

Bærekraftig energiproduksjon

Gjesteforelesning i emnet TFY4107 – Fysikk

Jørn Vatn - NTNU

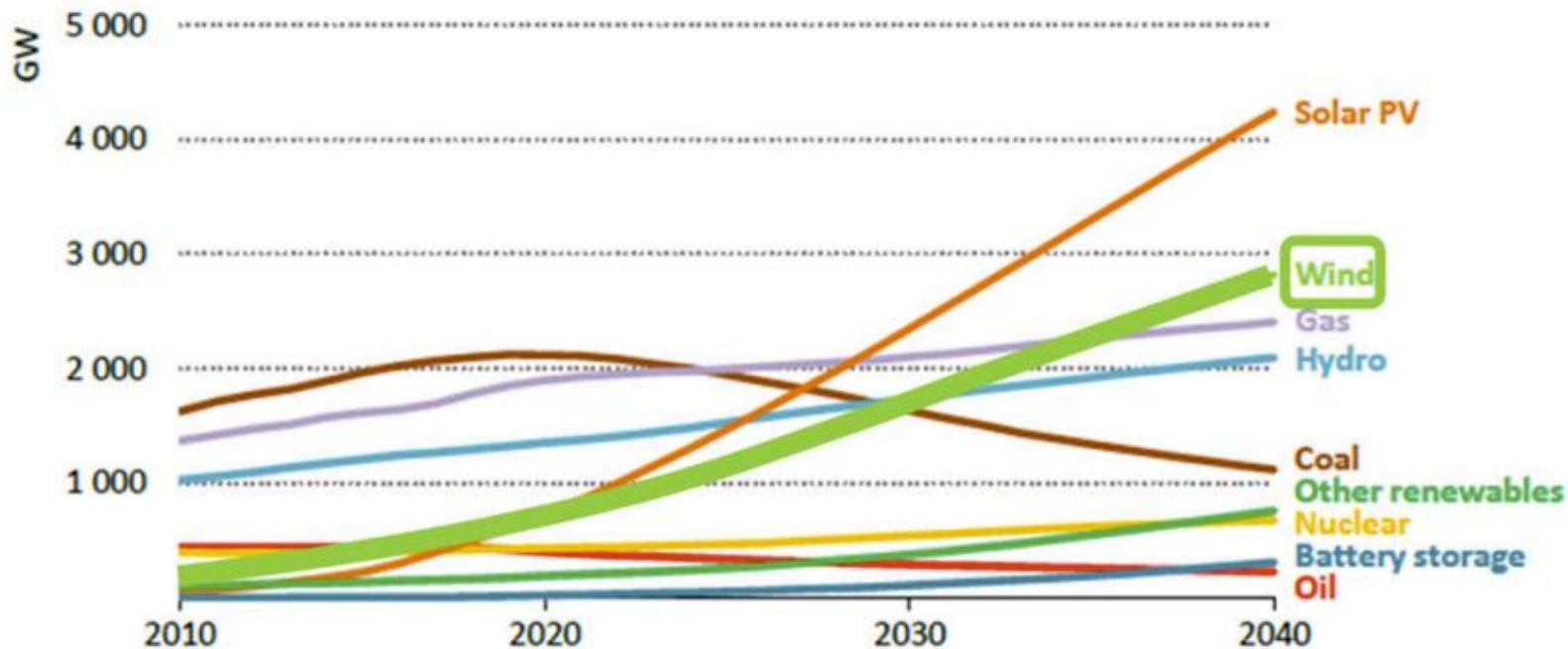
Innhold

- Oppvarming
- Oljeeventyret på hell
- Hydrogen
- Havvind
- Sikkerhet, pålitelighet og vedlikehold
- Trenger vi fysikkfaget?

Hvem

- Er, eller har vært med i en miljøorganisasjon?
- Natur og ungdom?
- Bellona?
- Naturvernforbundet?
- Greenpeace?
- WWF?
- Stopp oljeletinga

Hvor lenge varer oljeeventyret?



Globalt installert kapasitet for forskjellige energiteknologier i henhold til IEA sitt scenario for bærekraftig utvikling

Hvem «stenger ned»?

- Norske politikere?
- Markedet, ingen vil kjøpe ut fra kjøperlandenes egne bærekraftsmål?
- Avgifter, dvs avgifter på sluttproduktet, som gjør at ingen vil kjøpe norsk olje og gass?
 - I dag er prisen på et fat olje om lag 95\$
 - Med et realistisk avgiftsnivå ser man for seg at salgsprisen fra norsk sokkel vil ligge på om lag 40-50\$
 - Dårlig økonomi i dette

Hvorfor vil Sverige og Danmark fase ut olje og gass?*

- I dag brennes i hovedsak olje og gass
- Dette gir store utslipp av CO₂ til atmosfæren
- Teknologien for fangs og lagring av CO₂ er fortsatt lite økonomisk gunstig sett i lys av at det er nesten «gratis» å slippe CO₂ ut «i det fri»
- Merk også at i dag benyttes ca 25% av oljen til andre formål en energiproduksjon, f eks som innsatsfaktorer i petrokjemisk industri

Er karbonfangst og lagring tingen?

