. URL: <http://tinyurl.com/cn5qngg>. Senest meget omfattende og "rimeligt" seriøse analyse (endnu ikke offentliggjort fra Imperial College Business School), konkluderer at forringelsen er 1,6% pr. år. Det er meget voldsomt. 16% tab i produktionsevne over 10 år er langt mere end vi går og forestiller os. Og det er vel og mærke en forringelse der starter allerede i de første driftsår, altså en konstant årlig forringelse. Når jeg skriver at analysen er "rimelig" seriøs, skyldes det at mindst en forudsætning i analysen ikke synes seriøs. Man tager nedtagne møller med i den produktion man burde have haft når man beregner forringelsen. Det virker ikke rimeligt, selv om man kan påstå at disse repræsenterer en forringelse i den samlede mølleproduktion, så vil jeg mene at det blot er en naturlig udvikling at gamle møller der er nedslidte tages ned – det har ikke noget at gøre med at møllers produktion generelt forringes. Men selv med korrektion for dette, vil der nok være en markant forringelse.

Jeg har derfor sat mig for at gennemføre en tilsvarende analyse for de Danske møller. Og konklusionen er "desværre", at der er noget om snakken. Jeg kommer frem til en årlig gennemsnitlig forringelse på 0,6% - altså 6% over 10 år. Det er noget mere end jeg ville have forventet. Det er dog for mange møller langt værre. Jeg har opdelt alle danske møller i 2 lige store grupper, den ene har i gns. 0% forringelse, mens den anden i gns. har 1,2% pr. år. Men når jeg skriver "desværre" i anførselstegn, så er det fordi intet er så skidt det ikke er godt for noget. For det at have denne viden, giver mølleejere, fabrikanter og service firmaer mulighed for at handle. Meget af forringelsen vurderer jeg der kan gøres noget ved. Det er med andre ord tid for en mere grundig vedligeholdelse af møllerne, så produktionstab i tid kan reduceres. Eksempler på noget der kan gøres noget ved er vingernes overflader, der kan "shines op", og fejl i kontrolsystemet kan rettes op. Et godt eksempel er krøje fejl. Her har analyser gennemført af ROMO vind vist eksempler på 20 graders krøje fejl, der giver omkring 6% mistet produktion. Det er fejl, der kan komme med tiden fordi sensorer gennem påvirkning af vind og vejr ikke performer som da møllen var ny. Jeg vender senere tilbage med flere forklaringer.

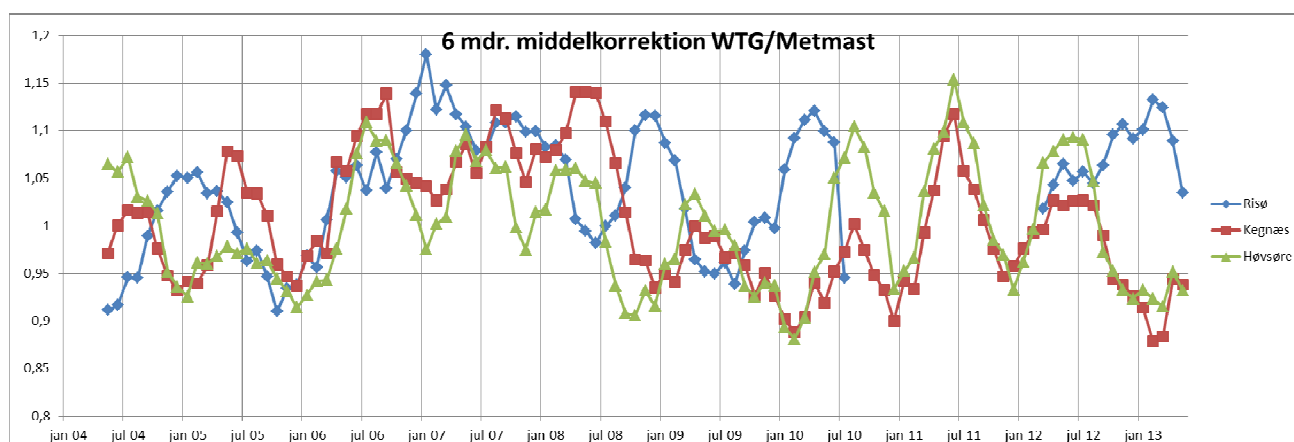
Men hvorfor den store forskel mellem UK og DK møllerne, udover det allerede beskrevne. Jeg tror der er følgende væsentlige forskelle.

- 1) Mange DK møller står nær kysten, og oplever derfor ikke en faldende vind grundet stigende bevoksning.
- 2) Vedligeholdelses niveau af de danske møller er langt bedre end UK møllerne. Dette har med ejerforhold (mindre private ejere er mere "krævende" hvad angår hurtig indsats) samt nærhed til service at gøre. En del UK møller er udfasede mærker som fx Mitsubizi, hvor de fleste DK møller har en solid producent opbakning eller højt specialiserede service firmaer til at sikre reservedele hurtigt kan leveres og reparationer gennemføres hurtigt.

- 3) Uden at vide det sikkert, kunne jeg forestille mig mange UK parker er udbygget med flere møller i tiden, eller der er bygget nære naboparker, og derfor stigende park tab. I DK forekommer dette næsten ikke bl.a. grundet planloven, der kræver en vis afstand fra et nyt mølleprojekt til et eksisterende.

Kontrol af vindindeks niveau med målemaster

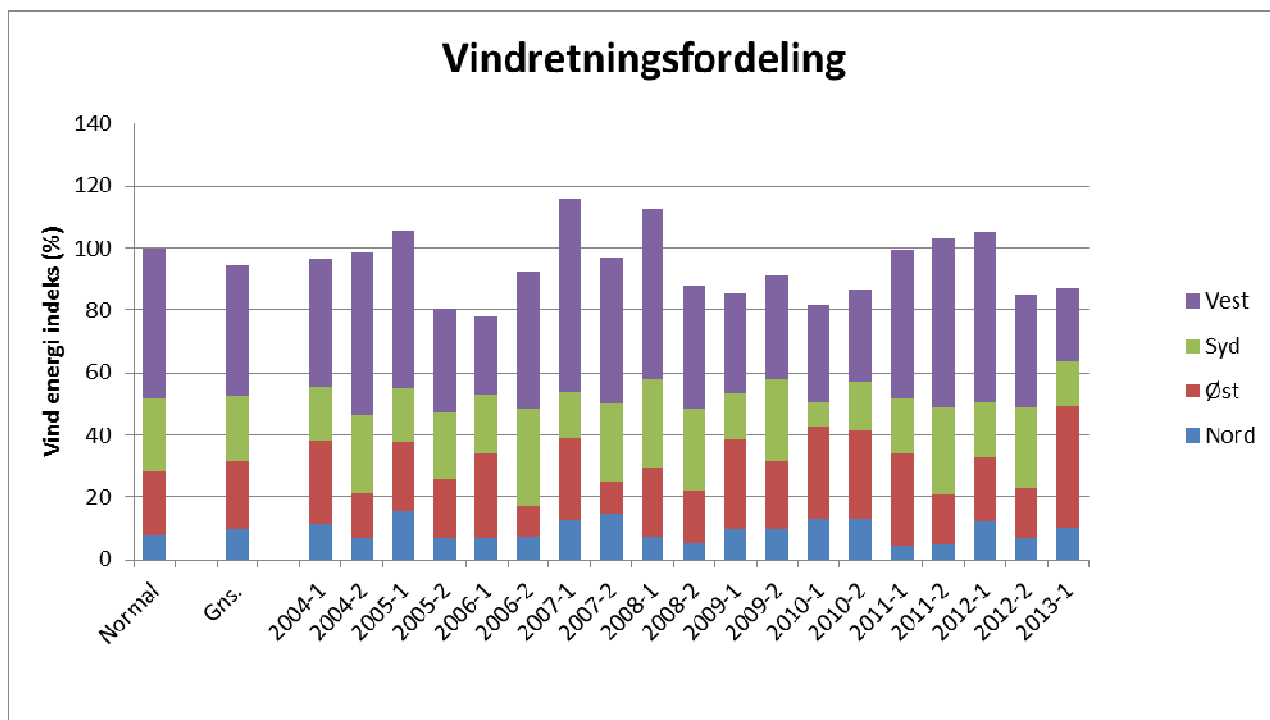
For at imødegå det problem, der nu er konstateret, har der fra starten af genereringen af det nye EMD ver.06 indeks, været etableret en kontrolfunktion.



Figur 1 6 måneders middel forhold mellem mølle og vindmåler indeks.

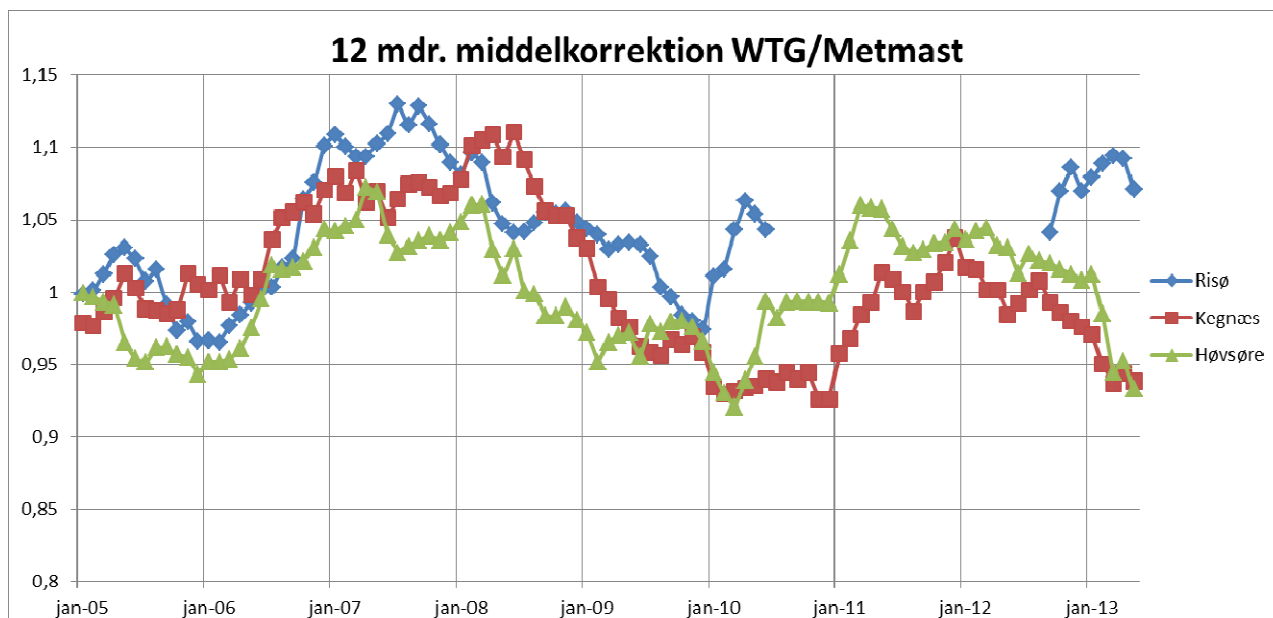
Hver måned finder jeg forholdet mellem mølle og målemast baseret indeks. Målemast indekset udregnes ved at omregne målt vind til ens ruhed i alle retninger ud fra retnings ruhedsfordeling, for herefter at gange en typisk effektkurve på og derefter luftmassefylde korrigerer. Det er primært en kontrol af at indeksniveau ikke skrider, fx som følge af at referencemøller performer ringere og ringere, fx grundet degradering af vinger eller stigende driftsproblemer, eller at antal referencemøller reduceres. Midlet over 6 måneder kommer der et interessant mønster. I forårs månederne er der en vis tendens til at møllerne performer bedre end målemast baseret indeks for Kegnæs og Høvsøre (opadgående graf), omvendt om efteråret, og en vis tendens til at det er modsat for Risø mast. (Risø mast var ude af drift medio 10 til medio 11).

