

Klimastatus, teknologi og kampen om sjeldne jordarter.

Harald Johansen

Entusiastiske skole-elever streiker for klima



Hvordan er det med entusiasmen hos barn og voksne nå?

Ole Mathismoen (Aftenposten) :

Omstillingstiden for de viktigste endringer i
energibruk gjennom menneskets historie :
flere hundre år !!!

**166 år siden oljealderen startet;
kullalderen er mye eldre**



**Energi- og materialteknologi må
bestå/stryke ifht
historiens "eksamen" !!**

Innhold

- **Energi historikk**
- **Klima status og klimabevissthet**
- **Tekno - historikk og mineralske råstoffer**
- **Kampen om sjeldne jordarter**

Energi historikk

Milepæler i energihistorien

Vannkraftens utvikling antikken-middelalderen	antikken
Terje Tvedt: sivilisasjonenes undergang	
Tre, kull og ild	steinalder
Jernutvinning/kullmaler	jernalder
Fremstilling av betong	Romertiden
Den industrielle revolusjon Storbritannia - dampmaskinen	fra ca 1760
Kull og jern	
Batteriet – (Volta)	1800
Generatoren - induksjon (Faraday)	1831
Oljealderen (Edwin Drake)	1859
Kjernekraft - Becquerel	1890
Sur-Nedbør krisen på 60-70-80 tallet	
Gro Harlem Brundtland 1987	
Fornybar energi	

Jfr. Ole Mathismoens utsagn om energi og historisk treghet

Aftenposten 1. nov 2021

Keyenberg, Tyskland

**Tyskland slipper ut ca. 60 Mt CO2 fra
brunkull i året; ca 27% av energi forsyning**

Kull blir utfaset i 2038

Denne byen skal jevnes med jorden

*Tysk kullindustri legger beslag på nye landområder.
Familier tvangsflyttes i jakten på økt utvinning.*

Nyheter • side 4-8

Brundtland kommisjonen (1987)

Bærekraftig utvikling (sustainable development):

To sentrale begreper.:

- menneskets **grunnleggende behov**
- miljøets evne til å møte **klodens behov**

Hvor mye har vi klart å
redusere andelen av fossil
energi på disse 38 årene?

Og hvordan bruker vi
bærekraft i dag ??



Klima status og klimabevissthet



Realisme ? Ærlighet ?

Lars Nehru Sand (NRK) etter
klimadebatten i Arendal i 2021:

Politikere fremhever behagelige
muligheter – ikke ubehagelige kutt

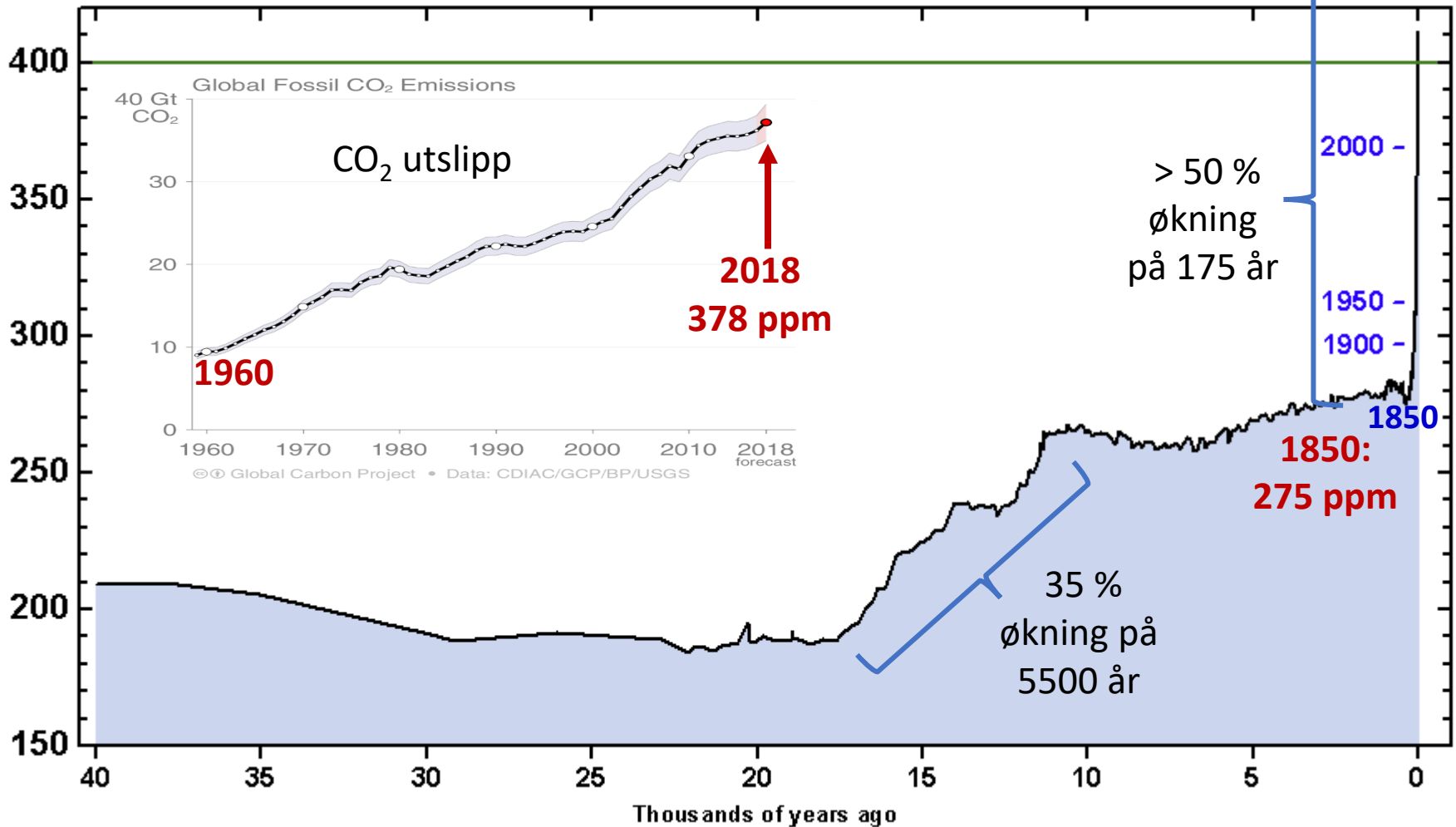
Valgresultatet: De tre klimapartiene
fikk til sammen 15,8 %

Innhold av CO₂ i atmosfæren, og utslipp av CO₂ til luft øker sterkt

12,7 % økning siden 2018

2025: 426 ppm

CO₂ Concentration (ppm)