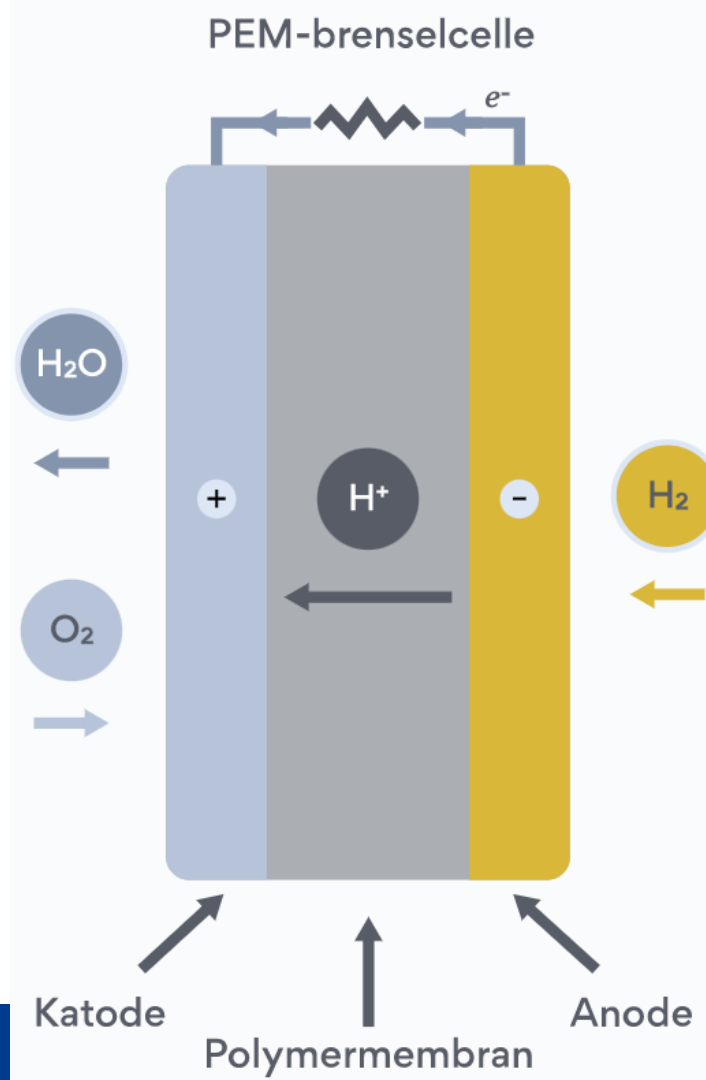
- Månelandingen på Mongstad
- Ikke rett fram, hvor og når skal vi fange CO₂?
- Noen snakker om hydrogen, hvorfor?

Hydrogen

- **Grønt** hydrogen er fremstilt ved elektrolyse av vann med fornybar energi som sol-, vind- eller vannkraft
- **Grått** hydrogen produseres ved gassreforming av olje, naturgass eller kull
 - Sluttproduktene blir hydrogen og CO_2
 - CO_2 slippes ut til atmosfæren
- **Blått** hydrogen er også produkt av gassreforming, men her fanges CO_2 som deretter kan transporteres og lagres

Strøm fra hydrogen

- I brenselcellen splittes H_2 til proton (H^+) + elektron (e^-)
- Protonet passerer gjennom membranen til katoden
- Elektronet går inn i den elektriske kretsen og lager strøm
- Ved katoden: $\text{H}^+ + \text{e}^- + \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$

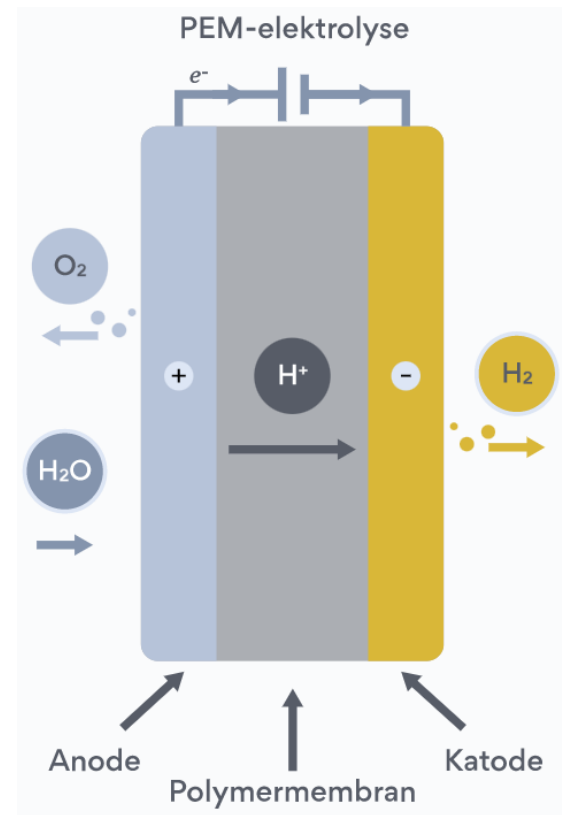
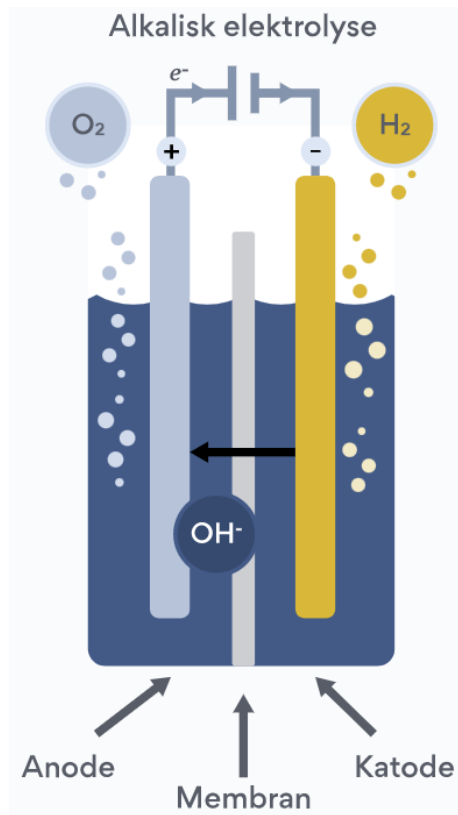


Hvordan lage hydrogen?