Det er imidlertid vanskeligt at sige hvorfor. Forskelle i vegetation mellem målemaster og referencemøller kan være én forklaring. Stabilitetsforhold en anden (de to jyske master står kystnært, og kan derfor have en anderledes "opfattelse" af vinden end referencemøllegennemsnit). Det er dog kun reelt for Kegnæs masten at stabilitetsforhold bør være et problem, idet der både ved Høvsøre og Risø måles i navhøjde (40-44 m data anvendes). Dog kan stabilitetsforhold påvirke effektkurven, og herigennem have en betydning. Vindretningsfordeling spiller også ind, idet der typisk er mere østenvind i første halvår i forhold til 2. halvår. Dette vises i neden viste graf.



Figur 2 Retnings fordeling af vindenergi i hhv. 1. og 2. halvår de seneste 10 år. Der er klart mere østen vind i 1. halvår.

Ser man på de årlige middeldkorrektioner, ses op til ca. 10% afvigelse mellem mølle baseret indeks og vindmåler baseret indeks, se næste graf.



Figur 3 Årligt gns. forhold mellem mølle og målemast indeks. Eet punkt på grafen repræsenterer forudgående 12 måneders gns.

Især i lavvindsårene 2006+10 undervurderer masterne indekset i forhold til møllerne, men den forskydning der opbygges i 2006 forbliver i højvindsåret 2007, for atter at falde ned "på plads" gennem normalåret 2008. Herefter er det kørt lidt op og ned, uden nogen entydig systematik. Man kan dog godt ane en vis forringelse i mølleindeks i forhold til målemast indeks i tid, men det fremstår ikke så klart at man direkte

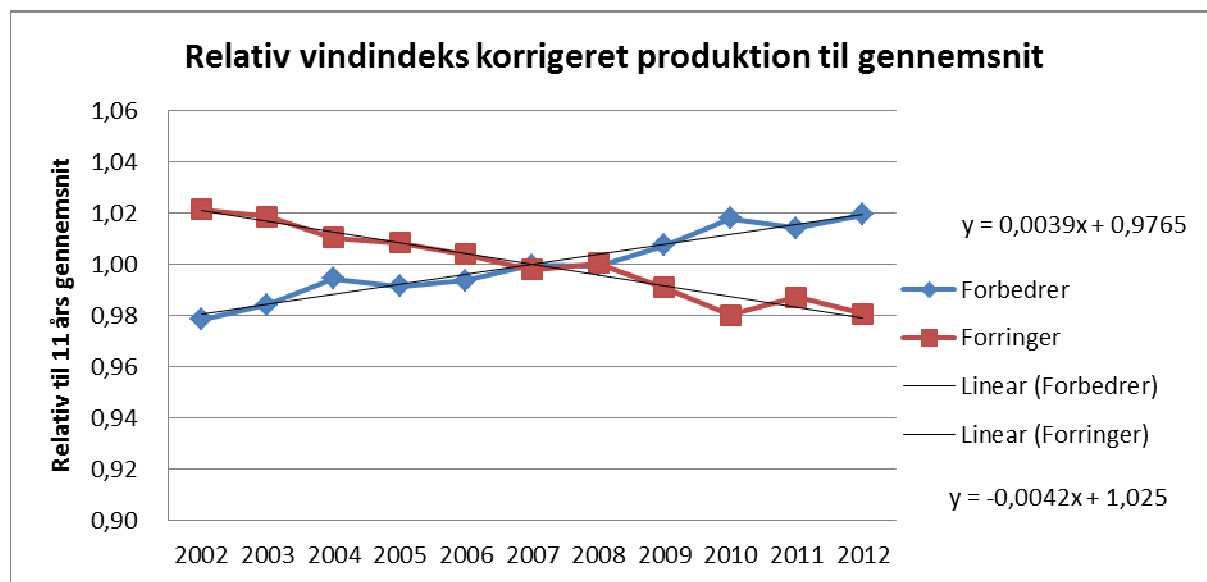
kan uddrage konklusioner om møllernes forringelse i tid. Bemærk ny målemast på Risø efterår 11. Det i sig selv kan give en forskydning, hvis der blot er en mindre kalibreringsforskel mellem de gamle og nye instrumenter – vindhastighedsmålinger er ekstremt følsomme, og da vindens energi vokser med vindhastigheden opløftet i 3' die potens, siger det sig selv at vindmåler baseret vindindeks er ekstremt følsomt at etablere pålideligt. Dog spiller 3' die potens ikke direkte ind, når man taler mølleenergi. Filtreres med en effektkurve, vokser energien ca. med vindhastigheden i 2' potens. Og ser man på årsmiddelvindhastigheder, vokser mølleenergien næsten lineært med vindhastigheden.

Skal man konkludere fra de viste analyser, må man sige at basere et vind energi indeks på vindmålinger alene, er yderst problematisk. Produktionsdata fra mange geografisk fordelte møller synes langt mere "robust", selv om disse data også har problemområder. Det er således ikke vindmålerne, der kan anvendes til at kvantificere evt. forringelse i produktion.

Analyse af forringelse i tid

Efter mange forsøg på at opstille en analyse, der kunne kvantificere en evt. forringelse i tid, kom jeg på denne ide. At beregne en trendlinje for hver enkelt mølle for perioden 2002-12 (hvor månedsdata haves fra Stamdata register), baseret på vindindeks korrigeret månedsproduktioner, hvor måneder med særlig lav produktion (driftsproblemer) sorteres fra. Herefter finde gns. af alle med hhv. nedad og opad gående trend.

Det er væsentligt at bemærke at når man skal analyserer produktion i forhold til vindforhold, skal måneder med lav rådighed frasorteres. Når man skal finde den samlede forringelse i tid, skal disse data med.



Figur 4 Gns. vindindeks korrigeret produktion, normaliseret, grupperet efter op/ned trendende møller med > 0,05% trend per år.

Figuren ovenfor viser essensen af analysen. Ca. halvdelen af alle møller har en stigende vindkorrigeret produktion, den anden halvdel faldende. I gennemsnit er den vindkorrigerede produktion konstant med årene, hvilket viser at vindindeks repræsenterer et gennemsnit af alle møllers produktion meget præcist.

Følgende møller er ikke med:



< 150 kW – dette er bl.a. husstandsmøller, hvor produktion ikke kendes, kun den andel der er solgt til net, og egetforbruget fra møllerne spiller derfor ind som en ukendt. Desuden er en del af de ældre fx 55kW møller ombygget til 25 kW for at komme ind under husstandsmølle regler.

>1300 kW – da vi kun ser på møller etableret før 2002, altså møller der har produktionsdata gennem hele perioden, er der meget få, der er større, og disse har ofte "forsøgs mølle status".

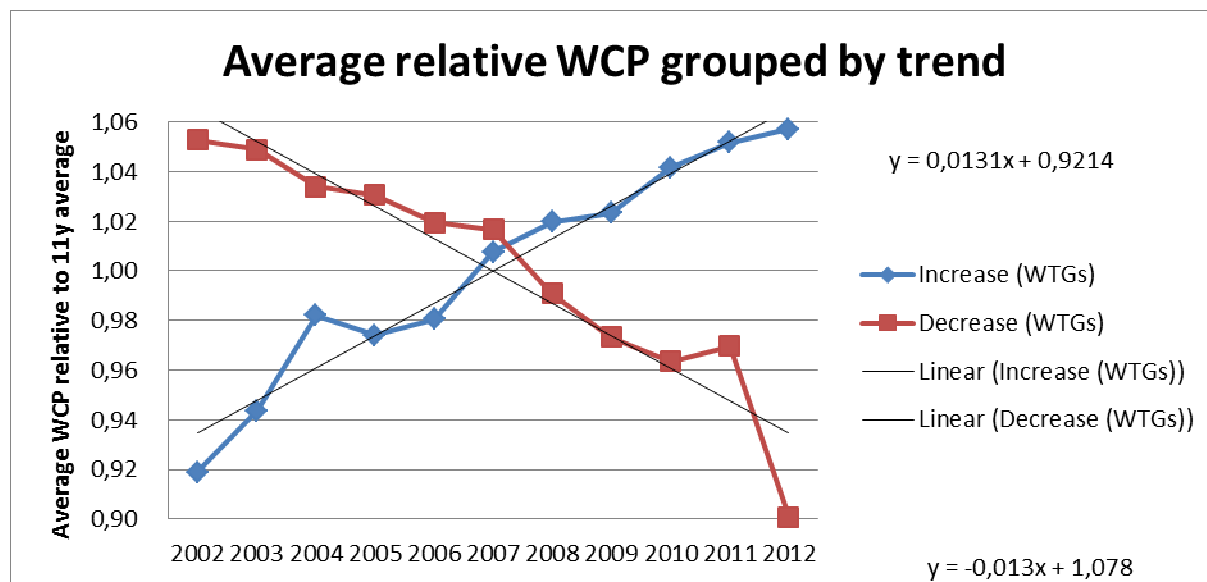
Offshore møller – vindindekset er primært for onshore møller. Offshore bør analyseres separat, da der er helt andre vindforhold offshore.

Der er således 3.218 af 3.382 møller med i gns. hvor halvdelen har opadgående, halvdelen nedadgående trend. De ca. 165 møller der ikke er med i gns. har hverken op eller nedadgående trend, når kriteriet for at medtage sættes til min. 0,05% ændring pr. år.

Tesen er nu at møller ikke kan forbedre produktion i tid i forhold til den vind, der er til rådighed, når der er korrigeret for udetid. Det er naturligvis ikke den fulde sandhed, men det er mit generelle indtryk fra et solidt kendskab til møllerne i DK at det er sjældent, der gennemføres deciderede produktionsforbedrende løsninger på møllerne. Der er naturligvis undtagelser, men ikke så meget det forventes at påvirke resultat nævneværdigt.

Det betyder så at gruppen af møller der forbedrer i tid reelt viser det nedadgående skred i vindindeks der er i perioden. Det er 0,5% pr år, og dermed samtidig det som alle møller i gennemsnit forringer i tid i perioden.

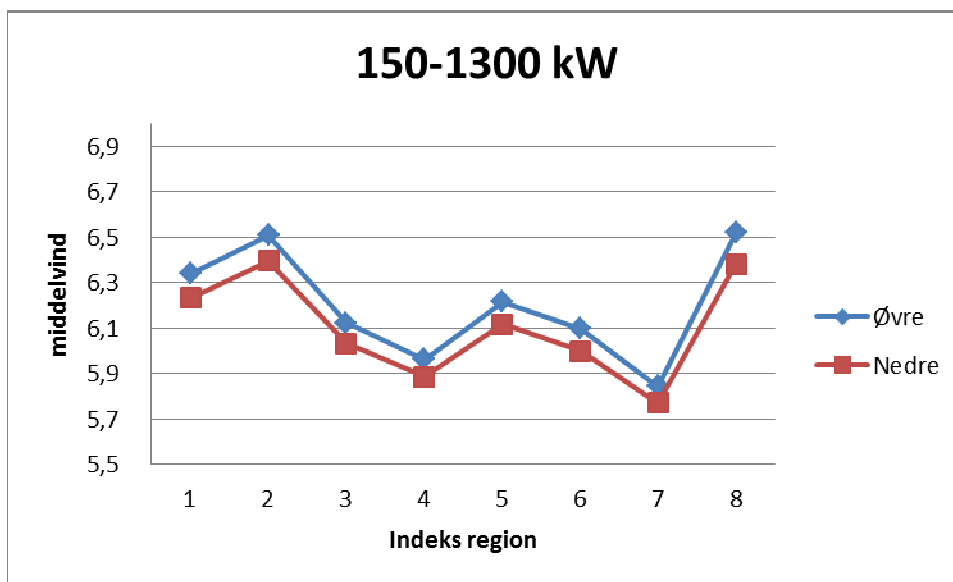
Men det kunne jo være at det var endnu værre; at gennemsnittet ikke er repræsentativt, men at man skulle se på fx gns. af de møller der forbedrer i tid > 0,5% per år i stedet for dem der forbedrer i tid > 0,05% per år.



