



## Notat

Til:

Fra: Knut Hofstad

Sign.:

Ansvarlig: Håvard Hamnaberg

Sign.:

Dato: 15.2.2011/ Revidert 21.2.2012

Vår ref.: NVE

Arkiv:

Kopi:

## Vindkraft – Produksjonsstatistikk - 2011

### SAMMENDRAG:

Samlet installert ytelse [MW]	512,1
Produksjon [GWh]	1 310
Antall registrerte vindkraftverk	19
Antall turbiner	242
Gjennomsnittlig turbin størrelse [MW]	2,2
Brukstid (kun kraftverk i normal drift)	2737
Kapasitetsfaktor [%]	31,3
Vindindeks [%]	113,1
Tilgjengelighet [%]	94,7

**Tabell 1 Produksjon av vindkraft 2011**

### 1. Innledning

Vindkraft ventes å bli et viktig supplement til det norske vannkraftsystemet og interessen for informasjon om vindkraftverk er stor. Dessuten vil vindkraftens økende betydning gjøre det viktig å få et mer presist bilde av vindkraftens bidrag til den norske kraftbalansen. For å belyse dette spørsmålet trengs erfaringsdata fra driften av norske vindkraftverk. NVE foretar derfor en årlig innsamling av produksjonsdata fra vindkraftprodusentene. Notatet gir en sammenstilling av de innrapporterte dataene for 2011.

### 2. Produksjonsstatistikk for 2011

I 2011 ble det produsert 1 310 GWh (brutto produksjon) vindkraft i Norge. Samlet installert ytelse er nå 512,1 MW fordelt på 242 vindturbiner. Vindkraften stod for 1,0 prosent av landets samlede kraftproduksjon.

2011 var et svært godt vindår. Beregnet vindindeks (se kap. 2.1) for hele landet er beregnet til 113 % og samtlige vindkraftverk hadde bedre vindforhold enn normalt.

## 1.2 Vindkraftverk i Norge

Det er registrert 19 vindkraftverk større enn 0,4 MW i Norge. Ett av kraftverkene er midlertidig tatt ut av drift pga. brann.

I 2011 ble det installert 85,1 MW ny vindkraftkapasitet, men samtidig ble turbiner tilsvarende 8,6 MW tatt ut av produksjon eller nedgradert. Netto økning var dermed ca. 76,5 MW. En oversikt over vindkraftverk i drift er gitt i tabell 2.

Kraftverk	Eier	I drift År	Inst.yt. MW	Ant. turb.	Prod. GWh
Kvalnes, Andøya	Andøya Energi AS	1991	0,4	1	0,7
Hovden, Vesterålen	Vesterålskraft Produksjon AS	1991	0,4	1	0,4
Vikna I & II	Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk	1991	1,8	4	4,1
Hundhammerfjellet	Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk	1998	36,5	12	85,5
Fjeldskår, Lindesnes	Agder Energi Produksjon	1998	3,75	5	6,1
Harøy, Sandøy	Sandøy Energi AS	1999	3,75	5	9,3
Mehuken 1 & 2	Kvalheim Kraft	2001	22,65	13	69,5
Smøla 1 & 2	Smøla Vind AS (Statkraft)	2002	150,4	68	375,1
Havøygavlen	Arctic Wind AS	2002	33,0	16	86,1
Ørland Vindkraftverk	Ørland Økokraft AS	2003	0,7	3	1,6
Utsira 1 & 2 <sup>1)</sup>	Statoil Hydro	2004	1,2	2	3,9
Hitra Vindpark	Hitra Vind AS (Statkraft)	2004	55,2	24	149,7
Sandhaugen <sup>2)</sup>	Norsk Miljøkraft FoU AS	2004	0,0	0	0,0
Kjøllefjord vindkraftverk	Kjøllefjord Vind AS (Statkraft)	2006	39,1	17	127,9
Nygårdsfjellet 1&2 <sup>3)</sup>	Nordkraft Vind AS	2006	32,2	14	38,6
Valsneset vindkraftverk	TrønderEnergi Kraft AS	2006	11,5	5	36,8
Bessakerfjellet	TrønderEnergi Kraft AS	2007	57,5	25	181,9
Karmøy Hywind <sup>4)</sup>	Statoil ASA	2009	2,3	1	10,1
Høg-Jæren <sup>5)</sup>	Jæren Energi	2011	59,8	26	122,9
<b>SUM</b>			<b>511,5</b>	<b>239</b>	<b>1308,4</b>