Global status for CO₂ utslipp

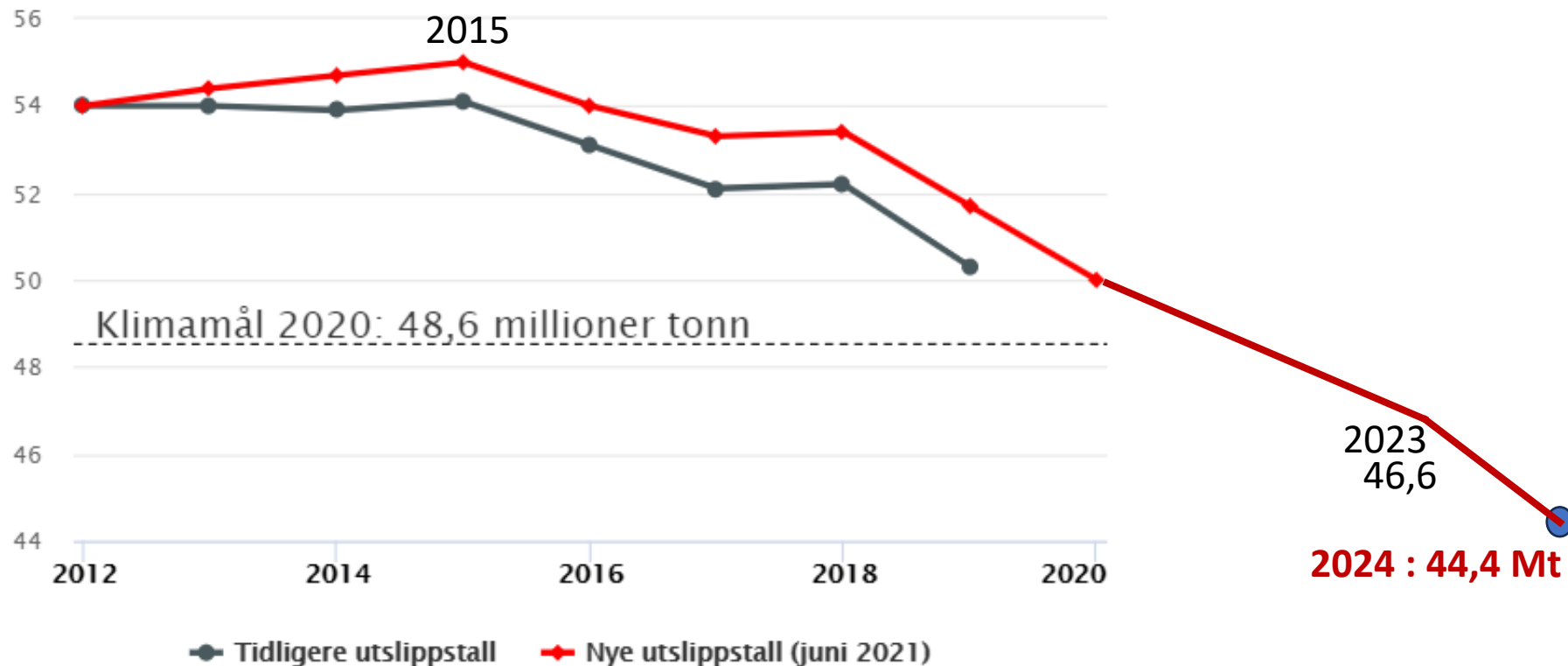
Tall fra IEA for 2022 og 2024

- Globale CO₂ utslipp økte til 38,4 Gt i 2024
- Utslipp fra kull økte med 1,6 % i 2022
- Utslipp fra olje økte med 2,5 % i 2022
- Utslipp fra kull, olje og gass minket under COVID, men har begynt å øke igjen etterpå

Vær observasjoner i 2023 og 2024 !
Allerede store klima endringer ?

Norske CO₂ utslipp

Slik ser de nye tallene ut



Kilde: Statistisk Sentralbyrå

Med 2015-2023 reduksjon på ca 1 Mt i året vil vi bruke **32 år** på å nå Norges klimamål for 2040 (75% ifht 1990 nivå = 38,4 Mt)
Vi må kutte over 2,1 Mt pr år !!!

Værendringer pga global oppvarming

I dag (IPCC): Over havet: 1,0 °C

Over land: 1,6 °C

Globalt 1,25 °C

Metningstetthet for
vanndamp (g/m³)



- Høytrykk og lavtrykk øker i omfang og styrke
- Vanndamp er en klimagass
- Smelting av gasshydrater

Gj.sn. lufttemperatur °C

Store sprik i IEAs oljeanslag

Global fossilbruk øker fortsatt, men retningen er usikker. I IEAs ulike scenarioer spriker oljeprisen i 2035 med over 50 dollar fatet.



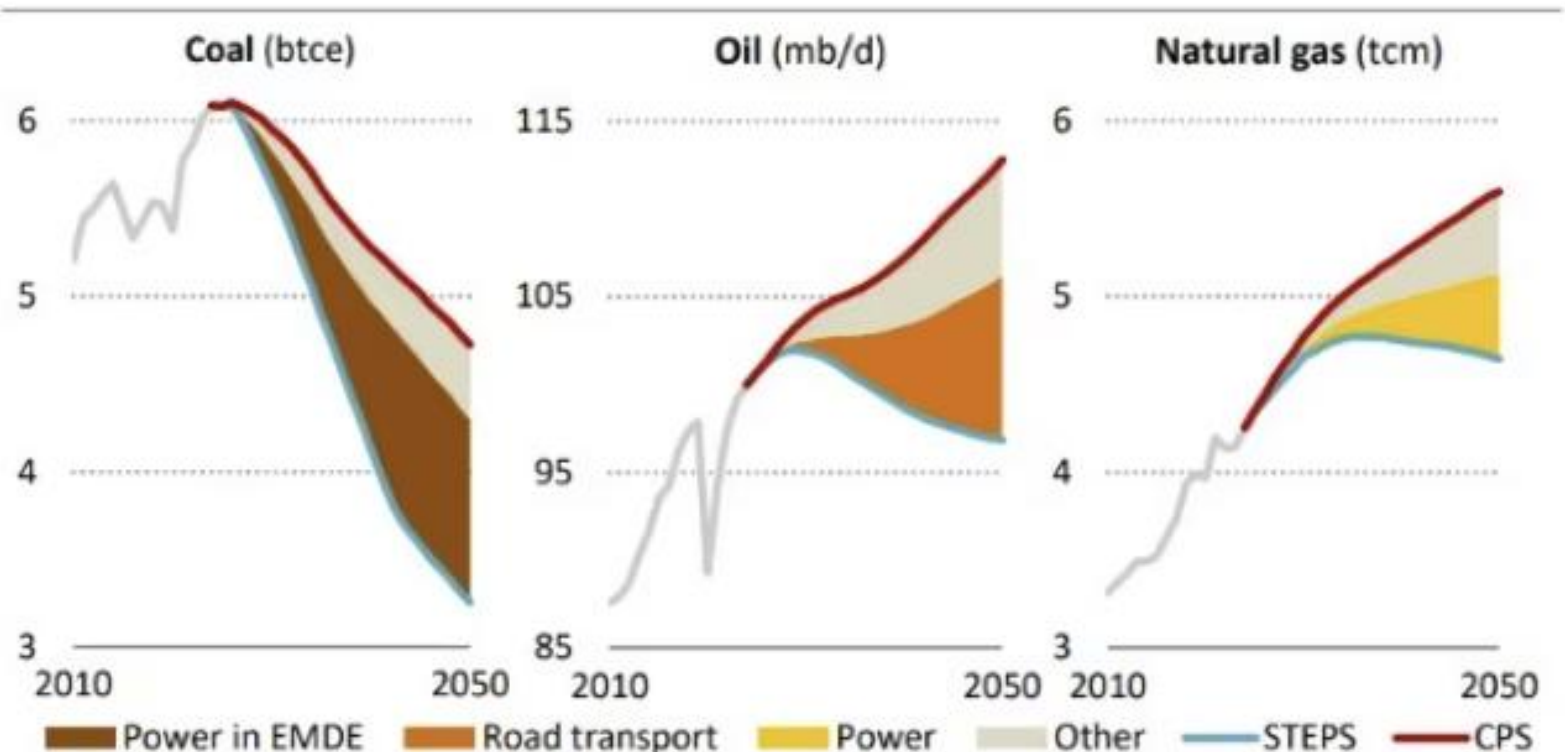
Dette er Snorre A-plattformen. Foto: Bo B Randulff og Even Kleppa, Woldcam / Equinor

