

## Energitekniske definisjoner, omregningsfaktorer og teoretisk energiinnhold i ulike brensler

### Enheter for energi

Energi er definert som evnen til å utføre arbeid.  
Grunnenheten for energi er joule (J).

---

1 MJ, megajoule	=	$10^6$	J	=	1 million J
1 GJ, gigajoule	=	$10^9$	J	=	1 milliard J
1 TJ, terajoule	=	$10^{12}$	J	=	1 000 milliarder J
1 PJ, petajoule	=	$10^{15}$	J	=	1 million milliarder J
1 EJ, exajoule	=	$10^{18}$	J	=	1 milliard milliarder J

### For elektrisk energi brukes bl.a. også:

---

1 kWh, kilowatttime	=	$10^3$	Wh	=	1 000 Wh
1 MWh, megawatttime	=	$10^3$	kWh	=	1 000 kWh
1 GWh, gigawatttime	=	$10^6$	kWh	=	1 million kWh
1 TWh, terawatttime	=	$10^9$	kWh	=	1 milliard kWh

PJ fås ved å multiplisere TWh med 3,6.

1 MWh er omtrent den elektriske energimengde som trengs til oppvarming av en el-oppvarmet villa i en vinteruke.

1 TWh tilsvarer omtrent ett års elforbruk i en by med om lag 50 000 innbyggere.

### Effekt er energi per tidsenhet.

Grunnenheten for effekt er watt, og følgende enheter brukes:

---

1 W, watt	=	1	J/s
1 kW, kilowatt	=	$10^3$	W = 1 000 W
1 MW, megawatt	=	$10^3$	kW = 1 000 kW

### Omregningsfaktorer og gjennomsnittlig teoretisk energiinnhold i ulike brensler:

---

	MJ	kWh	toe	Sm <sup>3</sup> naturgass	fat råolje	favn ved*
1 MJ, megajoule	1	0,278	0,0000236	0,025	0,000176	0,0000781
1 kWh, kilowatttime	3,6	1	0,000085	0,09	0,000635	0,00028
1 toe, tonn oljeekvivalent	42 300	11 750	1	1 190	7,49	3,31
1 Sm <sup>3</sup> naturgass	40	11,11	0,00084	1	0,00629	0,00279
1 fat råolje (159 liter)	5 650	1 569	0,134	159	1	0,44
1 favn ved* (2,4 løsm <sup>3</sup> )	12 800	3 556	0,302	359	2,25	1

---

\*Avhenger av fuktighet i brensllet.

## Utfordringer knyttet til etablering av en CO<sub>2</sub>-verdikjede – oversikt over regjeringens arbeid

Det har vært stor internasjonal oppmerksomhet i mange år på utvikling av teknologi for fangst og lagring av CO<sub>2</sub>, særlig fra kullkraftverk. I Norge har oppmerksomheten vært rettet mot fangst av CO<sub>2</sub> fra gasskraftverk, og å skape en kjede for transport og injeksjon av CO<sub>2</sub>. En CO<sub>2</sub>-kjede omfatter fangst av CO<sub>2</sub> fra utslippskilder, transport av CO<sub>2</sub> og bruk av CO<sub>2</sub> til økt oljeutvinning. Norske aktører er langt fremme på dette området.

Kraftproduksjon og annen bruk av fossil energi er den største kilden til utslipp av klimagasser. Fangst av CO<sub>2</sub> og lagring av CO<sub>2</sub> i olje-/gassreservoarer og geologiske formasjoner, peker seg ut som et mulig tiltak for å redusere globale utslipp. Teknologi for fangst og lagring av CO<sub>2</sub> er på et tidlig utviklingsstadium. Tilgjengelig teknologi er meget dyr og det er stor usikkerhet knyttet til kostnader og drift av en CO<sub>2</sub>-kjede.

Bruk av CO<sub>2</sub> til økt oljeutvinning kan bidra til å redusere kostnadene ved fangst og lagring, ved at CO<sub>2</sub> som fanges får en merverdi. Bruk av CO<sub>2</sub> til økt oljeutvinning kan muliggjøre en lønnsom verdikjede for CO<sub>2</sub>, men det er store utfordringer som må løses for at CO<sub>2</sub>-verdikjeder skal bli en realitet.