<sup>1)</sup> Nedregulert til maks 1 MW <sup>2)</sup> Ute av drift pga. brann <sup>3)</sup> Trinn 2 i drift fra høsten 2011 <sup>4)</sup> Prototype

<sup>5)</sup> I drift fra sommeren 2011

**Tabell 2 Vindkraftverk i Norge 2010**

## 2. Vindforholdene i 2011

Vindkraftproduksjonen varierer mye fra år til år avhengig av vindforholdene. NVE har engasjert Kjeller Vindteknikk AS (KVT) til å etablere datasett over vindforholdene i 2011. Verktøyet som er benyttet er en mesoskala, numerisk værvarslingsmodell (WRF). Resultatet er sammenlignet med modelldataene som ligger til grunn for NVEs vindatlas (se [www.nve.no](http://www.nve.no)).

Dette datasettet gjør det mulig å beregne årsmiddelvinden ved alle vindkraftverk i Norge. Beregnede verdier fremgår av tabell 3. Verdiene er sammenlignet med en anslått normalverdi, dvs. gjennomsnittsvinden som er beregnet for perioden 2000-2011.

Kraftverk	Inst.ytel [MW]	Prod	Årsmiddelvind [m/s]		Middelvind	
		[GWh] Normal	2011	2000-2011	Avvik [%]	Vindindeks
Kvalnes, Andøya	0,4	1,0	7,8	7,1	9,1 %	119,2 %
Hovden, Bø i Vesterålen	0,4	1,0	8,3	7,5	10,2 %	119,9 %
Vikna	1,8	4,7	8,9	8,2	7,9 %	114,6 %
Hundhammerfjellet	36,5	82,2	8,5	7,8	8,7 %	116,2 %
Fjeldskår vindmøllepark	3,8	12,0	7,9	7,5	5,7 %	109,2 %
Sandøy Vindkraft	3,8	10,0	8,8	8,0	10,9 %	114,3 %
Mehuken 1	4,3	12,0	9,0	8,2	10,0 %	115,5 %
Mehuken 2	18,4	53,0	9,0	8,2	10,0 %	115,5 %
Smøla Vindpark	150,4	356,0	8,2	7,4	10,4 %	116,1 %
Havøygavlen vindpark	33,0	100,0	8,8	8,3	6,4 %	111,3 %
Utsira Vindpark	1,2	3,5	10,1	9,3	8,6 %	115,4 %
Hitra Vindpark (Eldsfjellet)	55,2	138,0	8,2	7,5	9,6 %	115,7 %
Sandhaugen	0,0	0,0	7,6	7,1	7,4 %	117,2 %
Kjøllefjord Vindpark (Gartefjellet)	39,1	119,0	8,7	8,2	5,8 %	109,1 %
Nygårdsfjellet vindpark, trinn 1	6,9	24,0	6,8	6,5	5,1 %	110,3 %
Nygårdsfjellet vindpark, trinn 2	25,3	29,0	6,8	6,5	5,1 %	110,3 %
Valsneset vindkraftverk	11,5	35,0	8,9	8,3	6,5 %	108,7 %
Bessakerfjellet vindkraftverk	57,5	175,0	9,2	8,7	5,2 %	108,2 %
Karmøy Hywind	2,3	8,0	10,5	9,7	9,0 %	115,4 %

Tabell 3 Årsmiddelvind og vindindeks 2011

## 2.1 Vindindekser

Tabell 3 viser at samtlige vindkraftverk i Norge hadde en høyere årsmiddelvind i 2011 enn normalt. Med sterkere vind forventes en høyere årsproduksjon, men i praksis viser det seg at resulterende produksjonsøkning også er avhengig av "vindregimet", dvs. hvordan vindstyrken fordeler seg på de ulike vindstyrker. Dette har sammenheng med at kraftverkene effektkurve ikke er lineær, og at kraftverkene ikke er i stand til å utnytte energien i ekstremvindene.