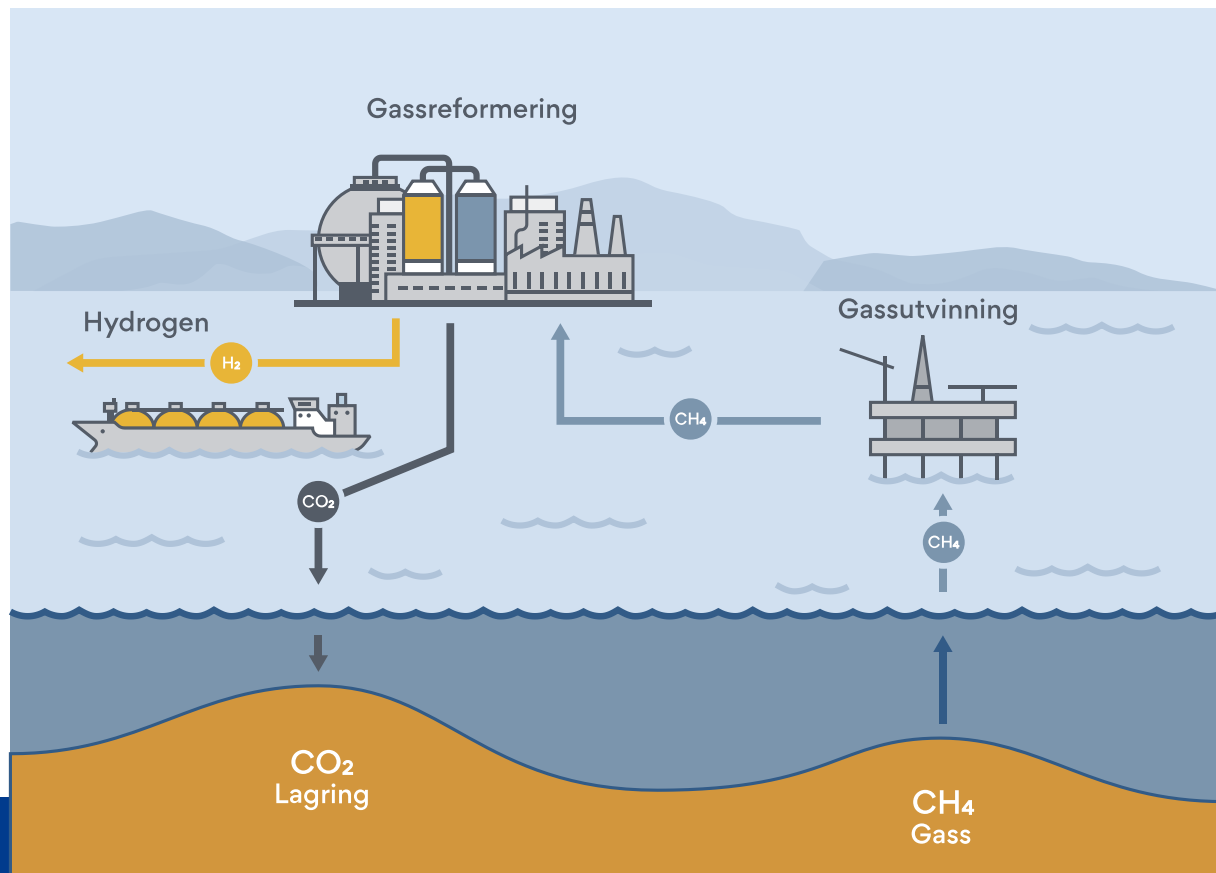
- Ved elektrolyse, krever strøm → Grønn hydrogen
- Gassreforming: Hydrogen fra metan → Blått hydrogen

Grønt hydrogen

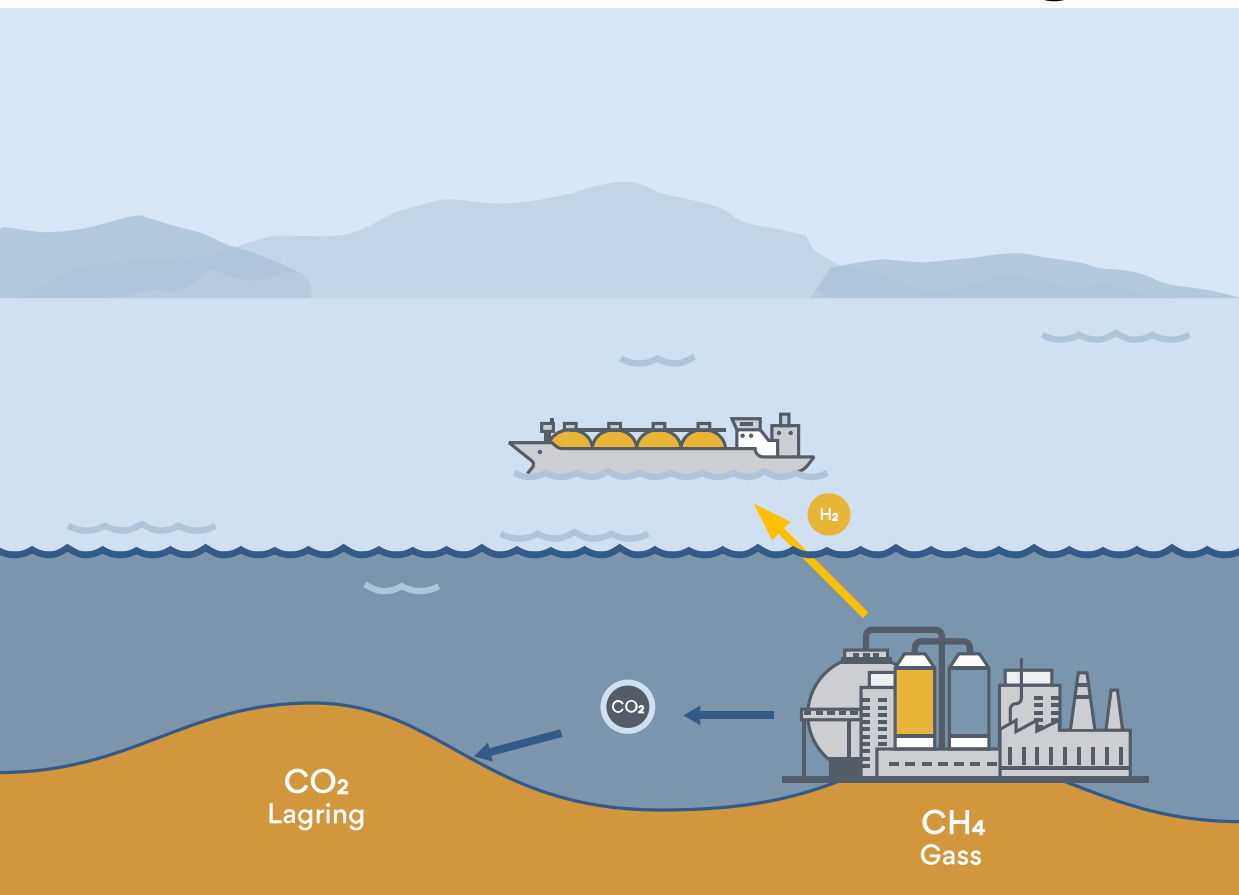
- Allerede i 1927 begynte Norsk Hydro med alkalisk elektrolyse
- PEM-elektrolyse vurderes i dag som mer effektivt