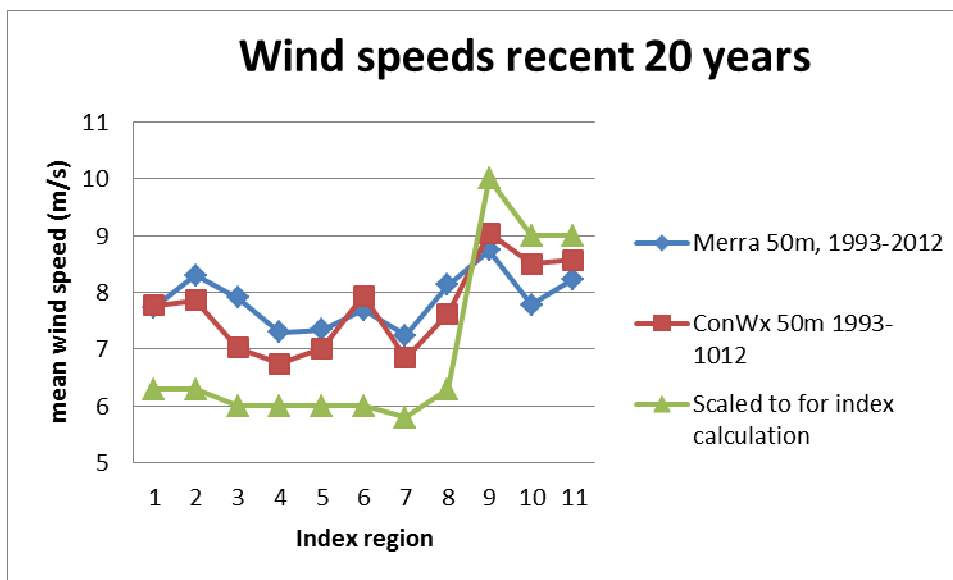
Figur 5 Gns. af møller der ændrer i tid > 0,5% per år.

Her bliver årlig trend 1,3% per år, hhv. op og ned. Men her repræsenteres kun 869 møller, altså under 25%. Det er næppe rimeligt at konkludere på en så lille andel, da for mange tilfældigheder spiller ind.

Men for at være mere sikker, inddrages model vind data, hhv. Merra og EMD_ConWx data. Et intensivt studie af disse data som vindindeks generatorer beskrives særskilt. Her anvendes blot de indeks, som er genereret med de forudsætninger jeg mener, kommer tættest på virkeligheden. Bl.a. skaleres de enkelte indeks regioners Merra/ConWx punkter til de middelvindhastigheder møllerne i gns. kan konstateres at have ved at regne baglæns fra årsmiddelproduktion til årsmiddelvindhastighed.

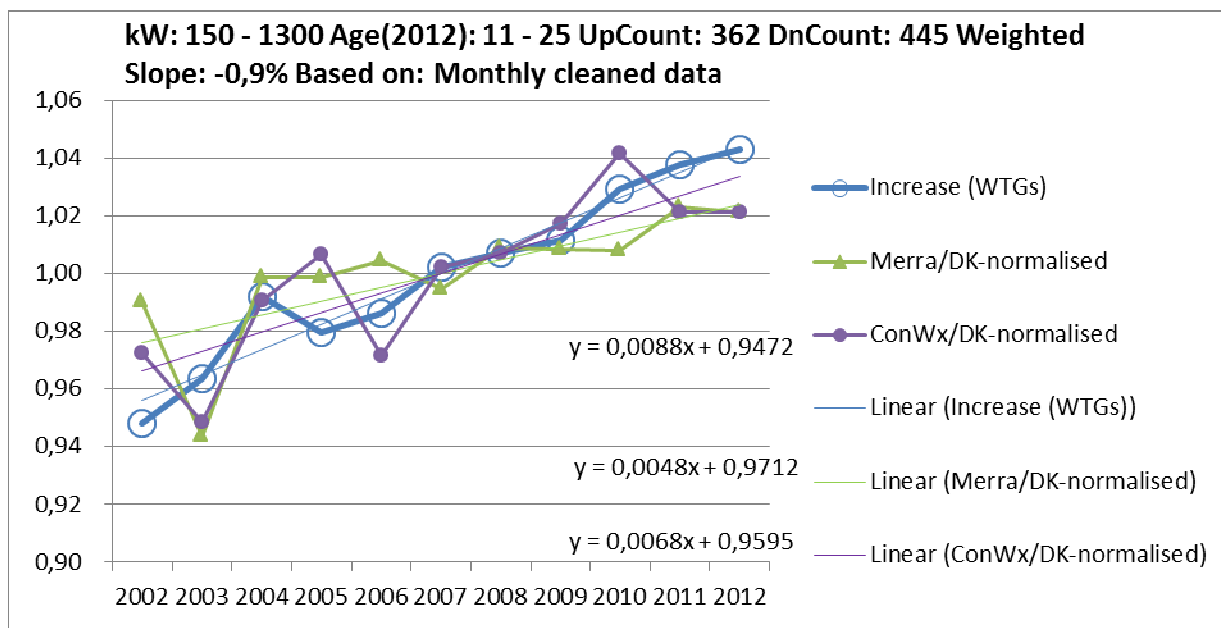


Figur 6 Middelvindhastigheder i indeksregionerne ud fra mølleproduktion og HP-kurve opslag. Nedre/øvre er når der som indgang i HP tabeller hhv. anvendes den specifikke effekt, der er hhv. lige under/over møllens faktiske specifikke effekt.



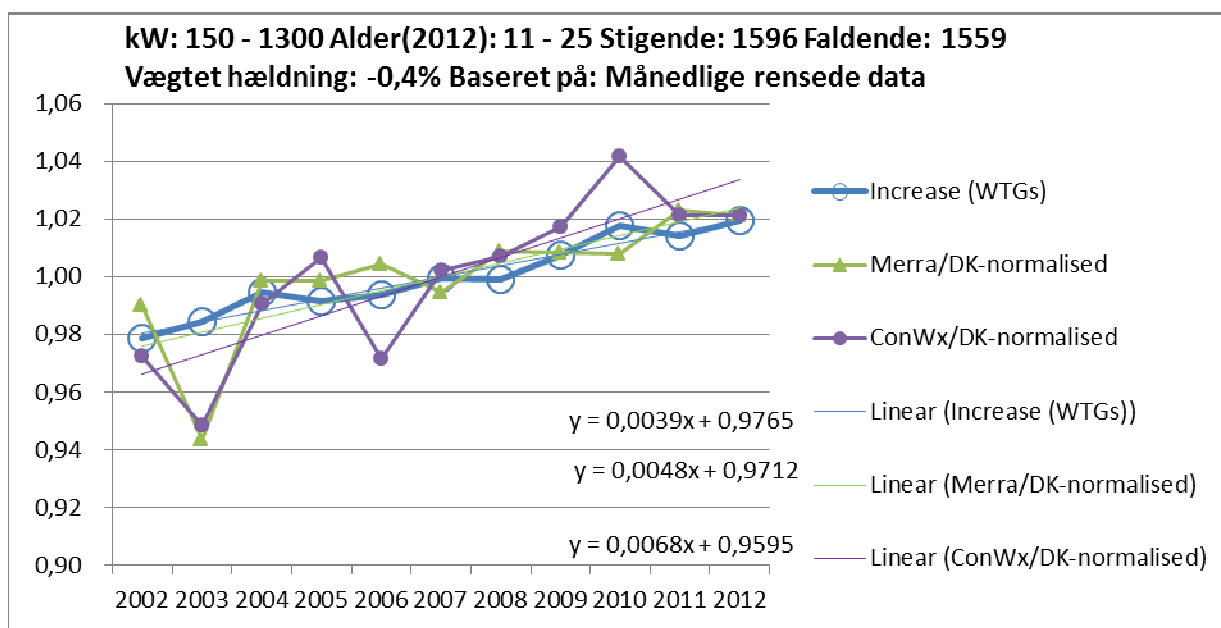
Figur 7 De vindhastigheder der er modelleret af hhv. Merra og ConWx i de enkelte regioner i 50m over terræn, samt det disse skaleres til ved indeks beregning.

Bemærk at modellerne markant overvurderer onshore og undervurderer offshore. ConWx data dog noget mindre end Merra. Undervurderingen offshore skyldes dog primært navhøjdeforskelle. ConWx data har vist sig at være meget præcise offshore.



Figur 8 Sammenhænge mellem møller der vindindekskorrigeret forbedrer i tid og hhv. Merra og ConWx indeks relativt til DK ver.06 indeks, hvor gns. beregnes fra alle møller med mere end +/- 0,5% trend.

Figuren viser at møller der forbedrer gennemsnitligt øger 0,9% per år, mens samme værdi for Merra er 0,5% per år og for ConWx 0,7% per år. Der er altså med baggrund i vind model data ikke belæg for en så stor korrektion, som kun møller med mere end 0,5% trend giver.



Figur 9 Gns. af møller > +/- 0,05% trend per år sammenholdt med Merra og ConWx indeks relativt til DK indeks.

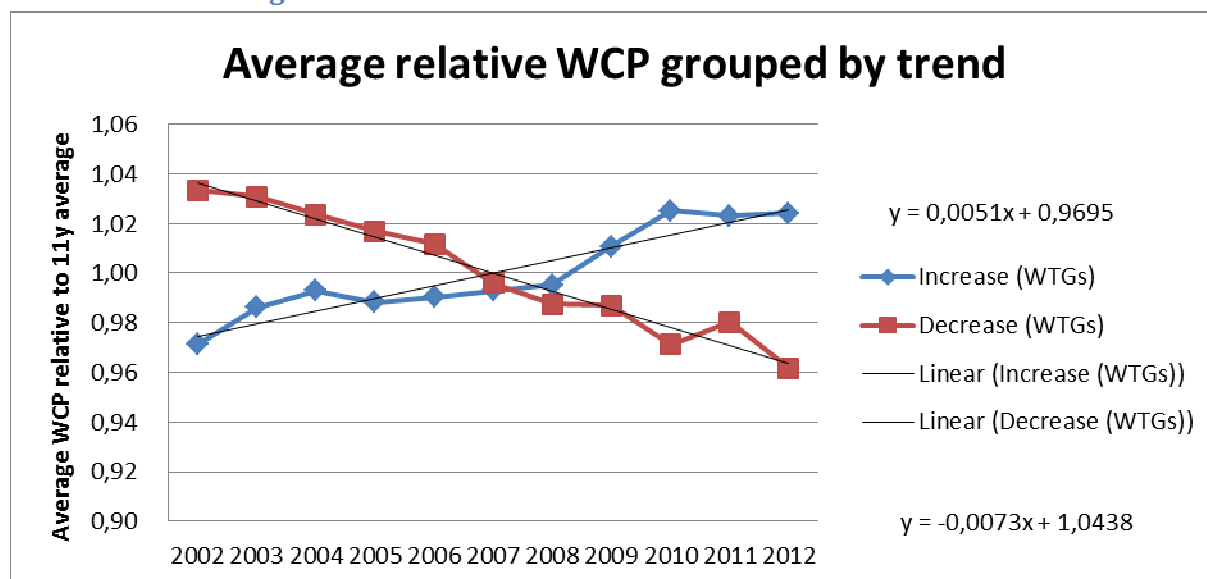
Her ses en meget fin overensstemmelse mellem møllernes forbedring og de to model data indeks. Derved understøttes at forbedring ikke skyldes møllerne bliver bedre med tiden, men at indekset fejlagtigt falder. Merra synes at ramme møllernes trend lidt bedre end ConWx fra år til år. Begge har dog især problemer i 2003 – noget jeg har set på, men ikke fundet en god forklaring. Dog er der én parameter i generering af

indeks fra vind model data, som resultater er ret følsom overfor, nemlig den anvendte effektkurve. Dette er beskrevet mere udførligt separat.