FNs klimapanel har i sin spesialrapport, Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage (IPCC, 2005), vurdert at lagring av CO<sub>2</sub> kan utgjøre opptil halvparten av utslippsreduksjonene i dette århundret, men at det er store utfordringer som må løses for at potensialet skal kunne realiseres. IPCC-rapporten påpeker at teknologi for fangst og lagring av CO<sub>2</sub> i stor grad er umoden og at det ikke er erfaring med fangst av CO<sub>2</sub> fra store kull- og gasskraftverk.

### Fangst av CO<sub>2</sub>

Kostnadene ved fangst og lagring av CO<sub>2</sub> i forbindelse med kraftproduksjon fra fossile brensler er en grunnleggende utfordring, siden dette gir en betydelig fordyring av kraftproduksjonen. Kostnadene ved å fange CO<sub>2</sub> fra et kraftverk utgjør om lag 2/3 av kostnadene i hele CO<sub>2</sub>-kjeden, mens transport og deponering av CO<sub>2</sub> utgjør om lag 1/3. Denne fordelingen gjelder i grove trekk uansett teknologikonsept.

Teknologi for fangst av CO<sub>2</sub> fra gasskraftverk kan deles i tre hovedkategorier: Post-combustion, pre-combustion og oxy-fuel. Post-combustion går ut på at CO<sub>2</sub> skilles ut fra eksosgassen fra kraftverket, ved bruk av kjemisk rensing. Fordi CO<sub>2</sub> skilles ut fra eksosgassen, kan denne teknologien i prinsippet benyttes på eksisterende kraftverk uten store modifikasjoner av selve kraftverket. Post-combustion ansees for å være den mest modne teknologien, men det er likevel stor usikkerhet knyttet til bruk av teknologien.

Ved bruk av pre-combustion-teknologi fanges CO<sub>2</sub> før forbrenning. Det skjer ved at naturgassen konverteres til en hydrogenrik gassblanding. Gassblandingen behandles slik at CO<sub>2</sub> fanges, og det nye brensllet er således "dekarbonisert", slik at eksosgassen inneholder svært lite CO<sub>2</sub>. Pre-combustion forutsetter ombygging av gassturbinen, og vurderes som mer kompleks teknologi enn post-combustion.

Ved bruk av oxy-fuel skjer forbrenningen i gassturbinen med rent oksygen istedenfor luft. Dette medfører at eksosen kun består av vanndamp og CO<sub>2</sub>, og CO<sub>2</sub> kan skilles ut ved nedkjøling av eksosen. Dagens gassturbiner får meget dårlig ytelse ved oksygenforbrenning, og det er foreløpig ikke

satt særlig på utvikling av nye typer gass turbiner som er mer egnet for oksygenforbrenning. I tillegg er det meget energikrevende å produsere oksygen, og teknologien for energi-produksjon er svært kostbar. Oxy-fuel anses derfor for å være en lite moden teknologi.

Fangst av CO<sub>2</sub> er energikrevende. IPCC-rapporten anslår at dersom 90 prosent av CO<sub>2</sub> fra et kraftverk fanges, vil brenselforbruket øke med 11-40 prosent avhengig av teknologi og brensel. Fangst av CO<sub>2</sub> reduserer kraftverkens ytelse og medfører en økning av andre miljøskadelige utslipp. Rapporten anslår at kostnadene ved kraftproduksjon øker med 20-85 prosent ved fangst av CO<sub>2</sub>. Dersom nivået på forskning og utvikling opprettholdes, vil kostnadene ved fangst av CO<sub>2</sub> kunne reduseres med 20-30 prosent de neste 10 årene.

Foreløpig er ingen av de nevnte teknologiene utprøvd i stor skala i forbindelse med gasskraftverk. Det er derfor knyttet stor usikkerhet til bruk av tilgjengelig teknologi for fangst av CO<sub>2</sub>, særlig i forhold til kostnader og ytelse.