For å beskrive endringene i vindregimet fra år til år har vi derfor funnet det hensiktsmessig å definere en *vindindeks* som reflekterer hvordan årets vindforhold har påvirket produksjonsforutsetningene til et vindkraftverk. Vindindeksen er m.a.o. en forkortet skrivemåte for *vindkraftproduksjonsindeks* (til forskjell fra en indeks som viser avviket i middelvind). NVEs *vindindeks* kan dermed defineres som

$$\text{Vindindeks [\%]} = \frac{\text{Estimert kraftproduksjon}}{\text{Produksjon i et normalår}}$$

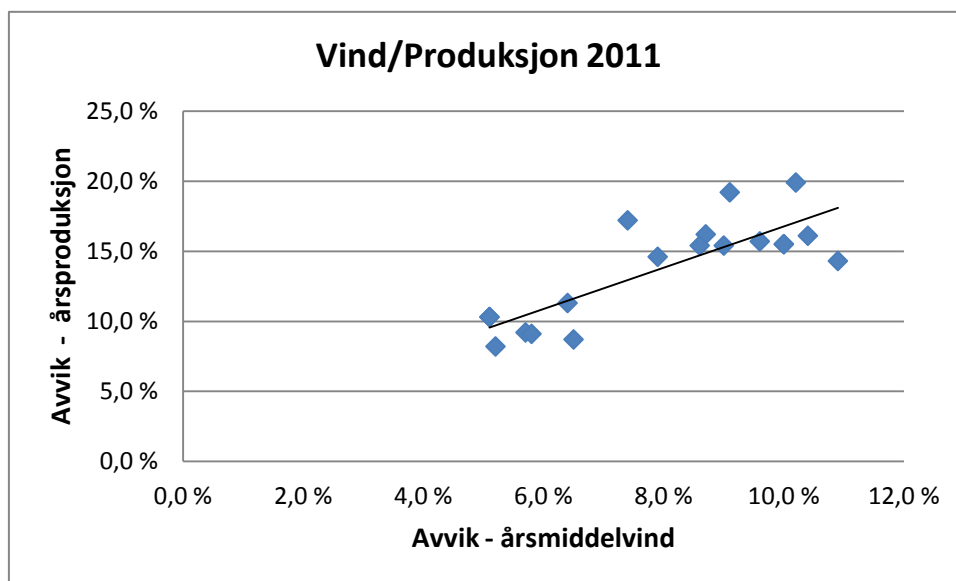
På grunnlag datasettet som er etablert over vindforholdene i 2011 er det beregnet en vindindeks for hvert enkelt kraftverk (se tabell 3). Dette er gjort av KVT på følgende måte: Ved hvert kraftverk beregnes en årsproduksjon ved et tenkt kraftverk, lokalisert på det samme stedet. Beregningsmodellen tar utgangspunkt i produksjonskarakteristikkene til en Siemens 2,3 MW klasse 1 vindturbin. Ved å sammenligne med dette kraftverks normalproduksjon (midlere produksjonsevne), beregnes hvor stort avvik (i prosent) fra normalproduksjonen en kan vente i 2011. Dette avviket blir dermed et mål på vindindeksen ved kraftverket.

For å beregne en forventet årsproduksjon (her kalt *estimert årsproduksjon*) ved kraftverket, må en kjenne kraftverkets normalproduksjon (dvs. midlere produksjonsevne). Normalproduksjonen er anslått av eieren av vindkraftverket. Estimert produksjon ved et kraftverk blir da

$$\text{Estimert årsproduksjon} = \text{Normalproduksjon} \times \text{Vindindeks}$$

For landet som helhet er vindindeksen beregnet til 113,1 %, dvs. at landets samlede vindkraftproduksjon kan forventes å bli 13,1 % høyere enn normalt. Ved beregning av vindindeksen for hele landet er vindindeksen for hvert enkelt kraftverk vektet etter årlig middelproduksjon

I tabell 3 går det frem at prosentavviket i produksjon (vindindeks) gjennomgående er noe større enn prosentavviket i middelvind, men at dette kan variere noe mellom de enkelte kraftverk. Dette er illustrert i fig. 1. I diagrammet er det også lagt inn en "trendlinje" som antyder hvordan sammenhengen i gjennomsnittet er mellom avvik i årsmiddelvind og årsproduksjon.



**Fig. 1 Sammenheng mellom årsmiddelvind og årsproduksjon**

I tabell 4 er estimert årsproduksjon sammenlignet med registrert produksjon. Tabell 4 inneholder alle kraftverk i normal drift. Kraftverk som har vært i en oppstartingsfase (Høg-Jæren og Nygårdsfjellet, trinn 2), eller vært utsatt for ekstraordinære tekniske problemer er holdt utenfor.