Merra og møllernes trendlinje er her næsten identisk. Det giver god tillid til at det er den korrektion vi søger efter til vindindekset. Merra afvigelsen i 2003 udkompenseres af en afvigelse den anden vej i 2002. Dette ses ikke for ConWx data, som har lignende problemer i 2010, og derfor ikke ses som den rette løsning for korrektion. Der er dog andre positive ting ved ConWx data, fx håndteres sæsonvariationer langt bedre af disse end Merra. Det handler derfor om at udnytte hver af de to kilders styrker i forening, hvis disse skal anvendes som indeks generatorer. Dog mener jeg ikke man kan etablere tilnærmelses vis så gode (retvisende) indeks fra disse kilder på månedsniveau, som ud fra mølleproduktioner. Men de synes at vise deres styrke i fastlæggelse af langtids trends, og kan dermed afsløre og hjælpe til at kvantificere møllernes forringelse i tid.

Vi vælger senere at anvende 0,4% per år til indeks korrektion (fjernelse af fejltrend fra indeks).

Den samlede forringelse i tid



Figur 10 Analyse baseret på de rå årsproduktioner - ingen frasortering af manglende rådighed.

Vi skifter nu de rådighedsfiltrerede månedsdata ud med de rå årsproduktioner. Herved fås den reelle forringelse i tid. Som det fremgår forbedres med 0,51% per år og der forringes med 0,73% per år. Men nu er der ikke længere lige mange møller i hver "gruppe". Derfor skal trend faktorerne vægtes med antal møller i hver gruppe. Gøres dette fås resulterende gennemsnitlig forringelse i tid på 0,6% per år, hvilket er hovedkonklusionen. Men dog værd at bemærke at over 1800 møller i gennemsnit forringer med 1,2% per år, når indeks korrigeres. Det lyder som en klar opgave for fabrikanter og service firmaer at få gjort noget ved.

Hvorfor forringes mølleproduktion i tid

I prioriteret rækkefølge (mest betydende først) er min fornemmelse følgende:

- 1) Teknisk degradering af møllerne
- 2) Rådighed
- 3) Landskabs forhold
- 4) Måler fejl

Ad. 1) Teknisk degradering

Krøje fejl, "slidte vinger", beskidte vinger, luftbremser der ikke lukker tæt, vinger der mister optimale vinkler (vrider med alder, eller pitch system har fejl) – er blot nogle mulige degraderinger.



Figur 11 Eksempel på vinge overflade fra nedtaget DVT 400 kW mølle efter ca. 10 års drift. Ingen tvivl om at med den ru forkant, vil effektkurven forringes.



Figur 12 Et andet eksempel fra en ca. 17 år gammel mølle. Coatningen på forkanten er helt slidt af.

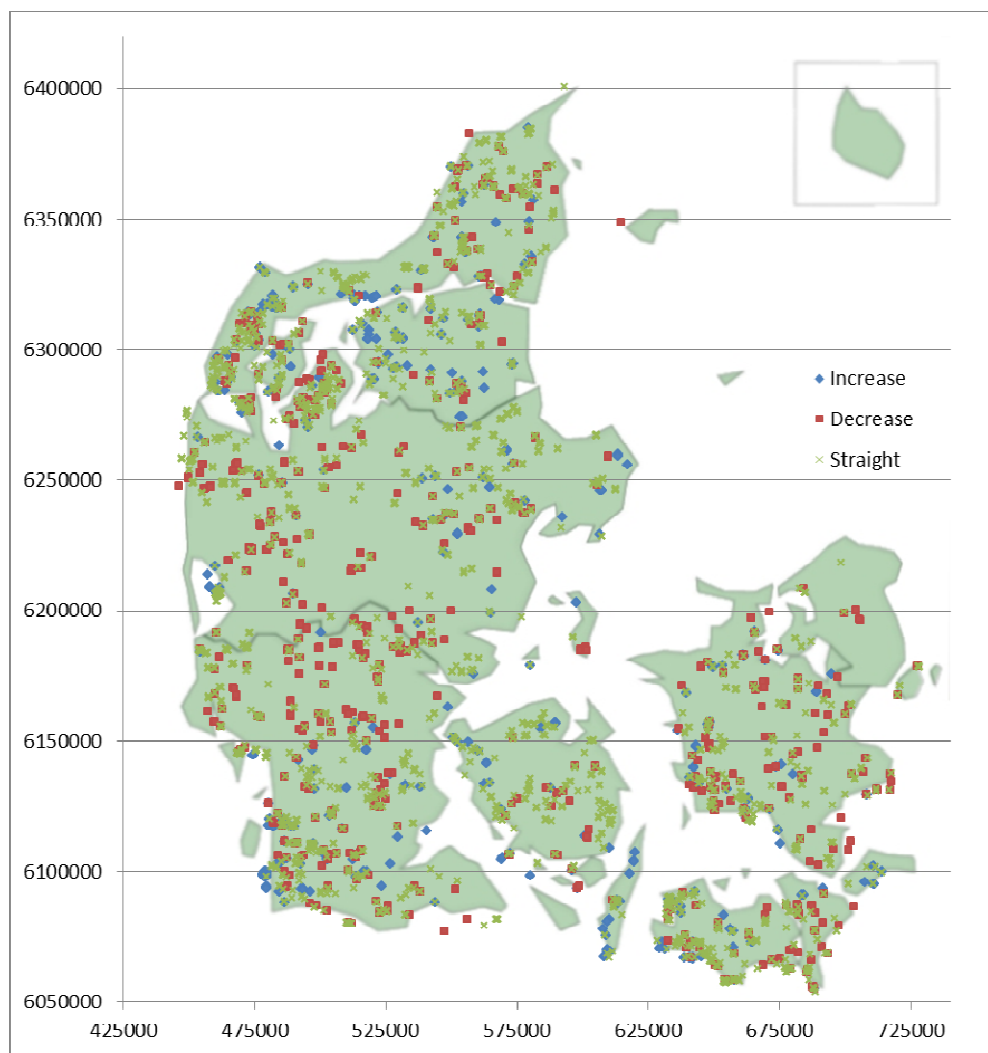
Efter at have talt med Strange Skriver, bekræftes at vingeslid er et problem. Strange nævner at problem især er vokset efter krav til glanstal er indført for at undgå refleksioner. Den coating der er på de gamle blanke vinger synes stærkere. Fra mit arbejde i Egypten har jeg erfaret at man her har meget fine overflader på vingerne. Teknikere fra Nordex har udtalt at de er væsentlig bedre end på tilsvarende møller i Nordeuropa, og de mener det skyldes der er oliedampe i området, som giver en oliefilm, der beskytter vingerne. Det giver en tanke, om den nye nano teknologi kan udnyttes til at forbedre vingeoverfladerne. Der er i dag produkter på markedet som kan sprayes på glasvægge i brusenicher, så vanddråber ikke kan sætte sig fast.

Ad. 2) Rådighed

Umiddelbart er der ikke mange analyser der viser at rådighed falder markant med alder (indenfor 10 - 15 år). Dog har en stor del af de møller der er primær reference, 600-750 kW, haft gearproblemer, hvilket typisk har kostet en del stilstand i forbindelse med renovering efter omkring 6-10 år. Det er også værd at

bemærke at forringelsen i tid kun falder fra 0,4% til 0,6%, når man anvender alle data frem for kun at anvende de data hvor større udetider ikke er medtaget. Alene dette synes at forklare at rådighedsproblemer kun repræsenterer 1/3'del af nedgangs årsagen. Dog vil man som efterfølgende analyser viser se en klar tiltagende forringelse i tid som følge af rådighed med alderen.

Ad. 3) Landskabsforhold.



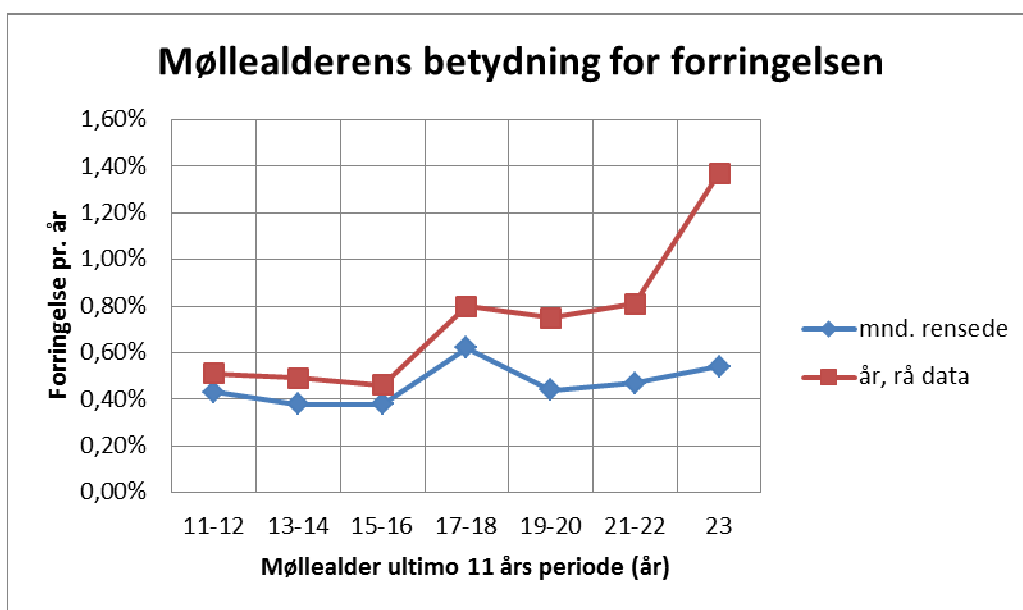
Figur 13 Møller med markant forbedring/forringelse i forhold til indeks (> +/- 0,5% per år)

Det ses klart at der er en overvægt af indlandsmøller, der forringer i tid og tilsvarende kystmøller der forbedrer i tid. Det må derfor konkluderes at landskabet har en vis indflydelse, at øget ruhed/øget lokal lægiver effekt medvirker til reduktion i produktion med årene. Der er såvel kommet mere skov som bebyggelse, og læhegn bliver højere. Der er dog også læhegn, der fjernes ved landbrugssammenlægninger. Det er vanskeligt at sige hvor stor betydningen er. Jeg vurderer ikke det er markant, men dog at der vil være områder med en vis indflydelse.

Ad. 4) Målerfejl

Det skal nævnes at der er set eksempler på fejl i strømtransformere, der leverer input til afregningsmåler. En defekt giver for lav registreret produktion. Jeg tror ikke dette er et generelt problem, men vil dog opfordre til at man holder øje. Store mølleparker har kørt adskillige år med 10-15% mindre afregnet produktion end der reelt var.

Alder, størrelse og mølletype forskelle

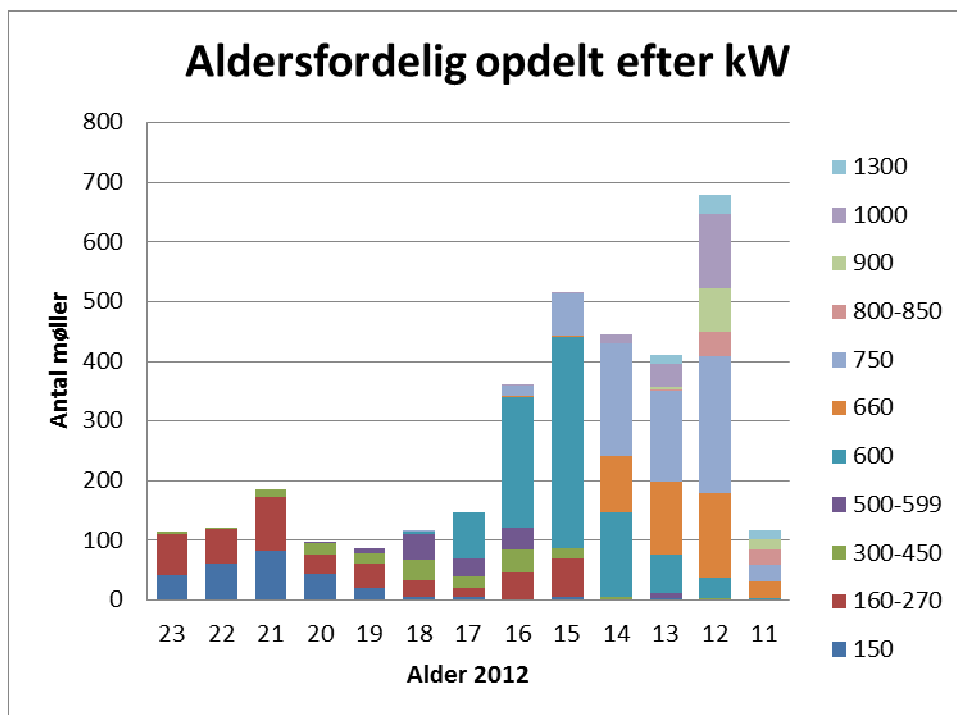


Figur 14 Her er den gennemsnitlige forringelse i tid udregnet for forskellige aldersgrupper.