### Transport av CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> må fraktes fra CO<sub>2</sub>-kilden til den geologiske strukturen der CO<sub>2</sub> skal lagres. CO<sub>2</sub> kan transporteres med rør eller med skip. Generelt er transport av CO<sub>2</sub> det elementet i CO<sub>2</sub>-kjeden som er minst komplisert, både når det gjelder teknologi og mulighetene til å anslå realistiske kostnader. Likefullt er transportleddet både energikrevende og kostbart. Ettersom CO<sub>2</sub> oppfører seg svært forskjellig under ulike trykk og temperaturer, må den transporteres i kontrollerte former for å unngå fast form og blokkering av rør eller utstyr.

Transport av CO<sub>2</sub> i skip er mer komplekst enn transport i rør. For å få mest mulig CO<sub>2</sub> i en skipslast, gjøres CO<sub>2</sub> flytende ved trykksetting eller en kom-

binasjon av trykksetting og nedkjøling. En har god erfaring med skiping av CO<sub>2</sub> i forbindelse med matvareproduksjon og industriell anvendelse av CO<sub>2</sub>, men i mindre volum. Lagring av CO<sub>2</sub> i geologiske formasjoner på norsk sokkel vil innebære transport av store volumer CO<sub>2</sub>, og det er behov for skip med større transportkapasitet. De antatt største utfordringene ligger i leveringsregularitet og kostnadseffektiv lossing av CO<sub>2</sub> fra et skip til en installasjon til havs. Et alternativ kan være skipstransport til et mellomlager på land, tilknyttet en rørledning ut til feltet.

Transport av CO<sub>2</sub> i rør skiller seg ikke vesentlig fra transport av hydrokarbongass. Teknologiene er kjente, og det er lang erfaring med bygging og drift av store rørledninger for transport av gass fra norsk kontinentalsokkel til kontinentet. Det er imidlertid ingen erfaring med transport av store mengder CO<sub>2</sub> gjennom lengre rørledninger på havbunnen. Først når Snøhvit kommer i drift fra 2007, vil man få slik erfaring.

Hvilken transportmetode som er hensiktsmessig vil være avhengig av behov og omstendigheter i det enkelte tilfelle, herunder antall utslippskilder, størrelsen på utslippene fra hver kilde, avstand fra kilde til lagringsplass og hvilke volumer CO<sub>2</sub> som skal fraktes. Med dagens teknologi vurderes rørtransport som det enkleste og mest kostnadseffektive alternativet, og fra 2007 vil man opparbeide erfaring med transport av CO<sub>2</sub> i rør fra LNG-anlegget på Snøhvit.

### Lagring av CO<sub>2</sub>

Norge har lang erfaring med lagring av CO<sub>2</sub> i geologiske strukturer. Siden 1996 er 1 million tonn CO<sub>2</sub> per år blitt utskilt fra gassproduksjonen på Sleipner Vest i Nordsjøen og lagret i Utsira, en geologisk formasjon 1000 meter under

havbunnen. I 2007 starter utvinning av naturgass, NGL og kondensat fra Snøhvitfeltet i Barentshavet. I forbindelse med behandlingen av brønnstrømmen på Melkøya vil 700 000 tonn CO<sub>2</sub> bli utskilt og lagret i et reservoar 2600 meter under havbunnen.

Det er et stort teknisk potensial for lagring av CO<sub>2</sub> i geologiske formasjoner verden over. Både produserende olje- og gassfelt, gamle olje- og gassfelt og andre formasjoner er aktuelle for slik lagring. Lagring i forlatte reservoarer er geologisk gode løsninger fordi strukturene med stor grad av sannsynlighet er tette ettersom de har holdt på gass og olje gjennom millioner av år. Også andre formasjoner anses som sikre lagre for CO<sub>2</sub>. Blant annet er det gjennom det internasjonale SACS-prosjektet dokumentert at CO<sub>2</sub> fra Sleipnerfeltet som blir pumpet ned i den enorme Utsira-formasjonen ikke lekker ut.