Produksjonsresultatene er gitt som brukstid for lettere å kunne sammenligne kraftverkene med hverandre, uavhengig av kraftverkens størrelse. "Avvik (1)" er differansen mellom registrert produksjon i 2011 og normalproduksjonen (anslått midlere produksjonsevne). Tabellen viser at de fleste kraftverk produserte mer enn normalproduksjonen i 2011. "Vindindeks" angir som nevnt avviket i prosent av normalproduksjonen når en tar vindforholdene i 2011 i betraktning. Resulterende estimert produksjon i 2011 er gitt i neste kolonne, mens avviket mellom registrert produksjon i 2011 og estimert produksjon er gitt under kolonnen "Avvik (2)".

Brukstiden (tabell 4) for alle kraftverkene (i normal drift) sett under ett er ca. 2 737 timer. Kraftverk under oppstartingsfasen er holdt utenfor da disse har vært i drift bare deler av året. Det er store variasjoner i brukstiden, noe som i stor grad skyldes at eldre kraftverk har problemer med å opprettholde en høy tilgjengelighet. Det har også skjedd en utvikling av vindturbinene slik at nyere turbiner i større grad kan tilpasses lokale vindforhold, noe som gir høyere brukstid. I motsatt ende

skiller pilotanlegget til Statoil (Karmøy Hywind) seg ut med en produksjon på hele 4 391 timer, noe som tilsvarer en kapasitetsfaktor på ca. 50 %. Dette må både i nasjonal og internasjonal sammenheng karakteriseres som svært høyt.

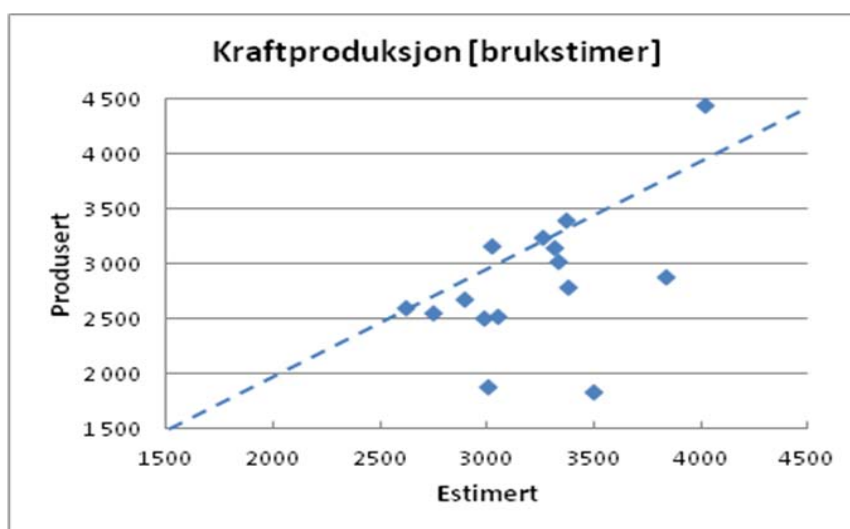
Kraftverk	Brukstid 2011 [timer]					
	Produsert	Normal	Avvik(1)	Vindindeks	Estimert	Avvik (2)
Kvalnes, Andøya	1 650	2 500	-850	119,2 %	2 980	-1 330
Hovden, Bø i Vesterålen	1 025	2 500	-1 475	119,9 %	2 998	-1 973
Vikna	2 288	2 636	-348	114,6 %	3 021	-733
Hundhammerfjellet	2 342	2 253	90	116,2 %	2 618	-275
Fjeldskår vindmøllepark	1 631	3 200	-1 569	109,2 %	3 494	-1 863
Sandøy Vindkraft	2 481	2 667	-185	114,3 %	3 048	-567
Mehuken 1	3 242	2 824	418	115,5 %	3 261	-19
Mehuken 2	3 025	2 880	145	115,5 %	3 327	-302
Smøla Vindpark	2 494	2 367	127	116,1 %	2 748	-254
Havøygavlen vindpark	2 608	3 030	-423	111,3 %	3 373	-765
Utsira Vindpark	3 208	2 917	292	115,4 %	3 366	-158
Hitra Vindpark (Eldsfjellet)	2 713	2 500	213	115,7 %	2 893	-180
Kjøllefjord Vindpark	3 270	3 043	226	109,1 %	3 320	-51
Nygårdsfjellet vindpark, trinn 1	2 928	3 478	-551	110,3 %	3 837	-909
Valsneset vindkraftverk	3 200	3 043	157	108,7 %	3 308	-108
Bessakerfjellet vindkraftverk	3 163	3 043	120	108,2 %	3 293	-130
Karmøy Hywind	4 391	3 478	913	115,4 %	4 014	377

(1) Avvik mellom produksjon i 2011 og (oppgitt) midlere produksjonsevne

(2) Avvik mellom produksjon i 2011 og estimert produksjon ut fra vindforhold.