Op til 16 års alder ved udgangen af perioden, dvs. møller med en alder op til fra 5-16 år i den 11 årige periode der er data for, holder forringelsen sig nede på 0,5% per år. Det er dog uden betydning om man ser på møller der gennemløber aldersintervallet 0-11 år eller 5-16 år, forringelsen er den samme. Og ser man på graferne over forringelsen, er det også klart at det er en ret konstant forløb med en fast årlig reduktion. Springet for møller fra 17 år, skyldes måske at man her netop ser den første generation af 600 kW møller, der repræsenterede et teknologispring. De første rigtigt optimerede møller, og måske netop første generation af disse har lidt større problemer end de senere. Der er også i gruppen 300-500 kW møller, som kun blev produceret få år inden de blev fortrængt af 600 kW generationen. Det at der kun er relativt få af en mølletype, kan gøre at fx reservedelsmarkedet er mindre udbygget.

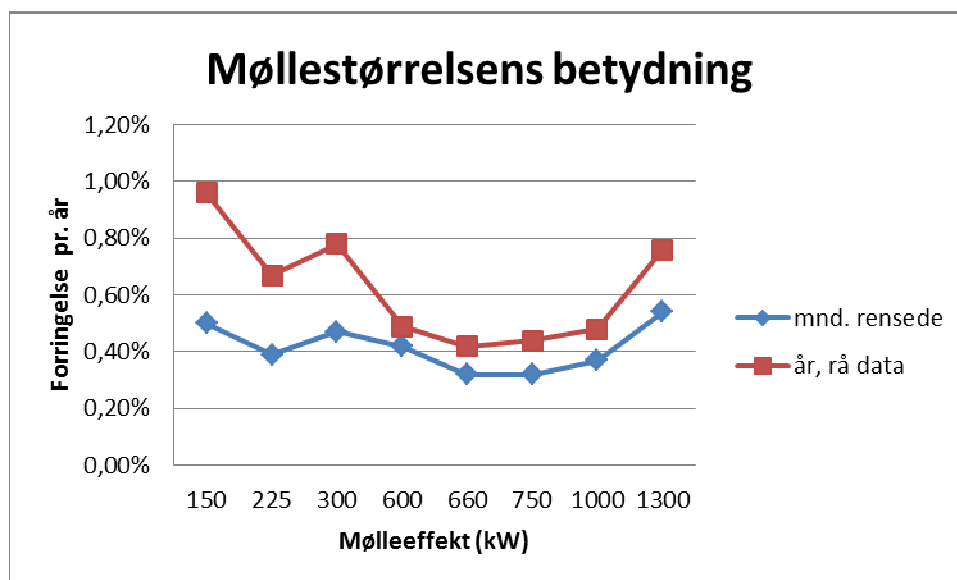
Som nævnt giver møllerne over de 5 år ved starten af perioden (17-18 år gruppen), et spring op til 0,8% per år. Men selv møller der kører deres sidste 11 år i forhold til design levetid (20 år), giver ikke yderligere stigning. Men det synes klart at det er rådighedstabet, der bliver mere og mere dominerende, des ældre møllerne er. Det ses ved at sammenligne forringelse baseret på hhv. de "rå" årsproduktioner og de filtrerede månedspåproduktioner, hvor måneder med større udetider er udeladt af den gennemsnitlige vindindeks korrigerede årsproduktion.

Der kommer dog et spring, når man kun ser på de ældste møller, dem der gennemløber 12-23 år i perioden. Her datagrundlaget dog kun 112 møller.



Figur 15 Møllerne fra 150-1300 kW fordelt på alder og størrelse.

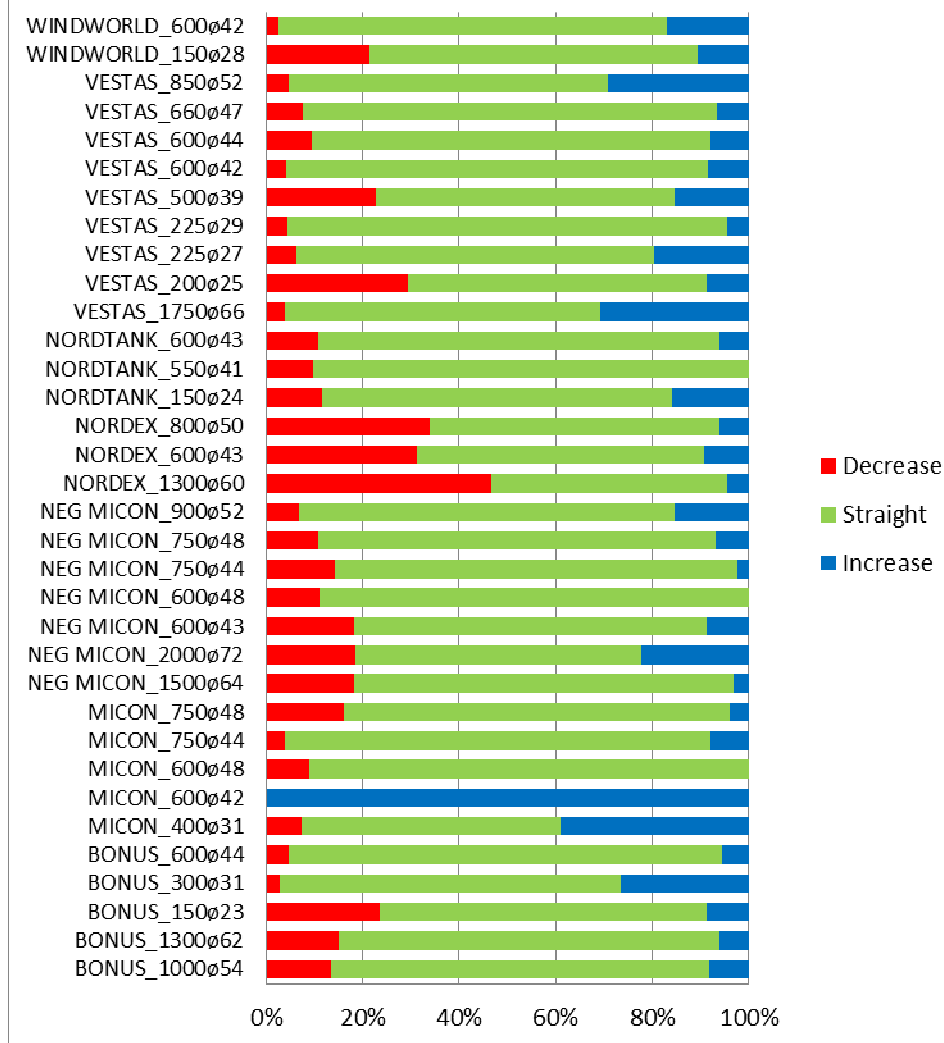
Ser man på alders – kW fordelingen, finder man måske forklaringen på skiftet i forringelsen mellem under 16 og mere end 17 år gamle møller ved udgangen af 2012. Det er her 600 kW generationen holder sit indtog, og disse møller er i kraft af de er en ”ny generation”, både noget højere, og dermed mindre påvirkelige af helt lokale landskabsforhold (nære lægivere der vokser), dels placeres de mere frit (større krav til nabo afstand), og endelig er der nok mere fokus på opetid grundet de større investeringer.



Figur 16 Forskellige møllestørrelsers gennemsnitlige forringelse.

Det er klart at de mindste og dermed ældste her forringer i tid mest. Dog bemærkelsesværdigt at 1300 kW møllerne klarer sig ringere end de lidt mindre.

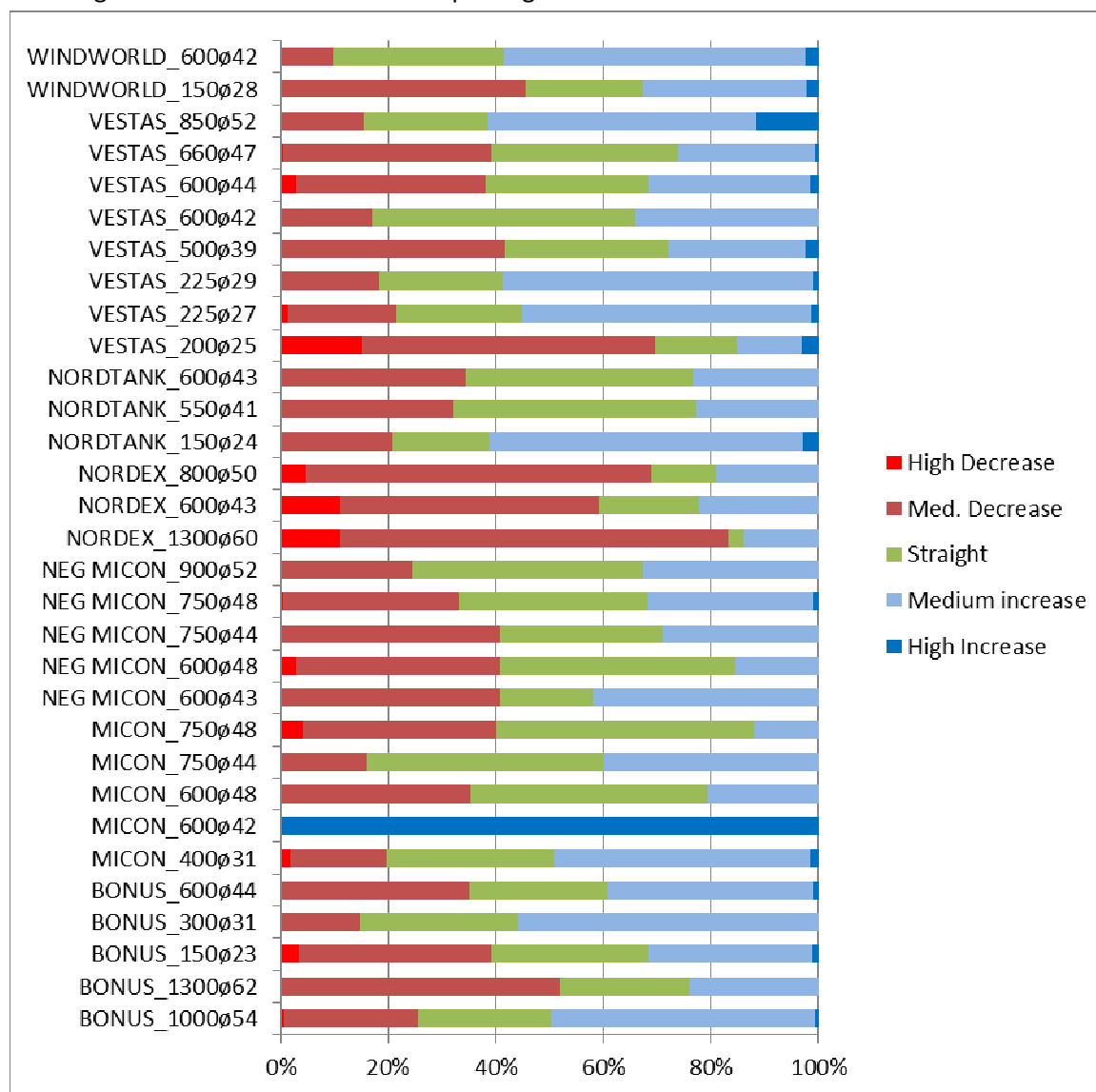
Mølletype opdelt, min. 25 møller



Figur 17 Mølletype opdelt kategorisering af $\pm 0,5\%$ ændring pr. år.