Sannsynligheten for lekkasje fra geologisk lagring anses å være liten. IPCC-rapporten konkluderer med at hvis lagringen utføres på forsvarlig måte er det svært sannsynlig (90-99 prosent sannsynlighet) at mer enn 99 prosent av lagret CO<sub>2</sub> fortsatt er på plass etter hundre år. Etter 1000 år er det sannsynlig (66-90 prosent sannsynlighet) at mer enn 90 prosent fortsatt er på plass.

### **Bruk av CO<sub>2</sub> til økt oljeutvinning**

Etter hvert som oljefelt når en moden fase synker trykket i reservoarene og det er behov for ekstra trykkstøtte for at produksjonen skal opprettholdes. På en del oljefelt på norsk sokkel benyttes vann eller naturgass som trykkstøtte for å opprettholde produksjonen. Injisering av CO<sub>2</sub> kan være et alternativ eller supplement til bruk av vann eller naturgass som trykkstøtte. CO<sub>2</sub> kan ved gitte forhold blandes med reservo-

aroljen, som forårsaker svelling av oljen og reduserer oljens viskositet. CO<sub>2</sub> kan dermed bidra til økt oljeutvinning ut over det en kan oppnå med vann- eller gassinjeksjon.

Det er store utfordringer ved bruk av CO<sub>2</sub> for å øke oljeutvinningen fra feltene på norsk kontinentalsokkel. Spesielt er det knyttet store kostnader til modifisering av eksisterende installasjoner og utstyr for injeksjon og etterbehandling av tilbakeprodusert CO<sub>2</sub>. Flere av de aktuelle kandidatene til CO<sub>2</sub>-injeksjon inneholder store mengder gass, og tilbakeprodusert CO<sub>2</sub> må separeres fra gassen i henhold til salgsgassspesifikasjonene. Slike prosesser er plasskrevende, og i mange tilfeller vil det være nødvendig å bygge en ny installasjon for å få plass til nødvendig utstyr.

Det er ikke nødvendigvis samsvar mellom tilgangen på CO<sub>2</sub> fra et gasskraftverk og behovet for CO<sub>2</sub> til et oljefelt. Et oljefelt har behov for leveranser av CO<sub>2</sub> i en betydelig kortere periode enn det som er forventet levetid for et gasskraftverk. I tillegg vil behovet for tilført CO<sub>2</sub> avta etter hvert som stadig mer CO<sub>2</sub> blir produsert med prosessstrømmen. Denne CO<sub>2</sub>-en må separeres fra prosessstrømmen og reinjiseres i feltet. Etter hvert vil mengden CO<sub>2</sub> som blir produsert med prosessstrømmen og reinjisert være tilstrekkelig for oljefeltet, og det vil ikke være behov for tilført CO<sub>2</sub> fra en ekstern kilde. Det er derfor nødvendig med en infrastruktur for transport av CO<sub>2</sub> som muliggjør ren lagring av CO<sub>2</sub>, etter hvert som behovet for CO<sub>2</sub> til økt oljeutvinning på et felt reduseres.

Et oljefelt har behov for en jevn tilførsel av CO<sub>2</sub>, dersom CO<sub>2</sub> skal benyttes til økt oljeutvinning. Eventuelle forpliktelser om å levere CO<sub>2</sub> til oljefeltet kan derfor påvirke et gasskraftverks driftsstrategi. For å sikre produksjon

av avtalt volum CO<sub>2</sub> til oljefeltet, må gasskraftprodusenten sørge for tilstrekkelig oppetid for gasskraftverket. Driftsstrategien vil i slike tilfeller kunne være annerledes enn ved tilfeller der anleggets drift i hovedsak er knyttet til forholdet mellom kraftpris og gasspris.

Det er behov for store volum av CO<sub>2</sub> ved bruk av CO<sub>2</sub> til økt oljeutvinning. CO<sub>2</sub> fra kun en punktkilde (for eksempel Kårstø) vil trolig ikke være tilstrekkelig for optimal injisering i oljefelt. Det vil derfor kunne være nødvendig å skaffe CO<sub>2</sub> fra andre kilder i Norge eller fra utlandet.