Gassreforming: Hydrogen fra metan



SUBZERO målsetning



- SUBPRO er et stort forskningsprogram som avsluttes 2023
- SUBZERO er en mulig videreføring

Fordeler med hydrogen

- Utslippsfritt i bruk
- Brenselceller er mer effektive enn forbrenningsmotorer
 - Den faktiske virkningsgraden i en brenselcelle er rundt regnet 54%, mens en forbrenningsmotor har maksimal virkningsgrad på 35%
- Det beste valget til lange distanser
 - Her er en tommelfingerregel: Kjøretøy flest på batteri, kilometer flest på hydrogen
- Høy energitetthet
 - Hydrogen har den høyeste energitettheten per vektenhet av alle brensler
- Billig å lagre sammenlignet med batteri
- Kan fungere som «batteri» dersom sokkelen skal elektrifisere med havvind

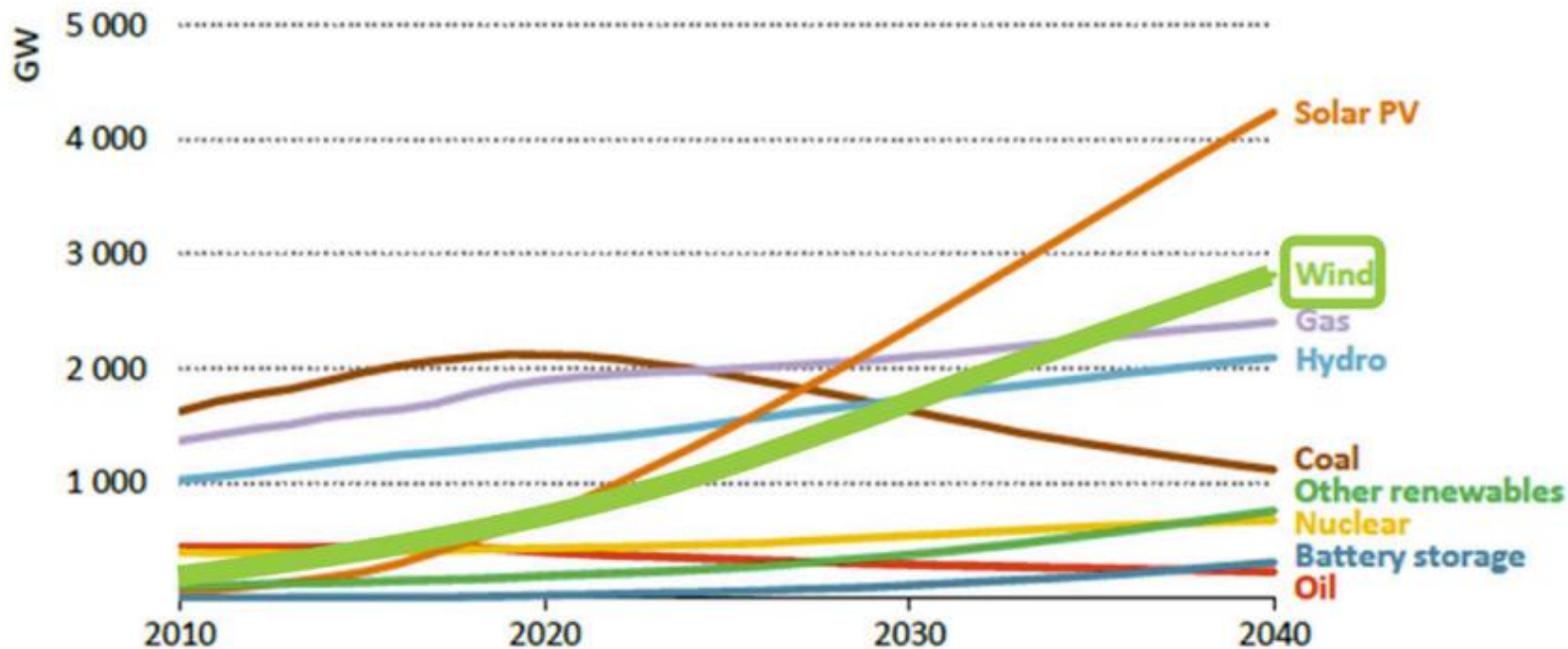
Ulemper med hydrogen

- Produksjonen skaper utslipp i dag
- Dårligere virkningsgrad enn med batteri-elektrisk
 - Men batteri krever bruk av mineraler som vi har begrensninger på
- Grønt hydrogen krever mye strøm
- Dyrt å satse = komplisert utrulling (høne-og-egg-problematikk)
- Sikkerhet kan være en utfordring, jmf [Uno-X Sandvika](#)
[\(Tu.no\)](#)