Fossil energibruk stiger fortsatt, og verden er langt fra å nå klimamålene.

For å nå **netto nullutslipp innen 2050** kreves det imidlertid en vesentlig satsing på teknologier som **fornybar energi, kjernekraft og CO₂-fjerning**.

Prognoser for fossil energi (IEA)

Figure 1.2 ▶ Demand for coal, oil and gas by major driver and scenario, 2010-2050



IEA. CC BY 4.0.

Coal and oil demand peak by 2030 in the STEPS; growth is higher in the CPS due to slower uptake of technologies such as renewables and EVs

Langskip CCS – Fangst og lagring av CO₂



CCS for Brevik sement og Klemetsrud deponi vil koste ca 11,6 %
ifht Elbil subsidier for samme mengde CO₂ reduksjon

6275 kr pr t CO₂ reduksjon

307 milliarder kr for å kutte hele Norges klimautslipp

Globalt har temperaturen økt med 1,25 °C
På nordlige breddegrader er økningen 2 – 2,5 °C !!

Tørke:

- Vannforsyning
- Vannkraft og strømforsyning
- Matforsyning
- Skogbranner

Kraftigere nedbør:

- Erosjon og ras
- Flom
- Kvalitet på drikkevann
- Avløp

Vi kan få en veldig vanskelig "konkurranse"
mellom klimakutt og klimatilpasning

Biologisk mangfold

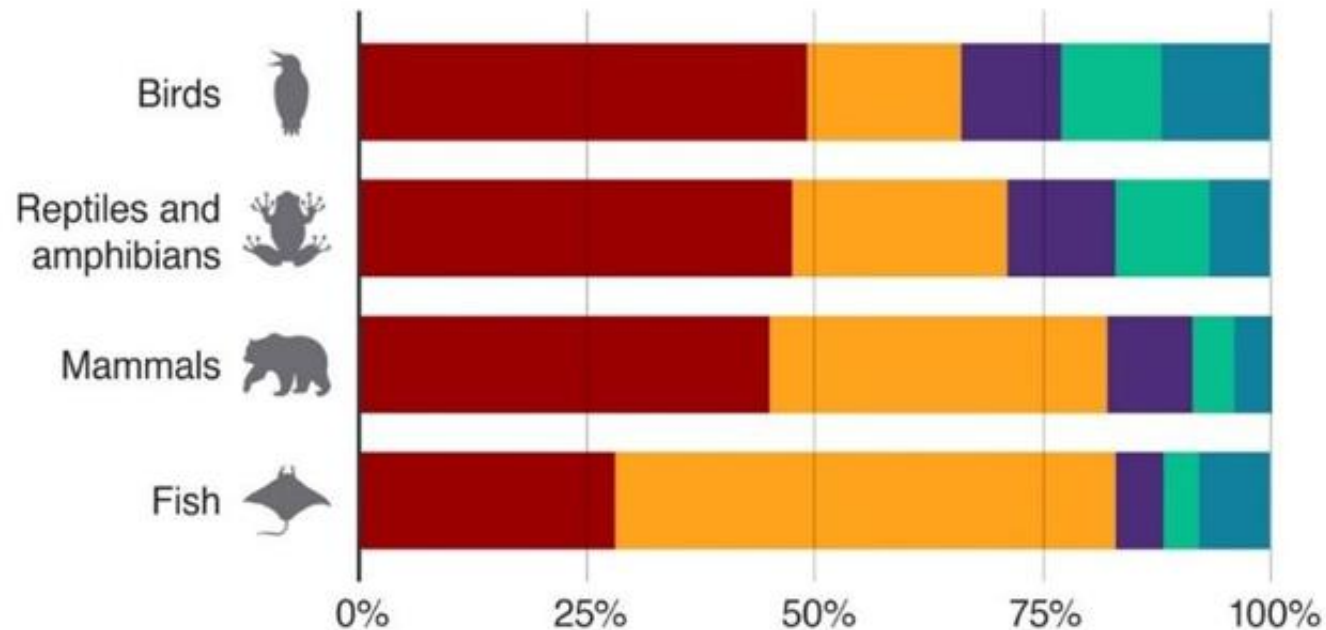
- 1/5 av alle arter blir regnet som truet på grunn av menneskelig aktivitet.
- Bare 2% av norsk urskog igjen
- beslag på stadig mer urørt natur i sammenheng med den industrielle produksjonen av fornybar energi
- Gruvedriften til dette formålet påvirker nesten 1/3 av jordens totale landareal på negativt vis.

Tap av arts mangfold

WWF «Living Planet Report» 2018

The Living Planet Report assesses key drivers of species decline

■ Habitat degradation ■ Exploitation ■ Invasive species and disease
■ Pollution ■ Climate change



Note: A sample of 3,789 populations evaluated by the Living Planet Index

Source: WWF, Living Planet Report 2018

SULs publikum som prognosemakere:

1. Er klimaproblemet egentlig et energiproblem? Ja
2. Er du klimaoptimist Nei
3. Må vi redusere levestandard for å nå klimamålene? Ja
4. Er vindkraft, sol og kjernekraft dominerende om 15-20 år Nei
5. Kommer elbil til å være førstevalg i USA om 15-20 år Nei
6. Kan KI løse klima utfordringer? Nei
7. Trenger vi mere fokus på klimatilpasning Ja
8. Må politikere konkurrere mindre og samarbeide mere Ja
9. Har dere tro på at gjenbruk kan bli et viktig virkemiddel Ja
10. Har dere tro på C-lagring som forlengelse av oljealderen Nei

Tekno – historikk og mineralske råstoffer

Materialbehov og mineralututvinning i et historisk perspektiv

Milepæler

Steinalder, Fyrstøy, Keramikk mm	12000 - 3800 år før nåtid
Bronsealder (Cu, Sn)	3800 – 2500
Jernalder	2500 – 1000
Betong	Romertiden