### **Prosjekter for å sikre fremdrift i arbeidet med å etablere en CO<sub>2</sub>-kjede**

Regjeringen har iverksatt tre prosjekter for å sikre fremdrift i arbeidet med å etablere en CO<sub>2</sub>-kjede og å involvere aktuelle aktører i arbeidet.

Delprosjekt 1 omfatter hele CO<sub>2</sub>-kjeden med fangst, transport og injeksjon av CO<sub>2</sub> for økt oljeutvinning eller deponering. Gjennom innledende forhandlinger mellom gasskraftverk og andre store punktkilder for CO<sub>2</sub> og oljeselskaper, skal inntekter og kostnader i alle leddene i CO<sub>2</sub>-kjeden kvalitetssikres. Kartlegging av den reelle betalingsviljen til aktørene vil gi en oversikt over mulige inntekter i kjeden, og dermed også rammene for statens engasjement.

Delprosjekt 2 vil avklare tidsperspektiv og kostnader for etablering av renseanlegg på Kårstø. Målet er å etablere et slikt anlegg på Kårstø innen 2009. Arbeidet krever nært samarbeid med aktuelle leverandører av teknologi for CO<sub>2</sub>-rensing. Det skal også etableres en juridisk ansvarlig enhet, som kan stå ansvarlig for anbud og innkjøp, bygging, drift og eierskap av anlegget.

I delprosjekt 3 skal Olje- og energidepartementet i samarbeid med relevante

departementer avklare ulike forhold knyttet til organisering og juridiske rammer for statens engasjement i CO<sub>2</sub>-kjeden.

### **Samarbeid mellom myndigheter og industri**

For at fangst og lagring av CO<sub>2</sub> skal bli et viktig tiltak for å redusere de globale klimagassutslippene, må en finne teknologiske løsninger som gjør fangst og lagring av CO<sub>2</sub> til et konkurransedyktig alternativ til andre energiløsninger i en global sammenheng.

Norske myndigheter deltar i internasjonalt forsknings- og teknologisamarbeid. Viktige arenaer for samarbeid og koordinering på myndighetsnivå er blant annet Carbon Sequestration Leadership Forum, samarbeid i regi av International Energy Agency, ulike forskningsprogrammer i EU, i tillegg til bilateralt samarbeid.

Flere sentrale norske forskningsinstitusjoner og selskaper deltar i internasjonale samarbeidsprosjekter der både energi- og leverandørselskaper og flere lands myndigheter samarbeider. Slike prosjekter sikrer at både nødvendige teknologiutviklere (leverandørselskaper) og teknologikjøpere (energiselskaper) deltar i teknologiutviklingen.

Fangst og lagring av CO<sub>2</sub> er et viktig tema i energidialogen med EU-kommisjonen. Regjeringen vil samarbeide med EU-kommisjonen om fangst og lagring av CO<sub>2</sub> og bruk av CO<sub>2</sub> for økt oljeutvinning.

Den norske olje- og energiministeren og den britiske energiministeren undertegnet i 2005 en felleserklæring om geologisk lagring av CO<sub>2</sub> i Nordsjøen, og opprettet en arbeidsgruppe for nordsjøbassenget. Målet er å utvikle felles prinsipper som et grunnlag for å regulere CO<sub>2</sub>-lagringen i Nordsjøen.

**Gassnova SF**

Gassnova er statens senter for miljøvennlig gassteknologi, og ble opprettet i 2005. Gassnova har som formål å fremme utvikling av fremtidsrettet, miljøvennlig og kostnadseffektiv gasskraftteknologi. Gassnova støtter prosjekter som i utvikling ligger mellom forskning og kommersielle anlegg, som pilot- og demonstrasjonsanlegg. I samarbeid med Norges forskningsråd forvalter Gassnova det statlige programmet Climit som støtter utvikling og demonstrasjon av løsninger for gasskraftverk med CO<sub>2</sub>-håndtering.