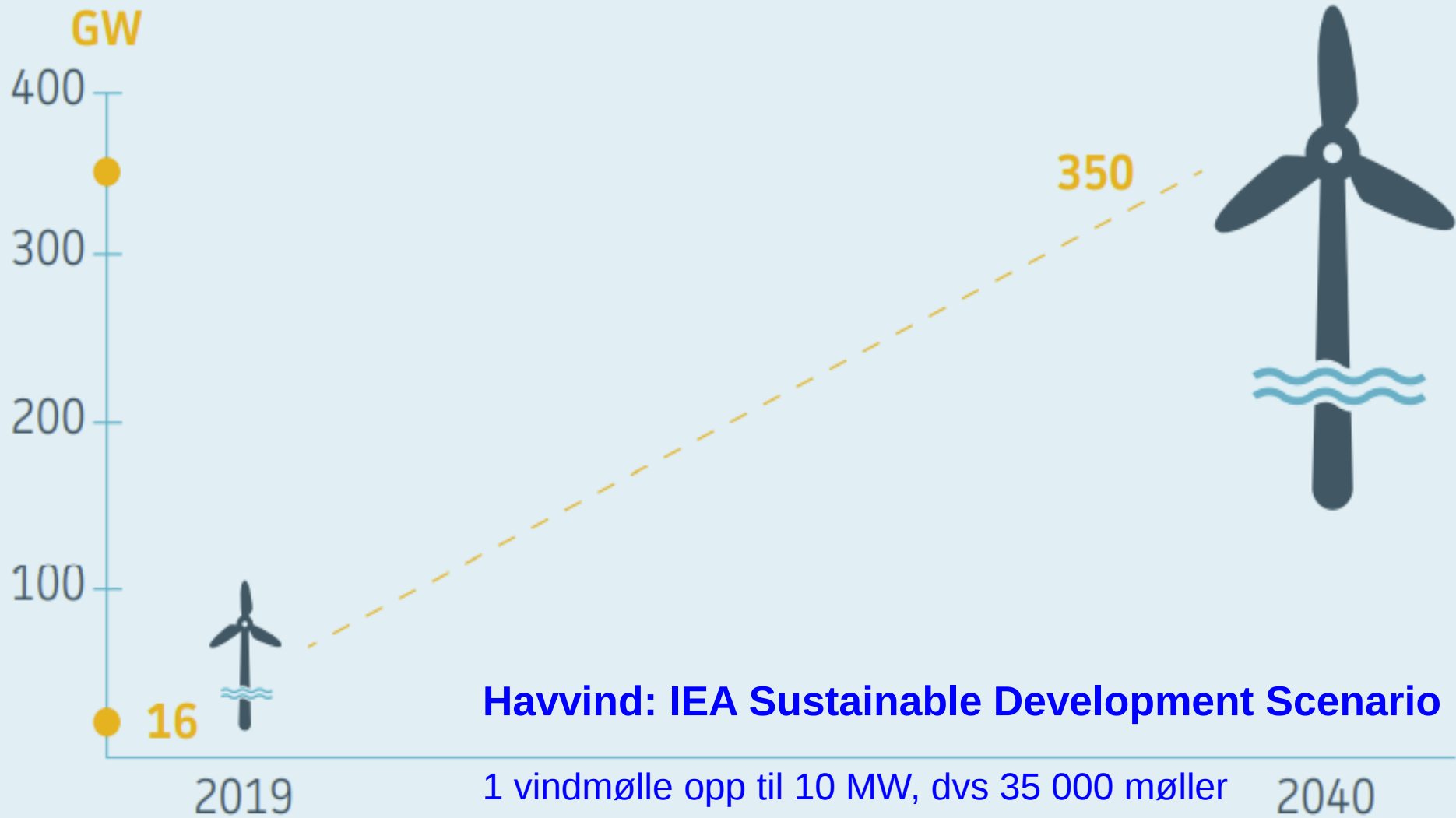
Havvind



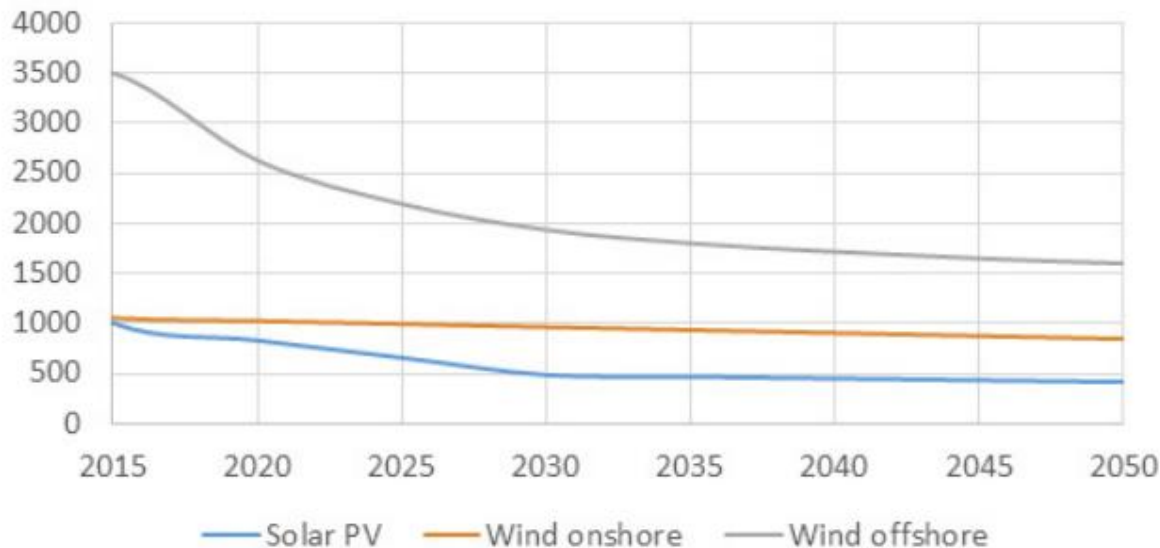
Utsikter for vindenergi



Globalt installert kapasitet for forskjellige energiteknologier i henhold til IEA sitt scenario for bærekraftig utvikling

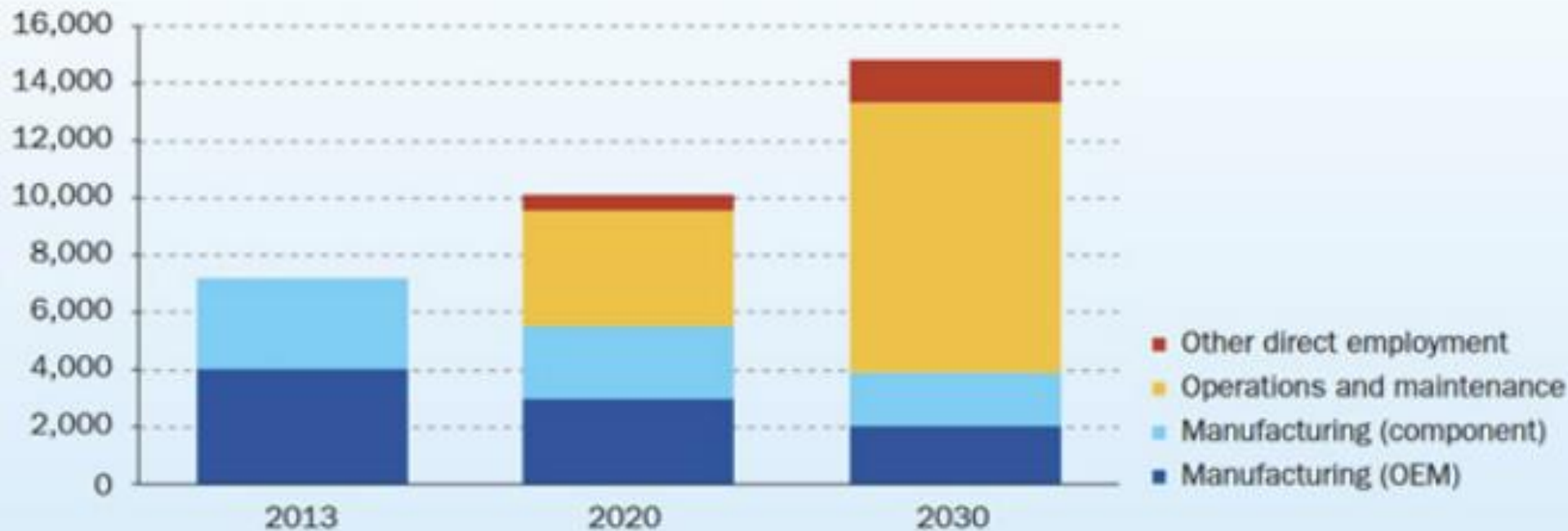


Forventet investeringskostnader €/kW



- 10 år $\approx$ 100000 timer, $20000/100000 = 20$ øre per kilowatt-time
- Blir fort mer per kilowatt-time om det ikke blåser hele tiden
- 1 GW installert gir om lag 5 TW-timer per år
- + Drift og vedlikeholdskostnader

Europeisk kompetansegap - Årsverk



Havvind og hydrogen

- Vind er en variable energikilde
 - Vi har sett negative strømpriser når det blåser mer enn strømkundene kan ta unna
- Produksjon av **grønn** hydrogen er da attraktivt
 - Strøm → Hydrogen → Strøm er mindre effektivt enn Strøm → Batteri → Strøm
 - Men hydrogen krever mindre mineralressurser enn batteri
- Potensiale for havvind
 - Elektrifisering av sokkelen, krever **grønn** hydrogen for stabil forsyning
 - Hydrogen «ladestasjoner» for skipsfart, evt kombinert med **blått** hydrogen fra Nordsjøgass