**Tabell 4 Kraftverk i normal drift**

For enkelte kraftverk er avviket mellom registrert og estimert produksjon betydelig, men dette skyldes igjen i stor grad lav tilgjengelighet for noen eldre kraftverk. Estimert produksjon legger til grunn at tilgjengeligheten er på 96 %, men også for kraftverk der tilgjengeligheten er tilfredsstillende er det en



(NB: For vindkraftverk med lavere tilgjengelighet enn 96 % er produsert kraft justert opp til 96 % tilgjengelighet)

**Figur 2 Sammenheng mellom estimert og produsert kraft.**

tendens til at estimert produksjon ligger over registrert produksjon. Dette fremgår tydelig av fig 2 som i et punktdiagram viser sammenhengen mellom registrert produksjon og estimert produksjon. I denne figuren er registrert produksjon korrigert når tilgjengeligheten avviker fra 96 %. Ideelt sett skulle da alle plottepunktene ligge langs den stiplede linjen (1:1 – sammenheng), men i praksis ligger plottepunktene under denne ideallinjen, med noen få unntak. Dette kan skyldes at anslått normalproduksjon for det enkelte kraftverk har vært for optimistisk, noe som bekreftes av at registrert produksjon i en årrekke har ligget under normalproduksjonen for mange kraftverk. Svakheter i beregningsmodellen til KVT kan selvsagt heller ikke utelukkes. Arbeid med å forbedre denne pågår.

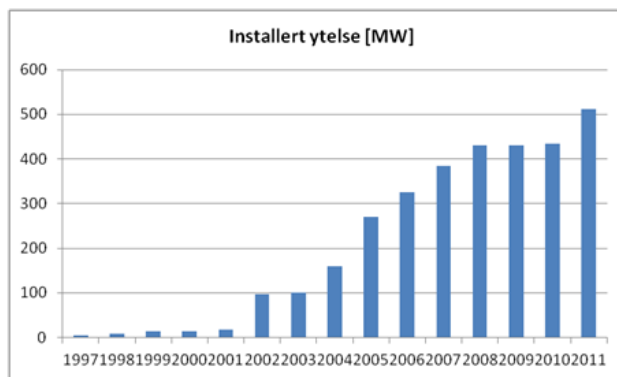
### 3. Tilgjengelighet

Alle vindturbiner er tidvis utilgjengelig for produksjon p.g.a. vedlikehold, tekniske feil og andre uregelmessigheter. Med årstilgjengelighet menes den andel av tiden et vindkraftverk har vært driftsklar. Hvis et kraftverk består av flere turbiner beregnes gjennomsnittlig tilgjengelighet for vindturbinene. En vindturbin regnes i denne sammenheng som tilgjengelig også når den står stille som følge av for svak eller sterk vind. Årstilgjengelighet sier m.a.o. noe om den tekniske driftsstabiliteten til vindkraftverket, men intet om vindforholdene.

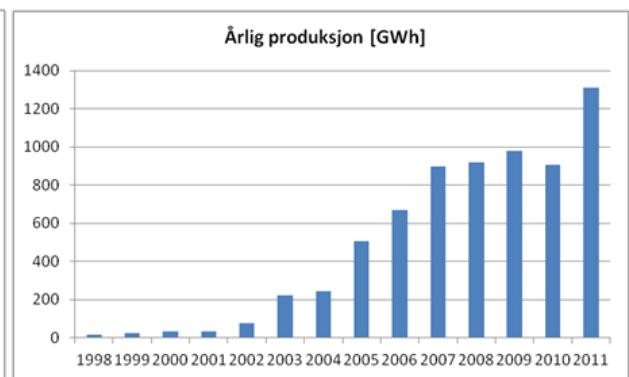
Årstilgjengeligheten for kraftverk i normal drift varierte i 2011 mellom ca. 50 % (for de eldste kraftverkene) og 98,7 %. Vektet etter installert ytelse er gjennomsnittlig tilgjengelighet for produksjonssystemet 94,7 %. Anlegg installert etter 2000 har i gjennomsnitt hatt en tilgjengelighet på 95,7 %.