Stål og Ferrolegeringer	Mere nært vår tid
Elektriske ledere (Cu ...)	
Kull, olje og gass	
Plast, Petrokjemi	
Aluminium, Titan	
Halvledere	

Kompositter	Ung teknologi
Nanoteknologi	
Sjeldne Jordarter (REE)	

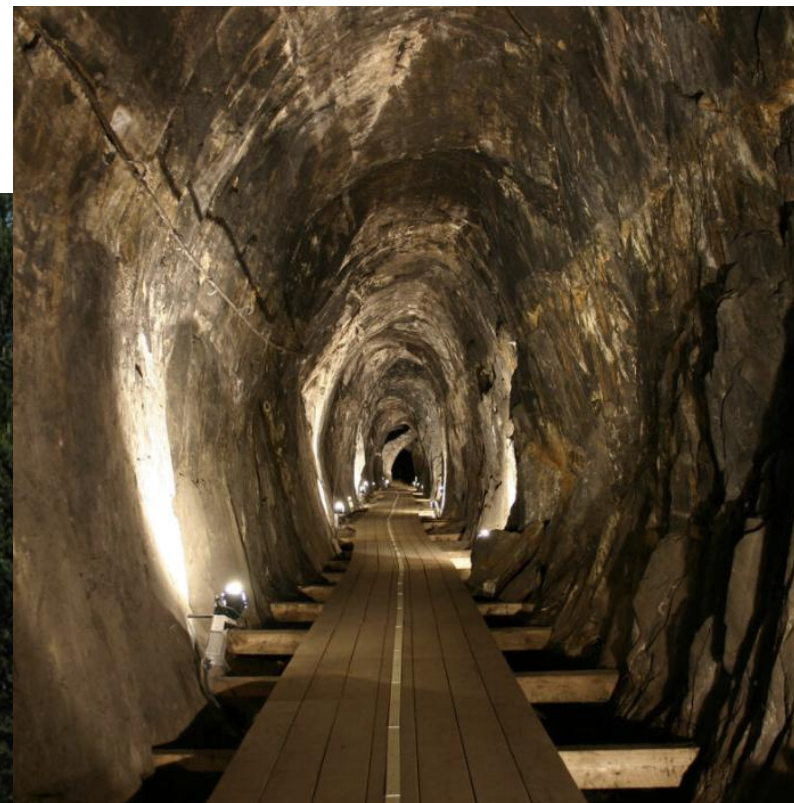
Historiske milepæler:

Norge som teknologinasjon

- Sølv-Kobber + vannkraft på Kongsberg og Røros
fyrsetting, tunnelldrift, mineraloppredning (16 – 1700 tallet)
 - Bergakademiet på Kongsberg (1757)
 - Universitetet i Christiania/Oslo (1811)
 - Vannkraftutbygging 1800-tallet
 - Hydro og kunstgjødsel (1905)
 - Norsk aluminiumproduksjon (1947)
 - Norsk oljeindustri (1969)
 - Ny mineralindustri ? – Fensfeltet – REE, Thorium
-
- Klimateknologi ?! Profitt som pådriver? Miljø ?

Kongsberg

Historisk perspektiv



Kalkspat og sølv



Bergverk i Norge

Kongsberg	(Ag)
Røros	(Cu)
Arendal	(Fe)
Modum	(Co)
Løkken	(Cu)
Knaben	(Mo)
Flåt	(Ni)
Syd-Varanger	(Fe)
Rana/Ørtfjell	(Fe)
Tellnes	(Ti)
Sulitjelma	(Cu)
...	
Engbøfjellet/Førde	(Ti)
Kvalsund/Repparfjorden	(Cu)
Fensfeltet	(REE, Th)
...	

MILJØKAMP !?

Blaafargeverket



Røros Cu gruver



Kobolt blått

Kvalsund/Repparfjorden



Bergverk globalt

Potosi, Bolivia

En av verdens rikeste sølvgruver for ca. 500 år siden. Plyndret av Spania under kolonitiden.

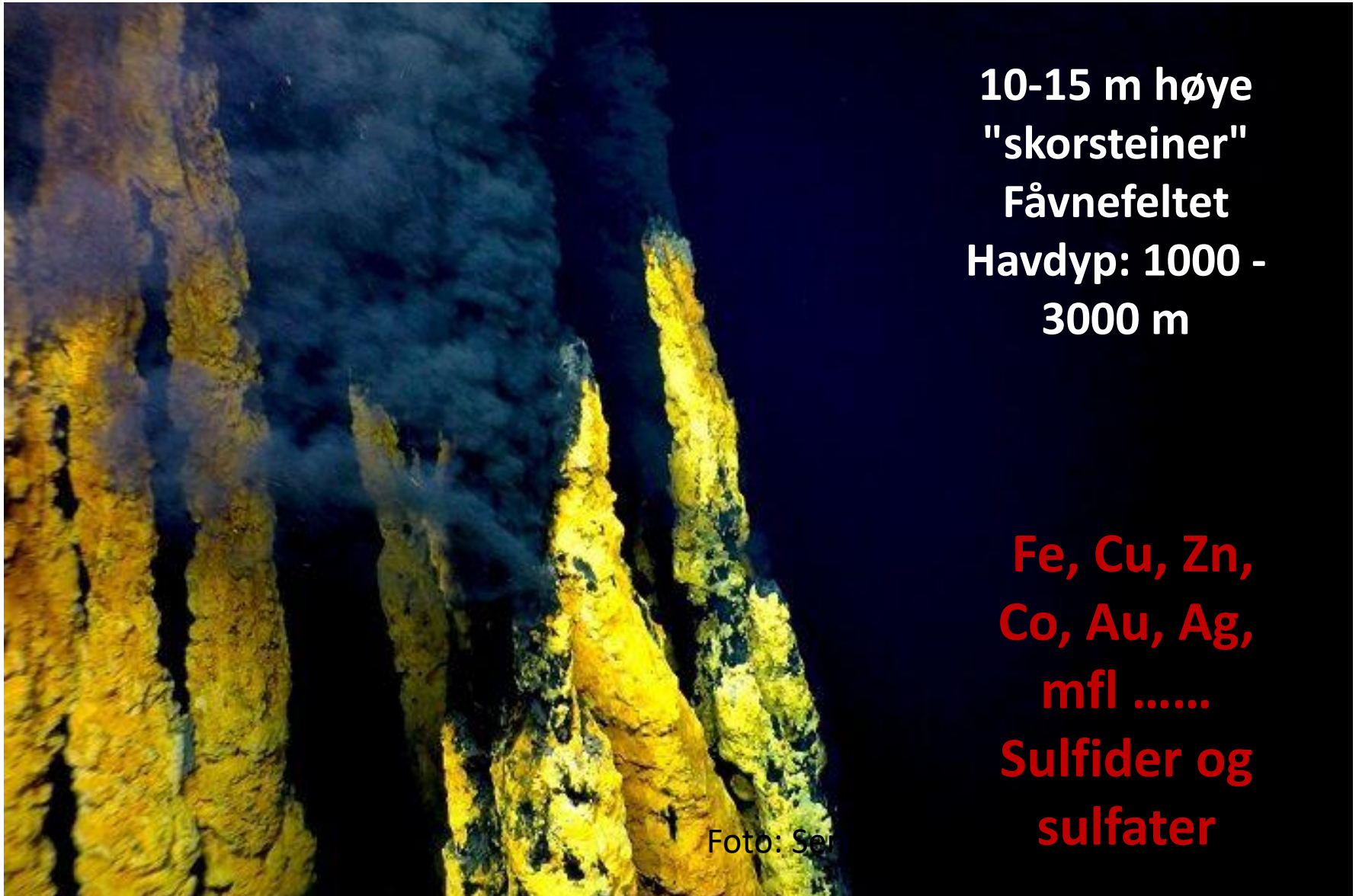
Fremdeles i drift av en mengde små nasjonale familier og grupper. Stor mangel på teknologi og kapital.