Trenger vi TFY4107 – Fysikk?

- De færreste av dere som går på INDØK eller EMIL vil jobbe med de fysiske lovene relevant for bærekraftig energiproduksjon
- Men det er mange fysiske lover som vi kommer innom
 - Bølger – Belastningssykler – Utmatting
 - Fluidmekanikk, utforming av turbinblader
 - «Wake-effekts»
 - Fysiske lover for brenselmotorer
 - Trykk og temperatur – Lagring og transport av hydrogen
 - Osv



Bølgekraftverk – Øygarden 1985



Bølgekraftverk – Øygarden 1985

- Norwaves anlegg benyttet kilerenneprinsippet
- Her tvinges bølgene inn i et reservoar ved hjelp av en renne som blir gradvis smalere
- Reservoalet ligger litt over havoverflaten, og dette gir en fallhøyde som kan utnyttes til å produsere elektrisitet
- Kjell Budal og Johannes Falnes (NTNU) var norske pionérer

nrk.no, 8. aug:

- **Straumprisane gjev nytt liv til ideen om bølgekraft: – Kan vere ein joker i energikrisa**
- Kraftmangel og høge straumprisar gjer at ein gamal visjon vert trekt opp av skuffen: Bølgekraft.
- RAUDEBERG: Måløy-selskapet [Havkraft](#) har satsa på å utvikle straum frå bølgene i havet i fleire år.