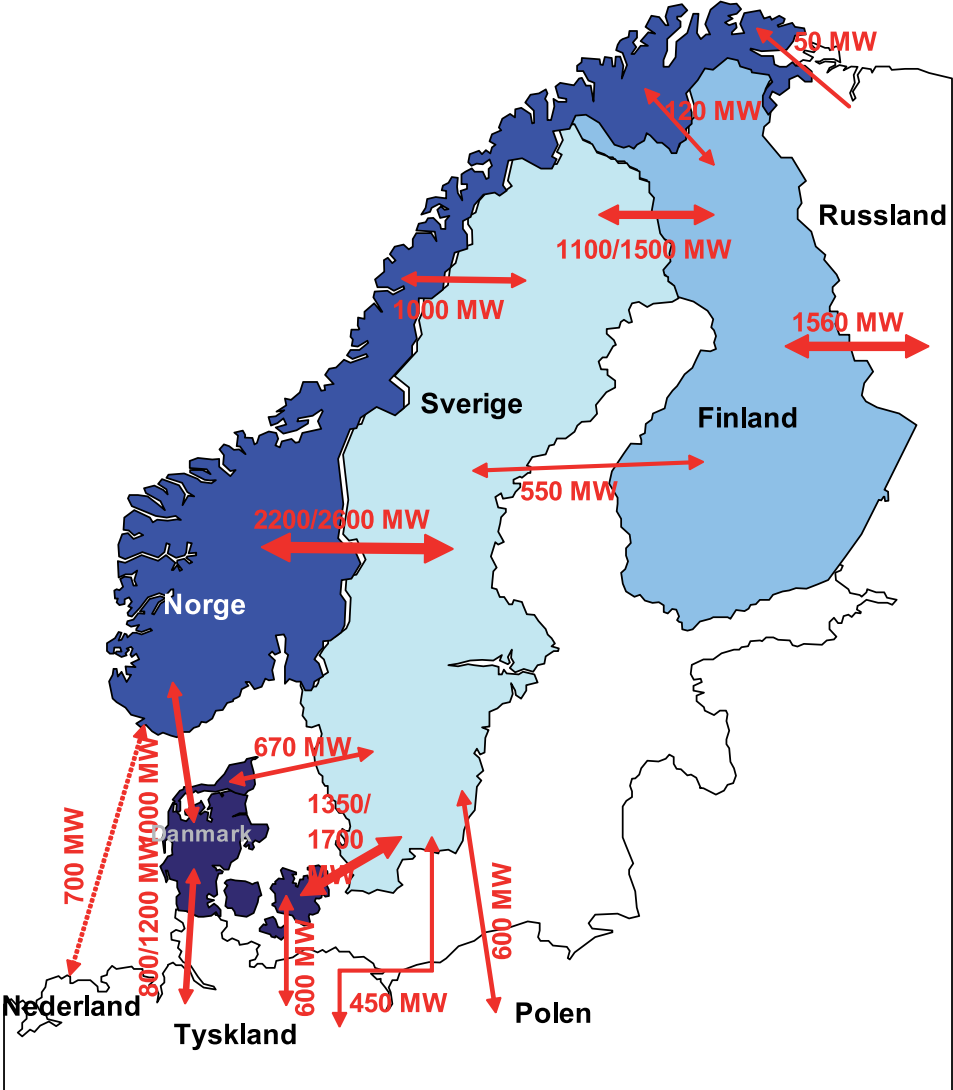
## Nøkkeltall for kraftsektoren for 2005 i TWh

	Total	Endring fra 2004
Midlere års produksjonsevne for norsk vannkraft (tilsigsserie 1970-1999)	119,8	+0,8
Produksjon	137,6	+26,0
Vannkraft	136,1	+26,6
Varmekraft	1,0	+0,1
Vindkraft	0,5	+0,2
Utenlandshandel		
Import	3,7	-11,6
Eksport	15,7	+11,9
Nettoimport	-12,0	23,5
Nettoforbruk		
Kraftkrevende industri	35,9	+0,2
Treforedling	6,4	0
Bergverk og annen industri	8,7	+0,3
Husholdninger, tjenesteyting etc.	60,6	+0,8