Nordex møllerne synes at falde lidt mere "uheldigt" ud end de øvrige, og det er Nordex 1300 og ikke Bonus 1300 kW møller, der begrundes 1300 kW møllernes ringere performance. Forklaringen på Micon 600ø42 er at disse praktisk taget alle står i samme park (Rejsby hede), og derfor performer ens, da produktionsdata for hver mølle er parkens gennemsnit. Men ellers kan man ikke generelt sige at der er bestemte mølletyper der forringer og andre der forbedrer – der er både gode og dårlige indenfor alle typer.

Efterfølgende en lidt mere nuanceret opdeling.



Figur 18 En yderligere nuancering af forudgående graf, men konklusionen er den samme.

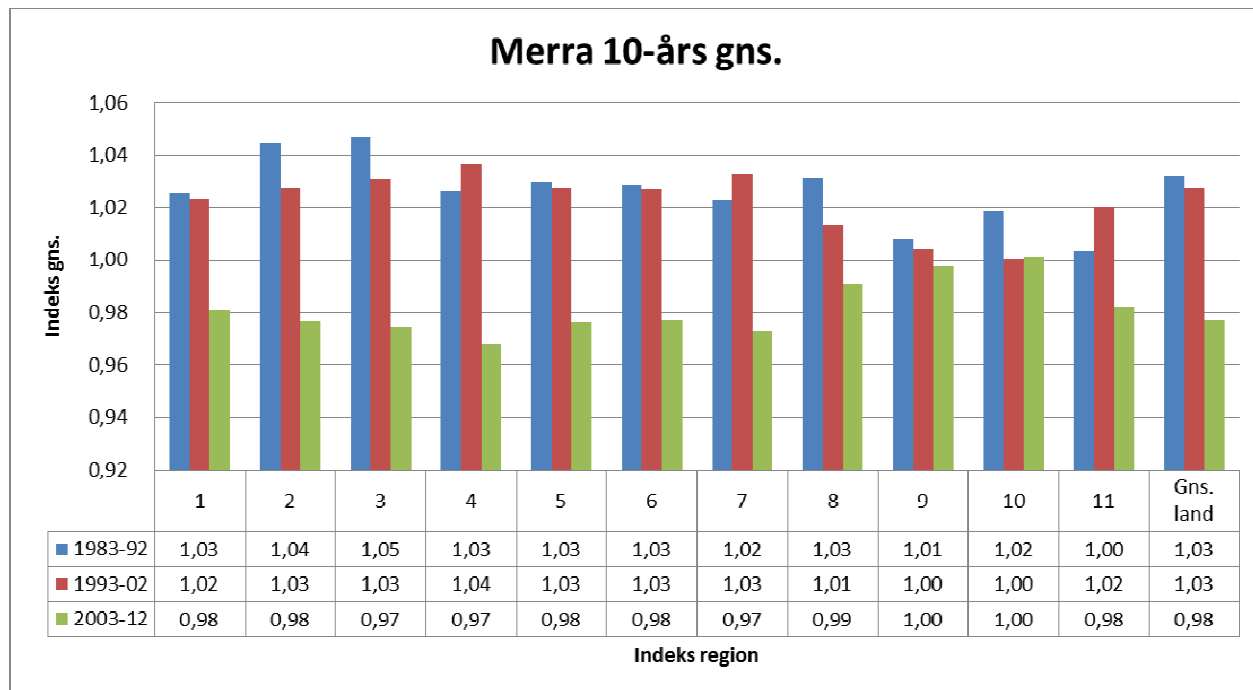
Justering af vindenergi indekset

At tage forringelse i tiden ud af indekset, der nu det er konstateret, er naturligvis et must. Dog kunne man argumentere for at den andel landskabsændringer bidrager med, ikke nødvendigvis skulle tages ud, da denne reelt gør der er mindre vind til rådighed for møllerne.

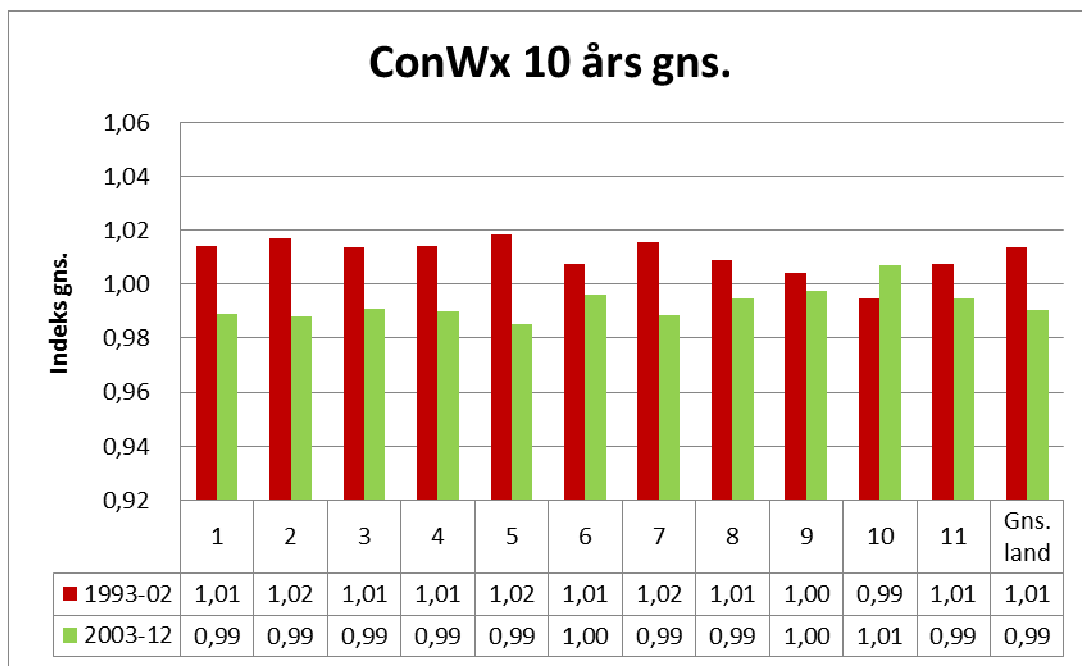
Men ved samme lejlighed, bør indeks niveauet generelt genovervejes. Vi har i mange år ligget under 100%, og en af grundene hertil er nok en ekstrem højvindsperiode 1985-95, som næppe kommer igen. Jeg vurderer derfor at man bør gå uden om størstedelen af denne periode, og fastlægge en ny langtidsreference periode. 1993-12, en 20 års periode synes fornuftig. Dette ud fra mange overvejelser. En del vindberegnere anvender konsekvent seneste 10 år som langtidsreference. I meteorologi verdenen, arbejdes med 30 år som en repræsentativ periode for beskrivelse af gennemsnits klimaet. De 20 år kan

derfor siges at være et kompromis. En yderligere fordel ved at anvende 20 år, er at man undgår den risiko for fejl der er i ældre data. Jo længere tilbage i historien, des mindre sikkert bliver data grundlaget.

Det er ligeledes efter talrige analyser, min bedste fornemmelse at man bør anvende Merra data til at fastlægge 100% niveauet for de enkelte indeks regioner. Altså tage DK indeks, tage forringelsen i tid ud, og herefter at finde de justeringsfaktorer for hver region, der bringer indeks (baseret på 20 år som 100% periode for Merra) på niveau med Merra for 2004-12, hvor de komplette måneds produktionsdata haves, men dog ekskluderende 2002-03 grundet det meget afvigende år 2003.



Figur 19 Merra 10 års perioder. Det vælges at anvende gns. af de seneste 2 10-års perioder som langtids reference (1993-12).

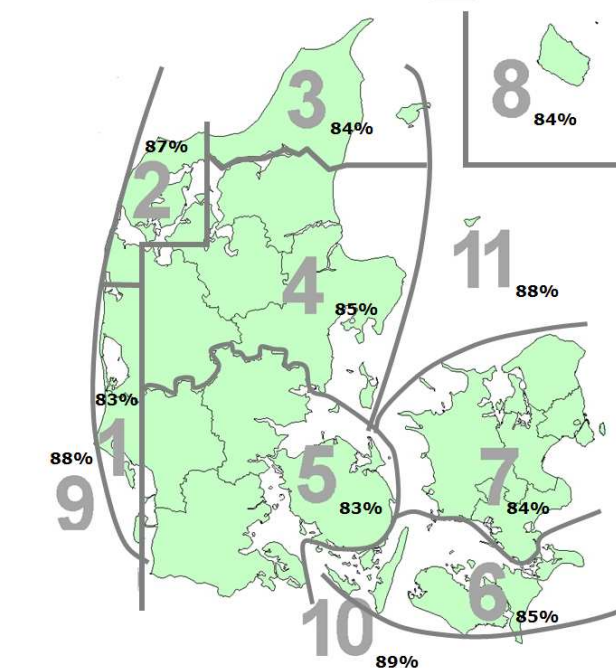


Figur 20 ConWx data viser samme tendens som Merra, dog med mindre forskel for de to 10 års perioder.

Bemærk at for reg. 9, Horns rev området, er indeks næsten identisk for alle 3 Merra perioder og begge ConWx perioder. Generelt varierer offshore mindre i tid grundet de højere vindhastigheder. For Reg.10, Nysted området er der for begge indeksvarianter tale om en stigning for seneste 10 år relativt til forudgående 10 år.

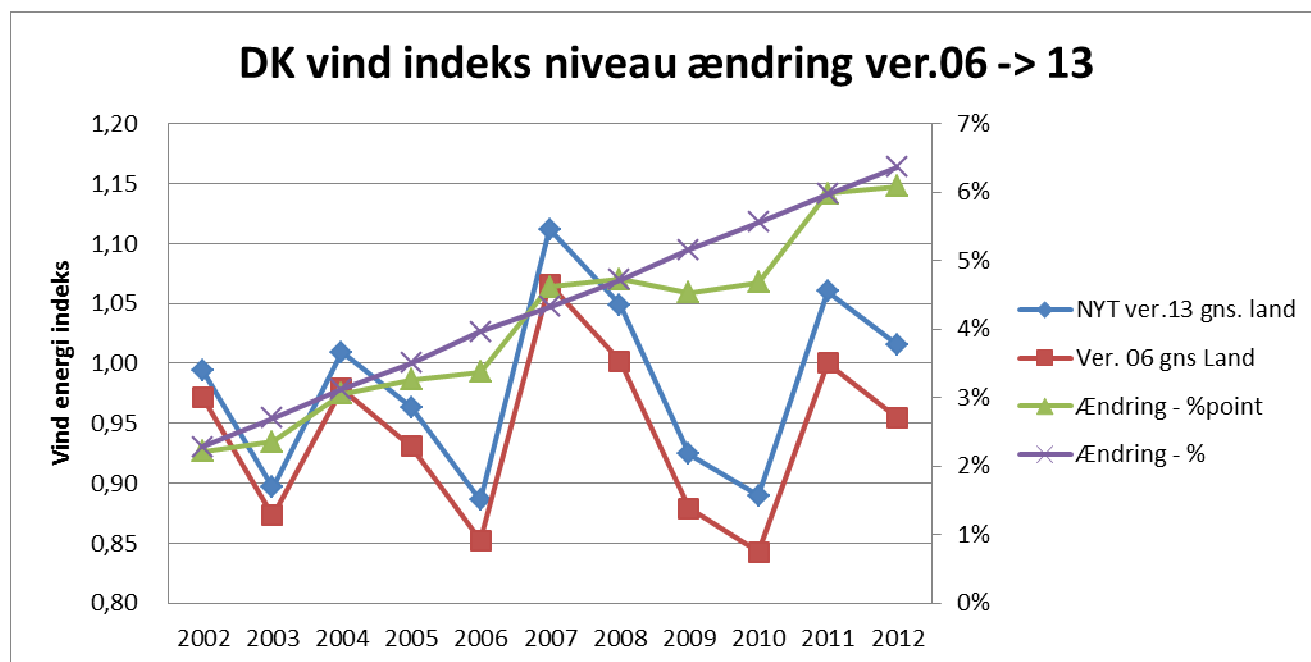
Vindens energiindhold for perioden [Aug 2012 - Jul 2013]: 86%

Vælg periode, første måned: [Aug 2012] Sidste måned: [Jul 2013]



Figur 21 Indeks regioner med seneste 12 måneders indeks niveau vist (som det er nu).