Sikkerhet og fysikk — og kybernetikk

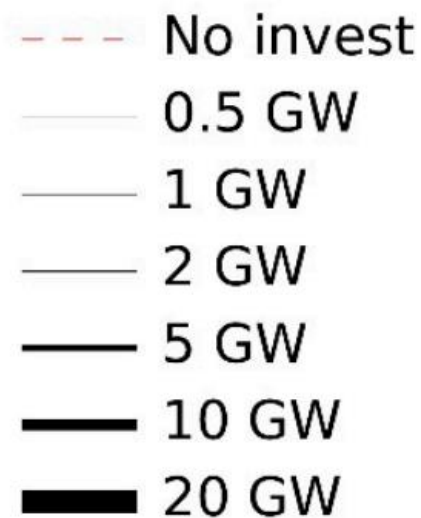
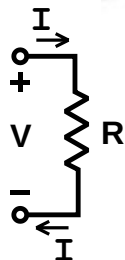


Pålitelighet og fysikk

- Behov for overføringskapasitet:
- Ohms lov kombinert med sannsynlighetsregning for å beregne driftssikkerhet

- $I = \frac{V}{R}$

- $P = I \times V$



Vedlikehold og fysikk

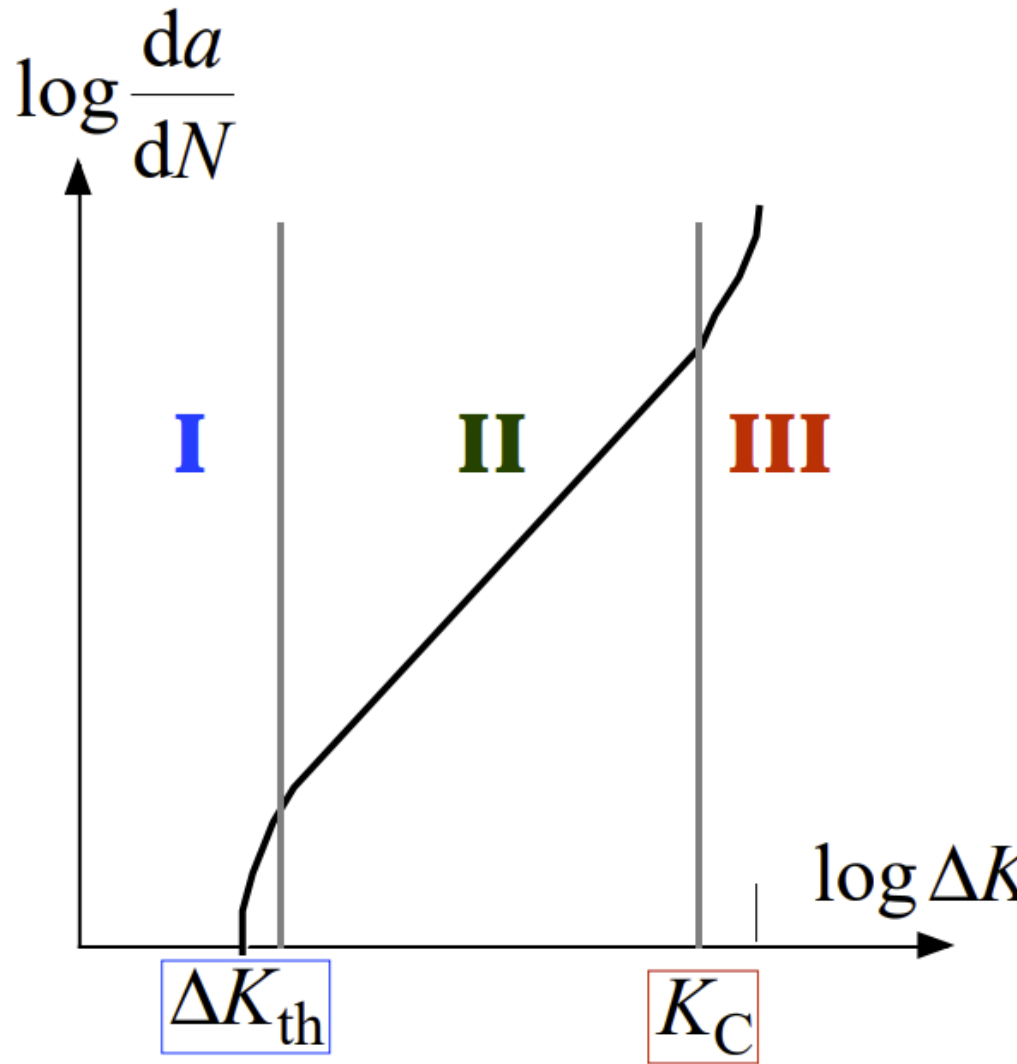
- Vedlikehold = kombinasjon av alle tekniske og administrative aktiviteter som har til hensikt å opprettholde eller gjenvinne en tilstand som gjør en enhet i stand til å utføre en krevd funksjon
- Forebyggende vedlikehold = Vedlikehold som utføres for å vurdere og/eller minske degraderingen og redusere sannsynligheten for svikt i en enhet
- For å forstå degradering, trenger vi ofte fysisk forståelse