## Netto innenlands sluttforbruk av energi i TWh

	Total	Kull, Koks	Bio-energi	Petroleums-produkter	Gass	Elektrisitet	Fjernvarme
Samlet	225,0	12,1	12,4	79,2	6,7	112,2	2,4
Industri	81,1	12,1	4,4	7,2	6,0	51,0	0,4
Kraftkrevende industri	51,9	8,6	0,1	1,9	5,3	35,9	0,1
Treforedling	11,4	0,0	3,2	1,7	0,1	6,4	0,1
Bergverk og annen ind.	17,8	3,7	1,1	3,6	0,6	8,7	0,2
Hush., tjenesteyting etc.	84,6	0,0	8,0	13,6	0,5	60,6	2,1
Transport	59,5	0,0	0,0	58,7	0,1	0,6	0,0

Overføringskapasitet i Norden (MW)





## Publikasjoner fra Energi- og vannressursavdelingen i 2005

### Stortingsproposisjoner

---

St.prp. nr. 1 (2005–2006)	FOR BUDSJETTERMINEN 2006
St.prp. nr. 24 (2005-2006)	Om endringar av løyvingar på statsbudsjettet for 2005 m.m. under Olje- og energidepartementet
St.prp. nr. 49 (2004-2005)	Om løyve til overføring av vatn gjennom bygging av ein tunnel mellom Breidalsvatnet og Raudalsvatnet

### Annet

---

Fakta 2005	Energi- og vassdragsvirksomheten i Norge
------------	--

**Nyttige internettadresser:**

Olje- og energidepartementet ..... [www.oed.dep.no](http://www.oed.dep.no)

**Andre aktører**


---

Barentsrådet ..... [www.barentsenergy.org](http://www.barentsenergy.org)  
 BASREC ..... [www.cbss.st](http://www.cbss.st)  
 CORDIS (EUs FoU Informasjonstjeneste) ..... [www.cordis.lu](http://www.cordis.lu)  
 Den norske komité for store dammer (NNCOLD) ..... [www.nve.no/nncold](http://www.nve.no/nncold)  
 Den økonomiske kommisjon for Europa (ECE) ..... [www.unece.org](http://www.unece.org)  
 Det Internasjonale Energibyrå (IEA) ..... [www.iea.org](http://www.iea.org)  
 Energibedriftenes landsforening EBL ..... [www.ebl.no](http://www.ebl.no)  
 Energicharteret ..... [www.encharter.org](http://www.encharter.org)  
 Energimyndigheten (Sverige) ..... [www.stem.se](http://www.stem.se)  
 Energistyrelsen (Danmark) ..... [www.ens.dk](http://www.ens.dk)  
 Enova SF ..... [www.enova.no](http://www.enova.no)  
 Forum for regionale enøksentre (Fres) ..... [www.enok.no](http://www.enok.no)  
 Gassnova SF ..... [www.gassnova.no](http://www.gassnova.no)  
 Generaldirektoratet for transport og energi (DG Tren) ..... [http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport)  
 International Centre for Hydropower ..... [www.ntnu.no/ich](http://www.ntnu.no/ich)  
 Labroskolen ..... [www.labroskolen.no](http://www.labroskolen.no)  
 Lågdalsmuseet og Vassdragsmuseet Labro .... <http://kongsberg.net/laagdalsmuseet>  
 Miljøverndepartementet ..... [www.md.dep.no](http://www.md.dep.no)  
 Norad ..... [www.norad.no](http://www.norad.no)  
 Nordel ..... [www.nordel.org](http://www.nordel.org)  
 Nordisk Energiforskning (NEFP) ..... [www.nordisk.energiforskning.org](http://www.nordisk.energiforskning.org)  
 Nordisk Ministerråd ..... [www.norden.org](http://www.norden.org)  
 Nord Pool ..... [www.nordpool.no](http://www.nordpool.no)  
 Norges Forskningsråd ..... [www.forskningsradet.no](http://www.forskningsradet.no)  
 Norges vassdrags- og energidirektorat ..... [www.nve.no](http://www.nve.no)  
 Norsk Petroleumsinstitutt ..... [www.np.no](http://www.np.no)  
 Statistisk sentralbyrå ..... [www.ssb.no](http://www.ssb.no)  
 Statkraft SF ..... [www.statkraft.no](http://www.statkraft.no)  
 Statnett SF ..... [www.statnett.no](http://www.statnett.no)