I dag prøver Kina å få tilgang til store mineral forekomster i Bolivia og mange andre fattige land i verden.



Oseaniske spredningsrygger

Eks: Mohnsryggen mellom Grønland og Svalbard



10-15 m høye
"skorsteiner"
Fåvnfeltet
Havdyp: 1000 -
3000 m

Fe, Cu, Zn,
Co, Au, Ag,
mfl
Sulfider og
sulfater

Foto: Ser

Bronsealderen : ca 3800 år før nåtid legering av Cu og Sn



Sørum kirke

Tidlige anvendelser av Cu

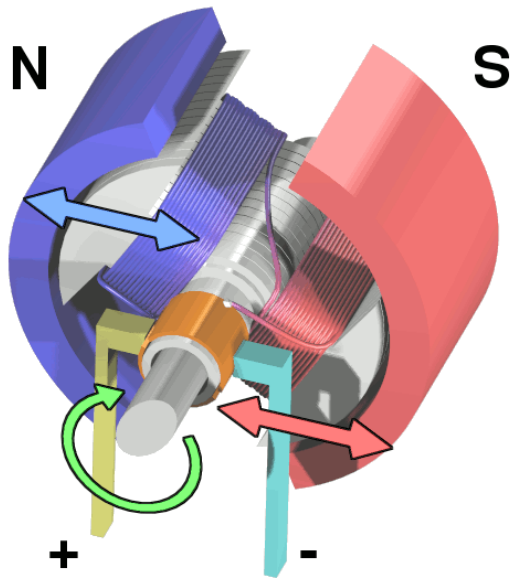


Metaller ledningsnett

Cu, Al, Fe, Sc



Permanente magneter



AlNiCo-magneter (Co, Ni, Al, Ba, Sm, Fe, Nd, B)

Ledningsnett



Cu, Al, Fe, Sc

EL-bil batterier



Li, Co, Mn, Al, Cu, Ag, Au, H,

Vindturbiner



Fe, Al, Cu, Ni, Pb, Nd, Dy



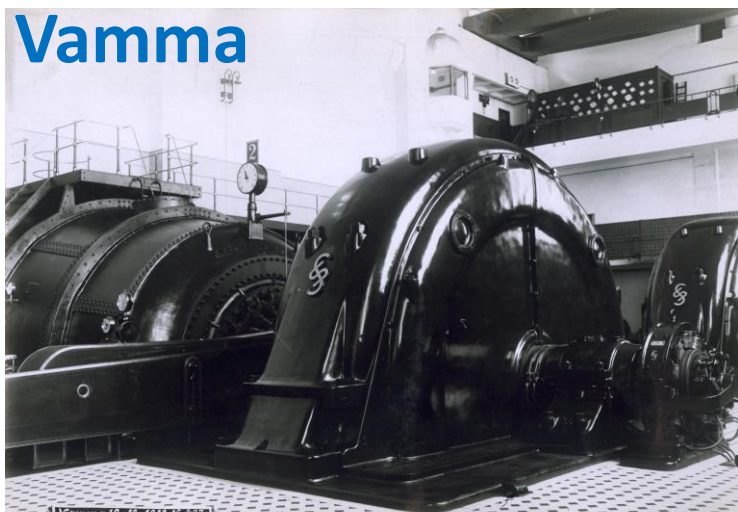
Solceller

Si, Ga, B, Cd, Te, Cu, In, Se, Ag, Al, ...



Brenselceller

Y, Zr, Sc, Gd, La, Ce, Sr, Co, Mn, Fe, Ge, PGE



Generatorer og elektromotorer

Nd, Dy (sjeldne jordartsmetaller)



Katalysatorer

ZnO, Cr₂O₃, Fe₂O₃, PGE (Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt), REE

Lago Salar de Uyuni, South Bolivia - Verdens største salte innsjø : 10 000 km²

**Verdens største Li - forekomst
(+ K, Mg, B, Na, Cl)**



Reflection on the Salar de Uyuni



EL-materialer

Vindmøller

Solceller/solfangere (halvledere)

Turbiner/generatorer/permanente magneter

Brenselceller

Elektrolysatorer

Batterier (katoder, anoder, elektrolytter)

Ledningsnett

Katalysatorer

Kondensatorer

Isolatorer

Rammeverks konstruksjons materialer

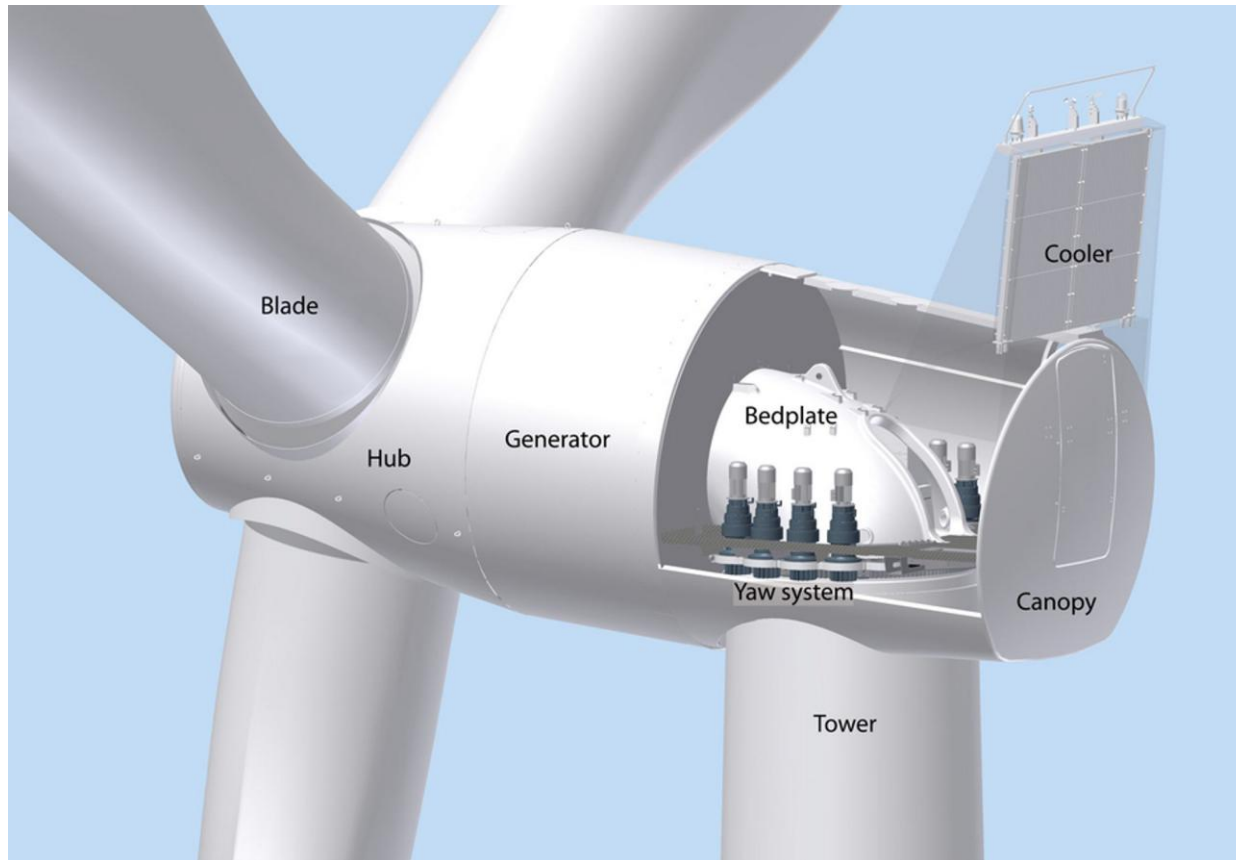
Mye-mye mer av både "gamle" og "nye" grunnstoffer