Paris' regel

- Sprekkvekstraten for en utmattingssprekk er gitt ved
- $\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m$
- Hvor
 - N = en lastsyklus
 - a = sprekk lengde
 - $\Delta K = \Delta K(a)$ = Stressintensitet i en syklus N
 - C og m = Materialkoeffisienter

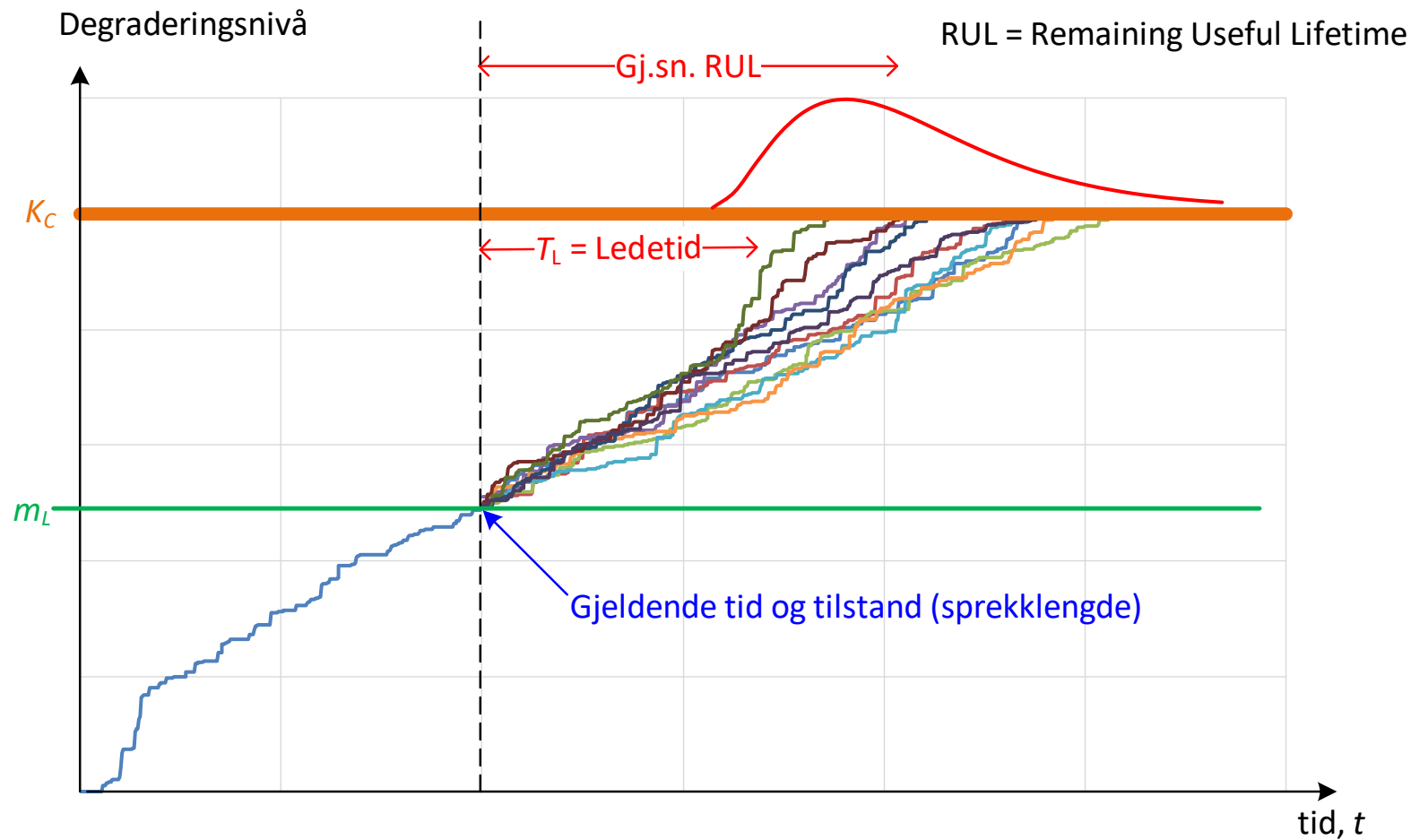
Pars' regel, forts.

- For små verdier av $\Delta K(a)$ vokser sprekken lite (eller ingen ting)
- I mellomområdet:
$$\log \frac{da}{dN} = \log C + m \log \Delta K$$
(svarende til eksponentiell vekst fordi $\Delta K = \Delta K(a)$)
- Til slutt vokser sprekken hurtig mot utmattingsbrudd



Vedlikeholdsmodeller

- Vi trenger å beskrive det stokastiske (tilfeldige) forløpet av sprekkevæksten
 - Vi kan benytte stokastiske modeller, f eks geometrisk Brownske bevegelser, eller
 - Simulere de stokastiske belastningskurvene inn i den fysiske Paris-ligningen
- Så trenger vi også en vedlikeholdsmodell
 - Sviktgrense, dvs K_C
 - Vedlikeholdsgrense, m_L
 - Responstid = Ledetid = T_L = tid vi må vente «på været»



Kostnadsligning – Optimal vedl. grense

- $$C(m_L) = \frac{c_R + c_F F(T_L | m_L) + c_U \int_0^{T_L} f(t | m_L) (T_L - t) dt}{MTBR(m_L)}$$
- Hvor
 - c_R = Kostnad fornyelse
 - c_F = Ekstra kostnad for svikt
 - c_U = Kostnad per time nedetid, f eks ikke strømproduksjon
 - $F()$ og $f()$ er hhv fordelingsfunksjon og tetthetsfunksjon for RUL, gitt m_L
 - $MTBR(m_L)$ = Midlere tid mellom fornyelse
 - Dersom T_L er stokastisk, som den ofte er, blir det enda vanskeligere

[Vis eksempel i Excel](#)