De før nævnte modifikationer vil give følgende resulterende ændring for landsgennemsnittet:



Figur 22 Tages forringelse i tid ud og justeres samtidig så Merra 1993-12 sætter langtidsniveau, bliver justering af det gennemsnitlige land mølle indeks som vist.

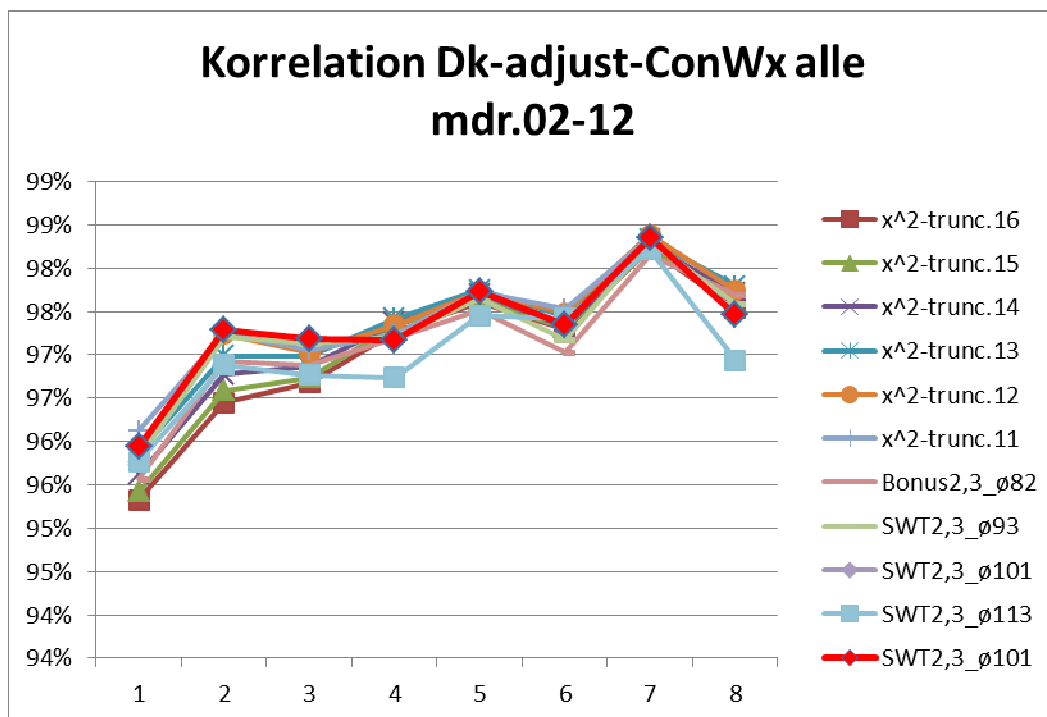
Man kan sige at blot 2% af ændring skyldes den ændrede langtids reference periode, men at der kommer omkring 4% oveni de seneste år som følge af forringelse i tid, så ændring 2011-12 bliver omkring 6%. Det er naturligvis meget væsentligt ved opfølgning på nyere møller.

Hertil bør pointeres at indekset er for "mellem størrelses" møller. Såvel noget større som noget mindre møller vil have en lidt anderledes variation med hhv. gode/dårlige vindperioder. Højere møller har mindre variation, mindre vil have større variation. Derfor bør man sikre sig ved opfølgning for disse baseret på dette indeks, at man anvender et antal måneder, der nogenlunde har 100% som gns. indeks.

Merra vs ConWx som indeks generatorer, samt valg af filter

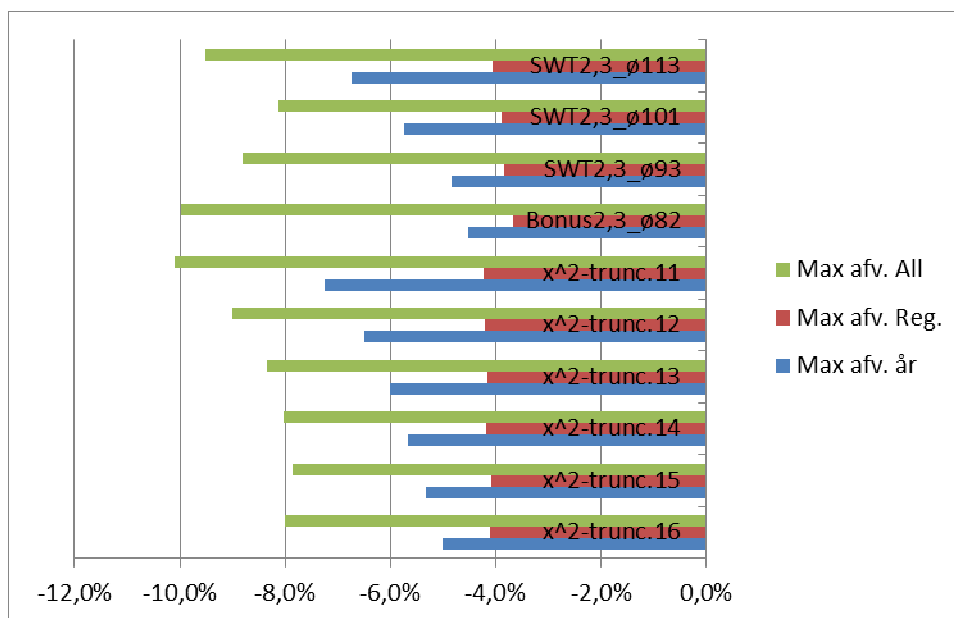
Når man omsætter vindhastigheder til vindindeks, skal man dels skalere til en repræsentativ vindhastighed (repræsentativ for navnhøjde middelvind), dels filtrere med en effektkurve. Førstnævnte er beskrevet tidligere, hvor de faktiske møllers gns. produktion i hver region omsættes til middelvindhastighed.

Her gennemgås en række analyser til fastlæggelse af effektkurvefilter.



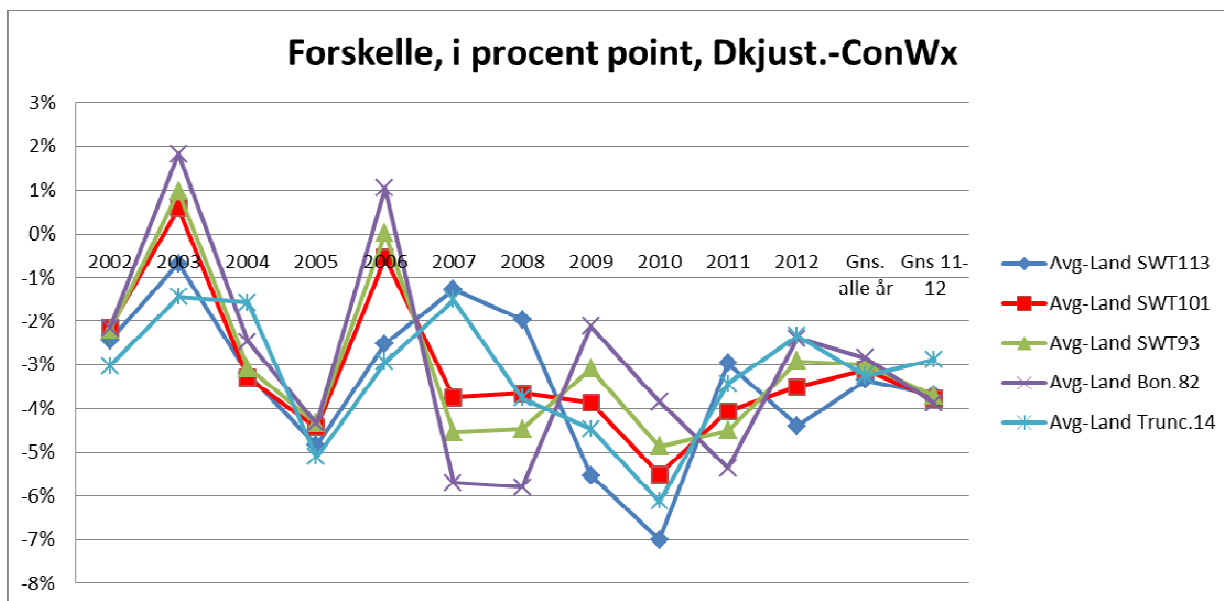
Figur 23 Korrelation mellem måneds indeks for hver indeks region.

Som det fremgår, er korrelationen ret upåvirket af om man vælger en simpel u^2 med trunkering ved forskellige vindhastigheder, eller man vælger en effektkurve for hhv. høj - mellem - lav – meget lavvindsmølle.



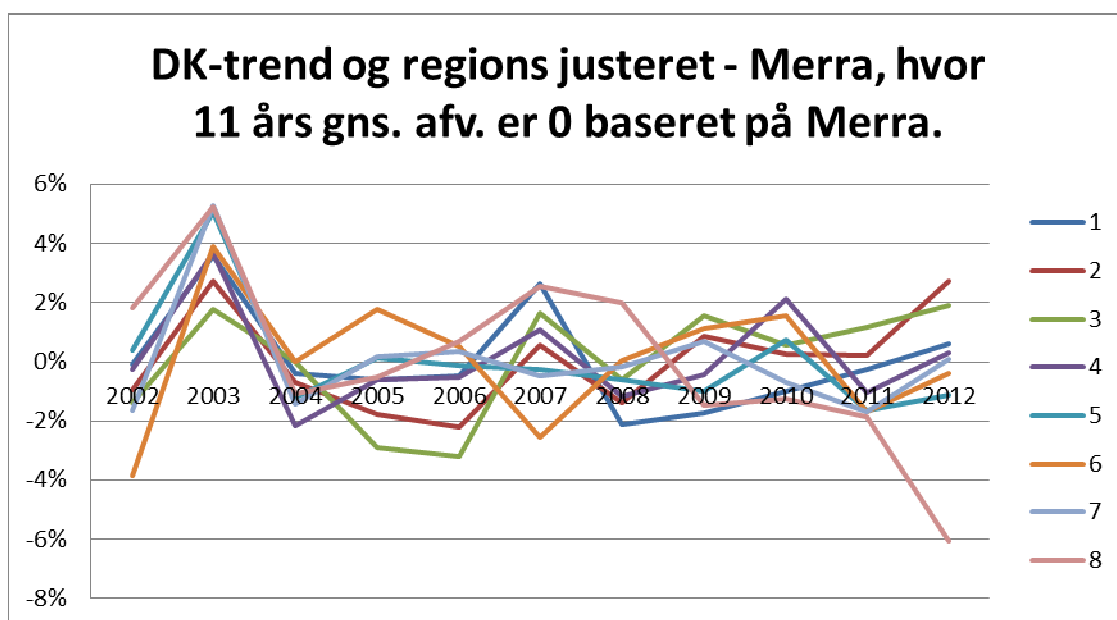
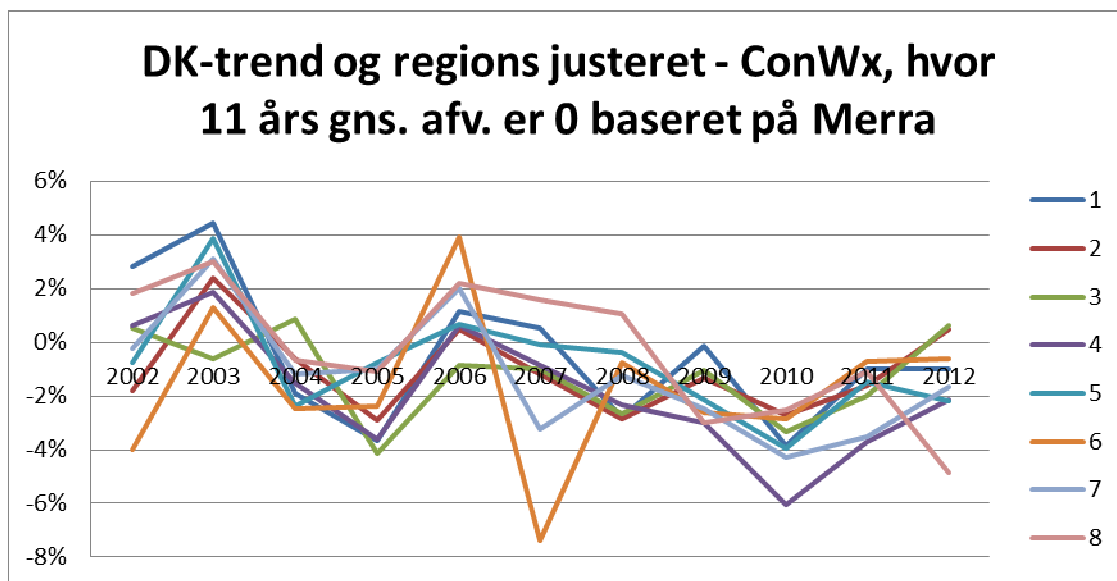
Figur 24 Største afvigelser mellem ConWx indeks og justeret DK-indeks, hhv. største års afvigelse, største regions gns. afvigelse og største års gns. afvigelse.