Utfordringer

- Eksisterende forekomster: Lavest hengende frukter er høstet
- Behov for stort antall nye mineralforekomster (offshore?)
- Økt effektiv råstoff resirkulering
- Ombygging av kraftverk
- Fjerning av oljeinstallasjoner og rørledninger
- Miljø og økologi ("bare ikke her")
- Krig og militær opprustning
- Geo-økonomiske hindringer (toll, sanksjoner, ...)
- Rettferdig ...??... global fordeling av energi og råstoffer
- **Knapphet og høy pris**

Med rask utfasing av fossil energi vil råstoffsituasjonen bli svært vanskelig !!

Vindmøller



Blant metallene som inngår i vindturbiner er Fe, Al, Cu, Ni, Pb og Neodymium og Dysprosium

Kampen om sjeldne jordarter

Strategiske grunnstoffer for klimateknologi

Group →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period ↓																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	* 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
Sjeldne jordarter			* 57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb		
			* 89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No		

Historisk mineralutvinning:

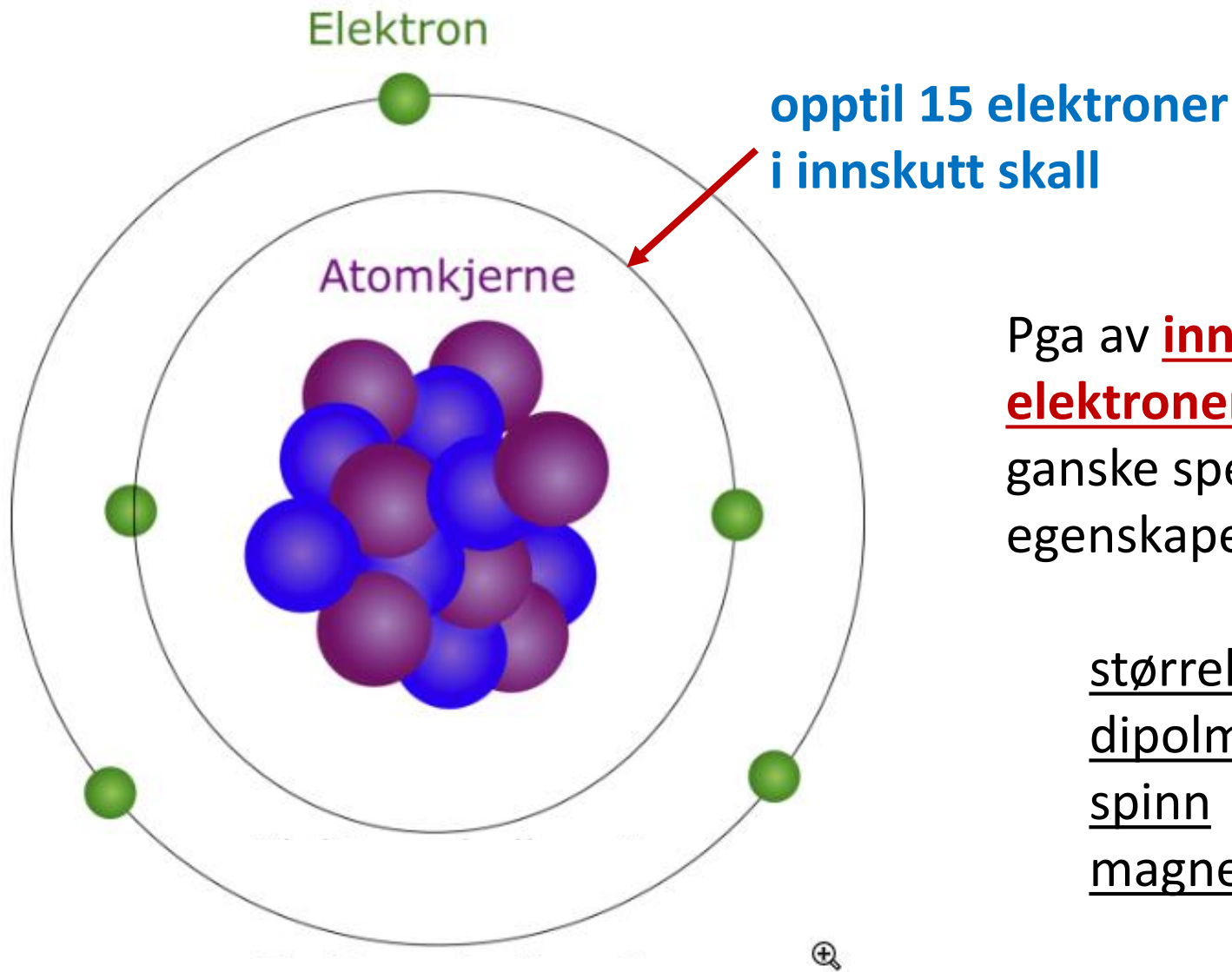
Fe, Ag, Cu, Sn, Co, Ni, Pb, Zn, Ti, Cr, Mo, W, Au

Sterkt økt behov i framtida:

Nd, Dy, Pr, Al, Li, PGE, Mn, Th, U

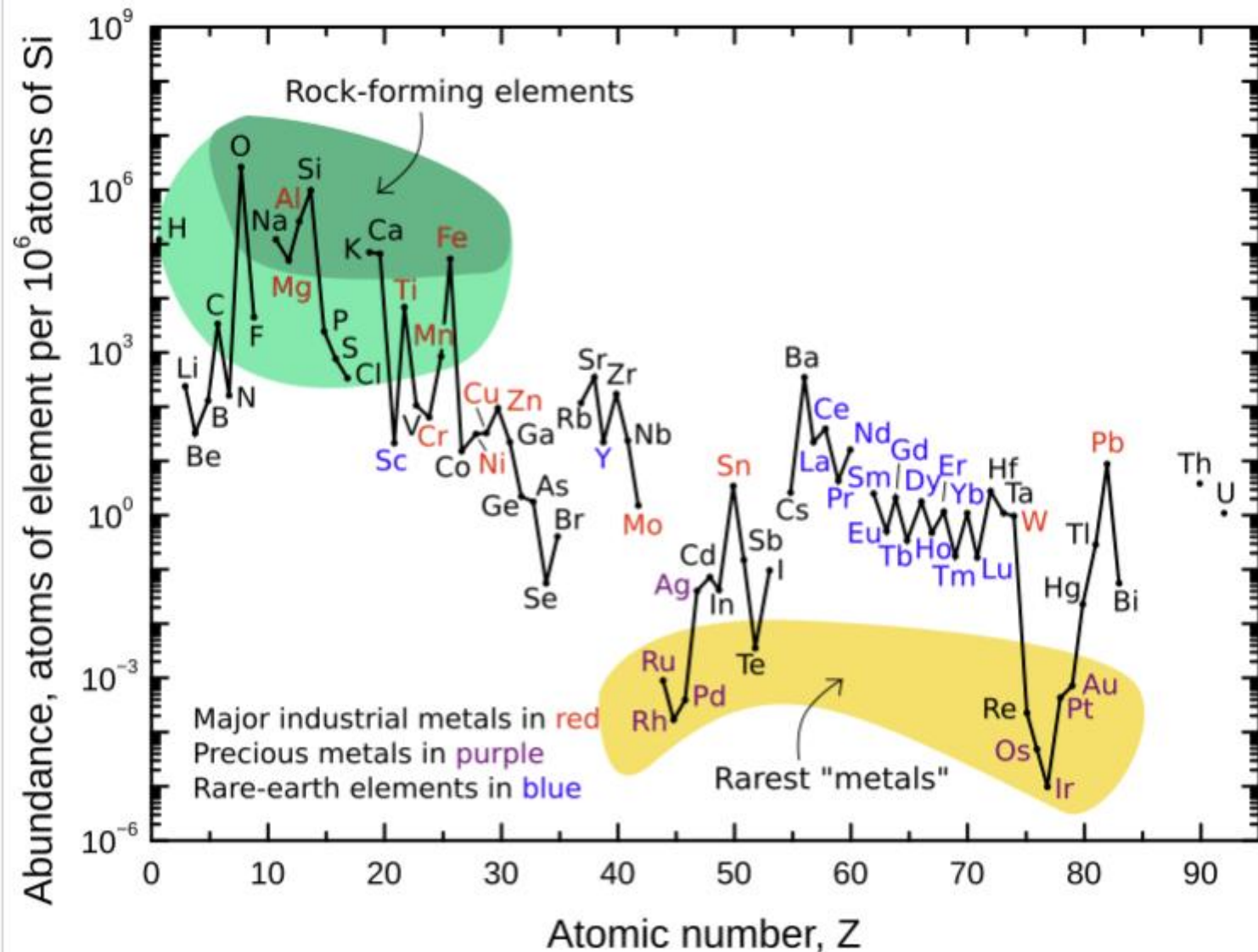
B, P, C, N, Mg, Si, Sn, Sc, Zr, V, Nb, Ta, Y

Hva er spesielt med sjeldne jordarter?



Pga av innskutte elektroner har REE ganske spesielle egenskaper ifht:

størrelse
dipolmoment
spinn
magnetisme



REE er ikke vesentlig sjeldnere enn andre viktige metaller

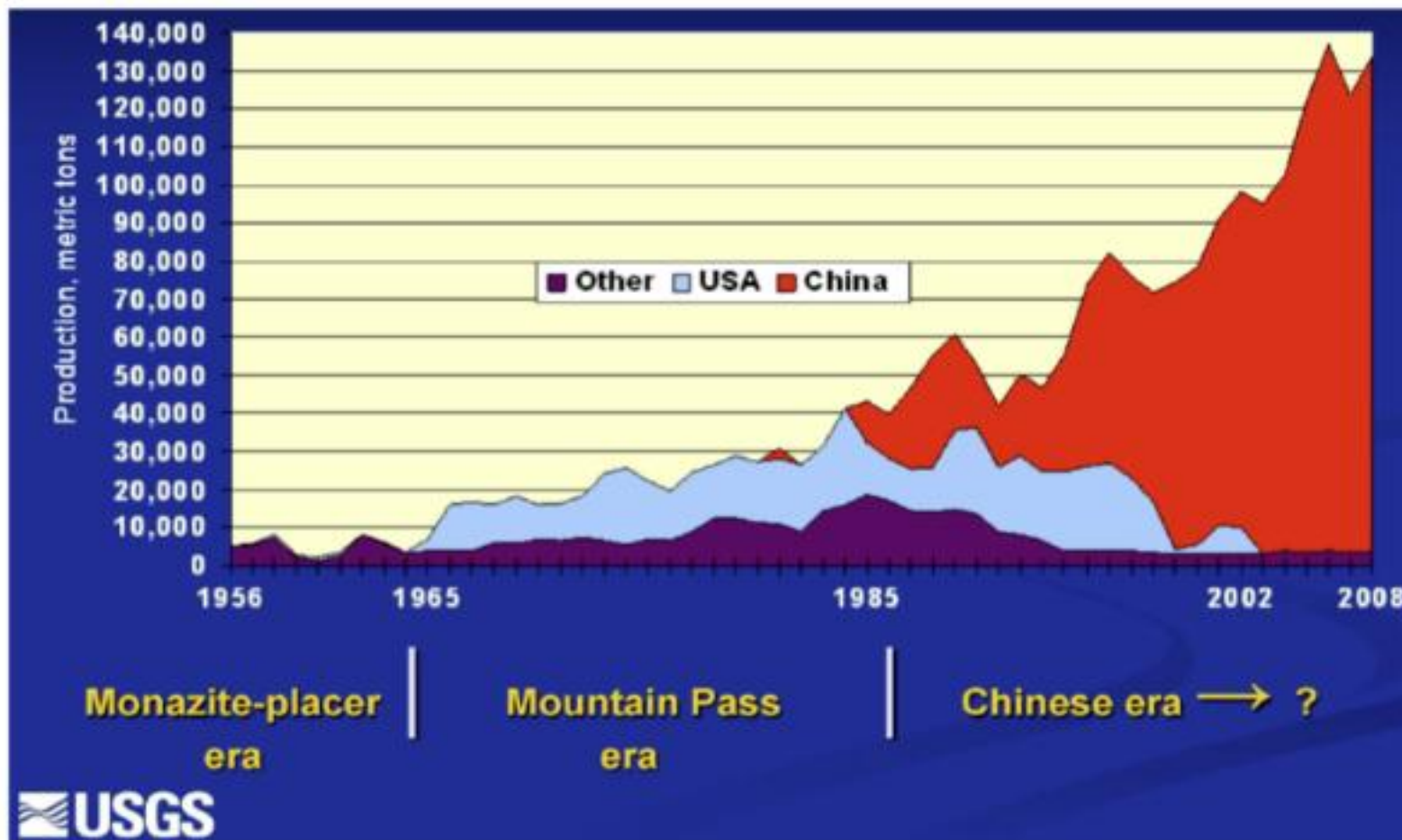


Figure 1. Global rare-earth-oxide production trends. The Mountain Pass deposit is in California, U.S.A. Graph from D.J. Cordier (U.S. Geological Survey, written commun., 2011) was updated from Haxel and others (2002, fig. 1).