### 4. Historisk utvikling av vindkraften

Figur 3 og 4 viser utviklingen av vindkraften de senere år.



Figur 3 Installert ytelse [MW]



Figur 4 Årlig produksjon [GWh]

Årlig produksjon for et vindkraftverk kan, som et alternativ til brukstid, uttrykkes med en kapasitetsfaktor (%) for å få et måltall på produktivitet (vindforhold), uavhengig av kraftverkets størrelse og driftstid gjennom året. Figur 5 viser hvordan den gjennomsnittlige kapasitetsfaktoren har variert fra år til år. For nye kraftverk må en kjenne oppstartingstiden for å beregne kapasitetsfaktoren riktig. Der dette ikke er kjent, har en benyttet følgende forenklede formel:

$$\text{Kapasitetsfaktor} = \frac{E}{(P_t - P_i) \times 8760 + P_i \times 4380}$$

der

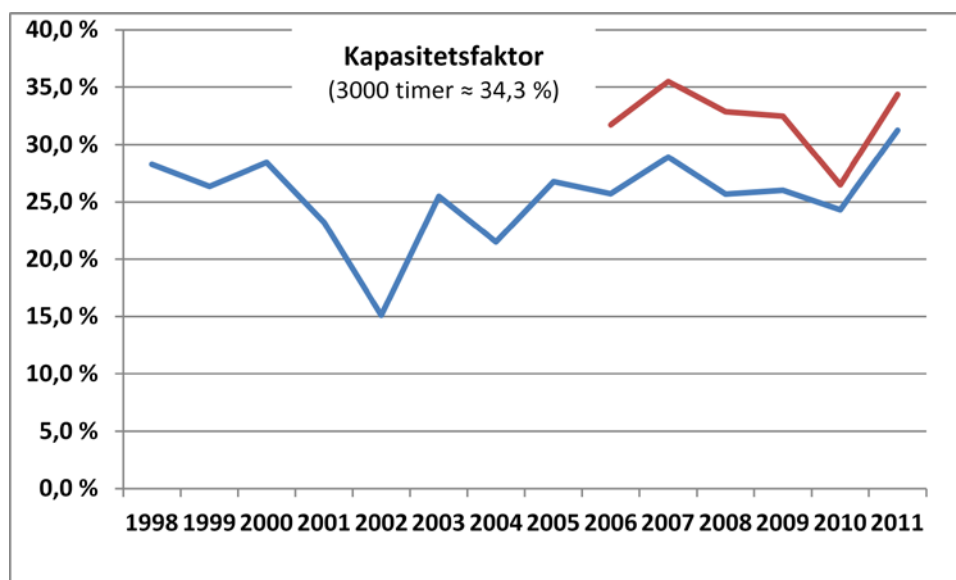
$E$  = produsert vindkraft,

$P_t$  = total installert ytelse

$P_i$  = ny kapasitet som er installert det siste året

En har her antatt at ny kapasitet i gjennomsnitt har vært i drift et halvt år (4 380 timer). Dette representerer en tilnærming som i enkelte år, med en prosentvis stor økning i installert ytelse, kan gi store utslag. Dette gjelder for eksempel i 2002 der ny kapasitet dominerte over allerede installert kapasitet, og var sannsynligvis i drift i mindre enn et halvt år.

Kapasitetsfaktoren med *estimert produksjon* (jf. Tabell 4) er også tegnet inn. Denne er markert med rød strek. Forskjellen mellom kapasitetsfaktoren basert på *estimert produksjon* og kapasitetsfaktoren basert på produsert kraft kommer her tydeligere frem. I 2010 ble imidlertid avviket mellom estimert og målt kapasitetsfaktor mindre enn de har vært de senere år og dette fortsatte i 2011. Noe av dette kan skyldes at enkelte kraftverk nå har nedjustert sin normalproduksjon (midlere produksjonsevne). Ut over det er det ikke klarlagt hvorfor avviket nå er mindre enn tidligere.



**Figur 5 Kapasitetsfaktor – historisk utvikling**

- Målt kapasitetsfaktor
- Estimert kapasitetsfaktor (gitt av vindforhold og normalproduksjon)