Den bedste samlede performance ud fra oven viste fås ved anvendelse af SWT 2,3 101 effektkurven, altså lav vinds møllen. Denne er valgt som "hovedreference" i senere analyser.



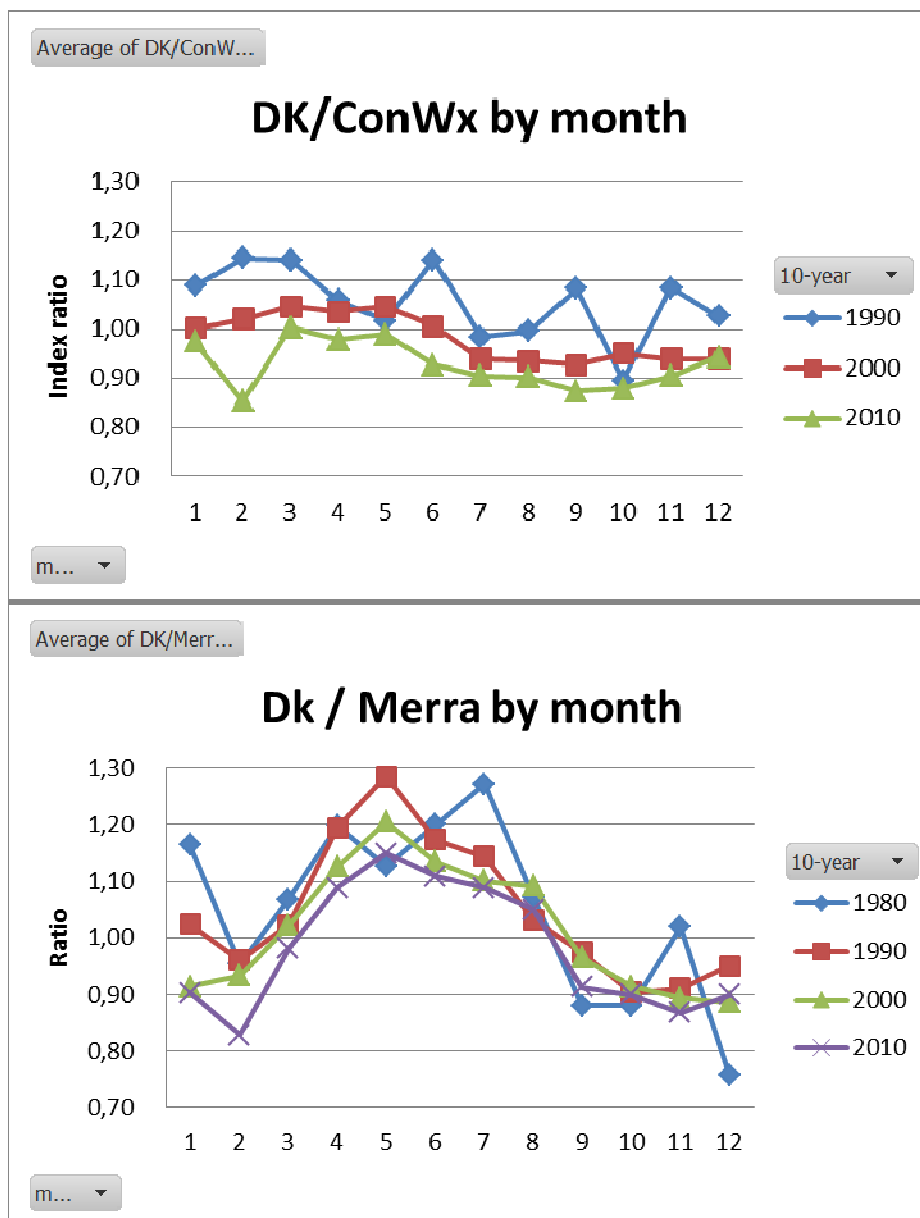
Figur 25 Her ses hvor følsom effektkurve filter valg er for performance de enkelte år.

Det er lidt skræmmende, at der kan rykkes så meget i indeksniveau. Des mere højvindsmølle, jo mere galt går det i lavvinds årene. Den simple x^2 trunkeret, er faktisk den metode, der giver laveste spredning fra år til år. Men ser man på måned til månedsafvigelser (ikke vist her), synes effektkurve valg at give en bedre detail performance.



Figur 26 Regions og års afvigelser efter DK-indeks er kalibreret til at regionernes gns. skal matche Merra.

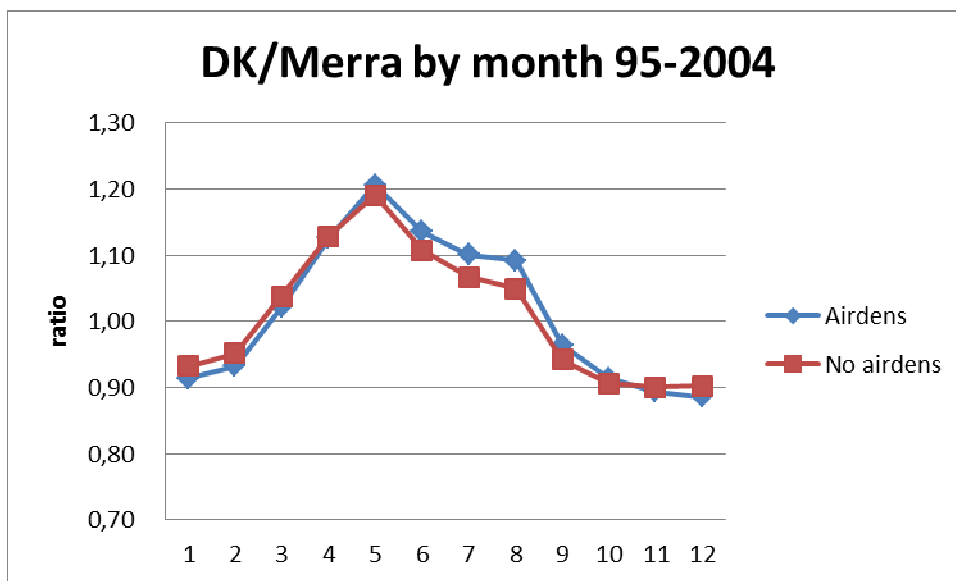
Merra synes lidt mere stabilt fra år til år end ConWx, opdelt på de enkelte regioner.



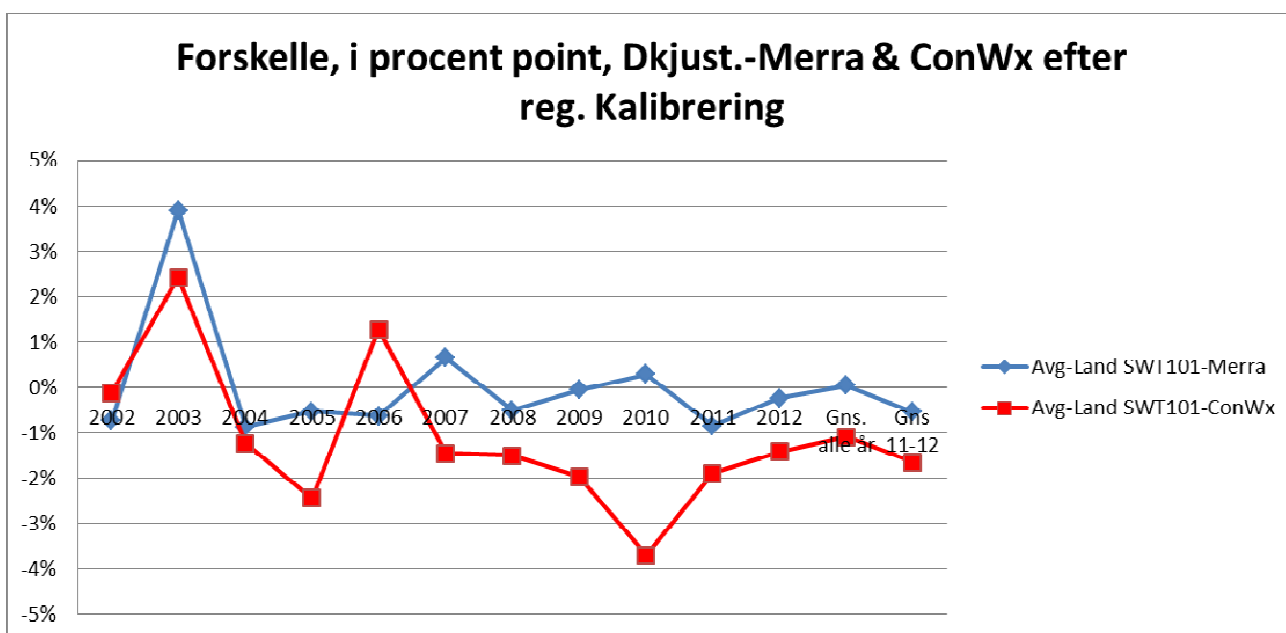
Figur 27 Møllernes produktion i forhold til hhv. ConWx og Merra indeks pr. måned opdelt i 10-års gns. perioder.

ConWx er her markant mere i tråd med mølleproduktion end Merra. Der er en klar sæson bias i Merra data.

Bemærk at ratio's her er før korrektion af DK-indeks.



Ser man på Merra hhv. med og uden luftmassefylde korrektion, er det klart at denne kun er marginal i forhold til sæson bias. Det er således ikke denne, men må være en model opsætnings parameter, evt. en sæson ruhed, der får alt for stor betydning. Merra er således relativt 10% for høj om vinteren og tilsvarende for lav om sommeren. At gennemføre en korrektion herfor ville måske kunne forbedre markant?



Figur 28 Afvigelser mellem justeret DK indeks og hhv. Merra og ConWx.

Merra ligger rigtig flot op af det justerede DK-indeks, bortset fra 2003, som naturligvis kan have en bias i mølleindeks? ConWx derimod har lidt større årlige udsving. Bemærk regions kalibrering er udført så DK-indeks matcher Merra 2004-12 i gns. Det er dog set i en undersøgelse præsenteret af WRF teamet, hvor model data sammenlignes med en hollandsk høj mast, at netop 2003 her også "skrider" – så problemet med 2003 ligger måske i virkeligheden i de overordnede modeldata, som meso scala modellerne fødes med, dvs. måske blot en simpel data fejl?