Global rare-earth-oxide production trends, 1956-2008 (USGS).

USAs satsing på REE snudde nedover med Ronald Reagan; alle unntatt Kina fulgte USA

REE reserves, ([US Geological Survey](#) 2025)

1.China:	44	million metric tons
2.Brazil:	21	million metric tons
3.India:	6.9	million metric tons
4.Australia:	5.7	million metric tons
5.Russia:	3.8	million metric tons
6.Vietnam:	3.5	million metric tons
7.US:	1.9	million metric tons
8.Greenland	1.5	million metric tons

(tonnes of rare earth oxide equivalent)

Fensfeltet inneholder ca 8.8 million metric tons

Kinas reserve utgjør ca. 50%, men fordi de (bortsett fra USA og Russland) for tiden har bortimot **monopol på prosessering**, er deres effektive kortsiktige reserve betydelig større

REE production in 2025

1.China:	270,000	metric tons
2.US:	45,000	metric tons
3.Myanmar:	31,000	metric tons
4.Australia:	13,000	metric tons
5.Nigeria:	13,000	metric tons
6.Thailand:	13,000	metric tons
7.India:	2,900	metric tons
8.Russia:	2,500	metric tons
9.Madagascar:	2,000	metric tons
10.Vietnam:	300	metric tons

Kinas andel er 68%, men fordi de prossesserer og markedsfører ca. 345000 tonn, er deres andel ca **88%**

Verden



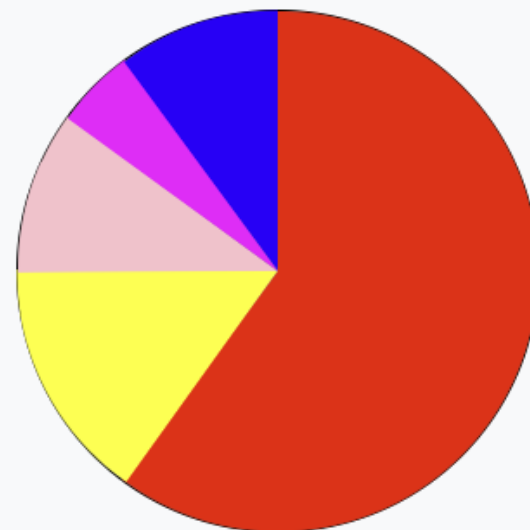
Global REE consumption,
2015.^[170]

- Catalysts, 24% (24.0%)
- Magnets, 23% (23.0%)
- Polishing, 12% (12.0%)
- "other", 9% (9.00%)
- Metallurgy, 8% (8.00%)
- Batteries, 8% (8.00%)
- Glass, 7% (7.00%)
- Ceramics, 6% (6.00%)
- Phosphors and pigments, 3% (3.00%)

**Bruksområder
for sjeldne
jordarter**

**USA: REE til
magneter,
batterier,
og lasere:
Veldig lavt !!**

USA



US consumption of REE,
2018.^[171]

- Catalysts, 60% (60.0%)
- Ceramics and glass, 15% (15.0%)
- Polishing, 10% (10.0%)
- "other", 5% (5.00%)
- Metallurgy, 10% (10.0%)

Bruk av sjeldne jordarter:

Eks: Permanente magneter:

Verdens sterkeste: 6-10 > std jern magneter

Eks: **NdFeB**, **SmCo** magneter

store permanente magneter brukes i :

- Vindmøller (mange tonn)
- Industrimotorer
- Bilmotorer
- El-sykkel motorer

små permanente magneter brukes i :

- Hard disk (f.eks. til KI lagringskapasitet)
- Mikro- og nanomagneter

REE forekomster finnes i svært mange land.

Utfordringen er:

- Separasjon
- Oppkonsentrering
- Avfallsmengde
- Pris

Billig og kompetent
arbeidskraft

Grunnstoff nr	Navn	g/t ppm
3	Li	20
5	B	10
6	C	200
7	N	20
21	Sc	22
23	V	135
27	Co	25
28	Ni	75
29	Cu	55
30	Zn	70
31	Ga	15
39	Y	33
40	Zr	165
41	Nb	20
42	Mo	1,5
46	Pd	1
47	Ag	0,07
49	In	0,1
50	Sn	2
54	Cr	100
59	Pr	8
60	Nd	28
66	Dy	3
78	PGE	2
79	Au	0,004
82	Pb	12,5

Markedsøkonomi i ulikevekt ?

"en tankerekke"

levealder stiger

fødselstallet synker

mangel på arbeidskraft !!!

→ lønnsvekst - prisvekst

→ mindre arbeid pr investert krone (Håvard Moe, KS)

.....

→ større lønnsforskjeller

1 rik konsument **tilsvarer** $\geq$ 1 konsumenter

konsum **>** produksjon (**justerbart**)

konsum **>>** produksjon (**ikke justerbart ?**)

En slik utvikling vil først og fremst
ramme unge mennesker

Eivind Solvang (RIF rådgiver m.m.) :

Afrika's fremtid

20 % av verdens befolkning

3 % av verdens energiforbruk

Samtidig er de afrikanske landene hardere rammet av klimautfordringene enn resten av kloden :

- Varmere klima, lengre tørkeperioder
- Flom og ødeleggelse av jordbruksarealer
- Store arealer ubrukelige til matproduksjon
- Hungersnød og flukt

Verdensbanken: **86 millioner mennesker internt fordrevne innen 2050**
(befolkning på størrelse med Tyskland)

«Store mengder båtflykninger»?
Hvordan vil det bli ?

SULs publikum som prognosemakere:

- | | |
|---|-----|
| 1. Har du tro på Fensfeltet som viktig REE-eksportør | Ja |
| 2. Bør Norge gå videre med havbunnsmineraler | Nei |
| 3. Har vestlige økonomier råd til kostbar REE prosessering? | Ja |
| 4. Trumps toll-besettelse: vil han lykkes med denne strategien? | Nei |
| 5. Kan USA ta igjen Kinas forsprang (40 år) på REE prosessering | Nei |
| 6. REE til KI og: – Er dette kritisk for energi og miljø? | Nei |
| 7. Er det KI (datalagre), digitalisering og romfart som trenger REE mest? | Nei |

Takk for oppmerksomheten

