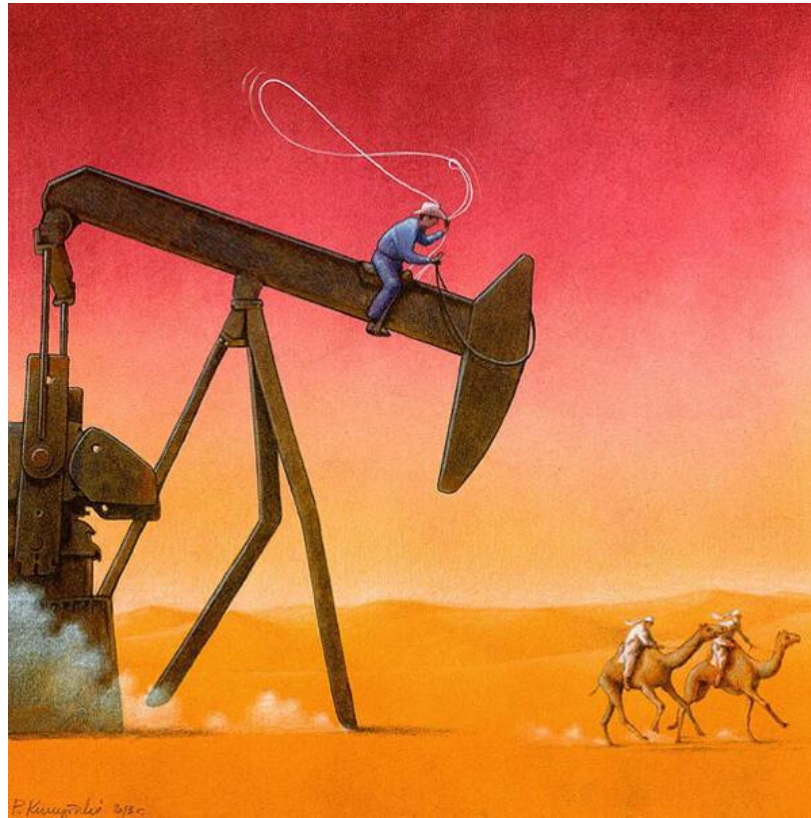




UPPSALA
UNIVERSITET

Globala energitrender

Gästföreläsning för Vattenfallsveteraner
Östhammar, 2020-10-21



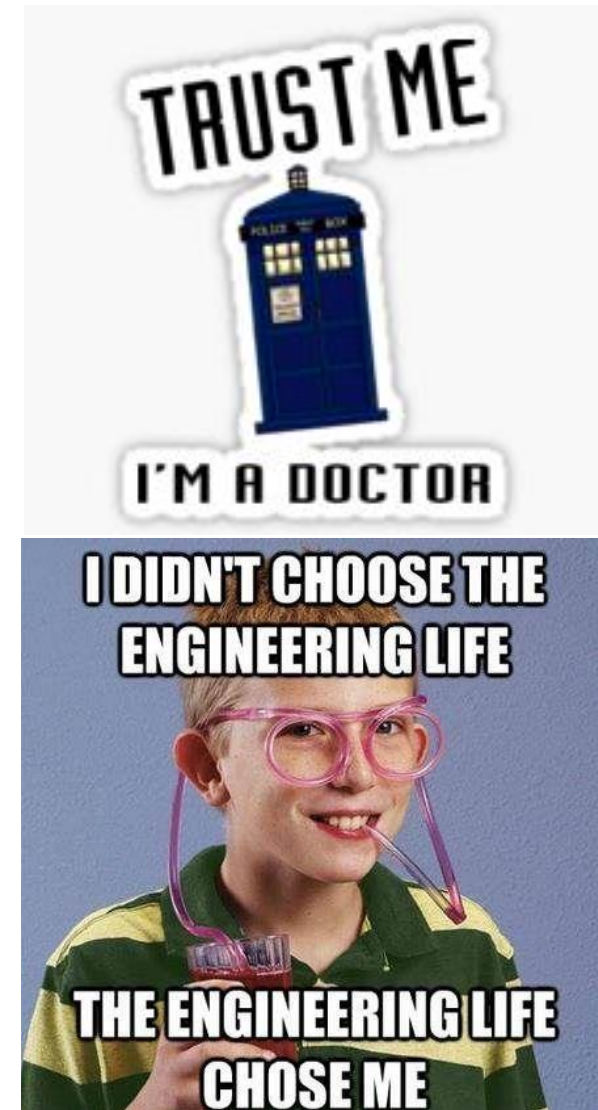
Docent Mikael Höök, universitetslektor

Globala Energisystem, Inst. för Geovetenskaper, Uppsala Universitet



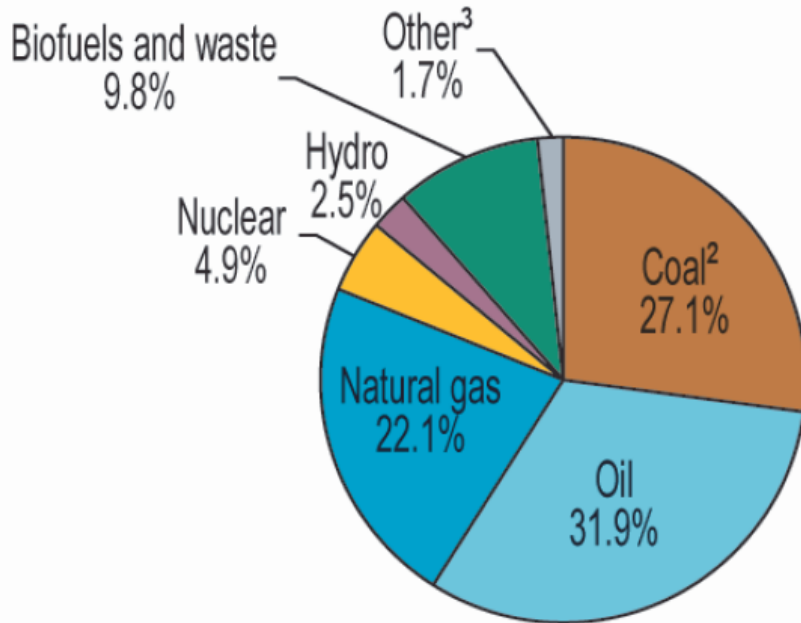
Kort om mig

- Har läst Teknisk Fysik med inriktning mot tillämpad fysik och kärnteknik
 - Exjobbade om fusionsreaktorer vid JET och studerade plasmafysik vid Oxford
- Disputerade år 2010 inom globala energiresurser (främst kol och olja)
- Docent i naturresurser och hållbar utveckling sedan år 2014
 - Leder forskargruppen Globala Energisystem vid forskningsprogrammet Naturresurser och hållbar utveckling (NRHU) vid Inst. för geovetenskaper på Uppsala Universitet



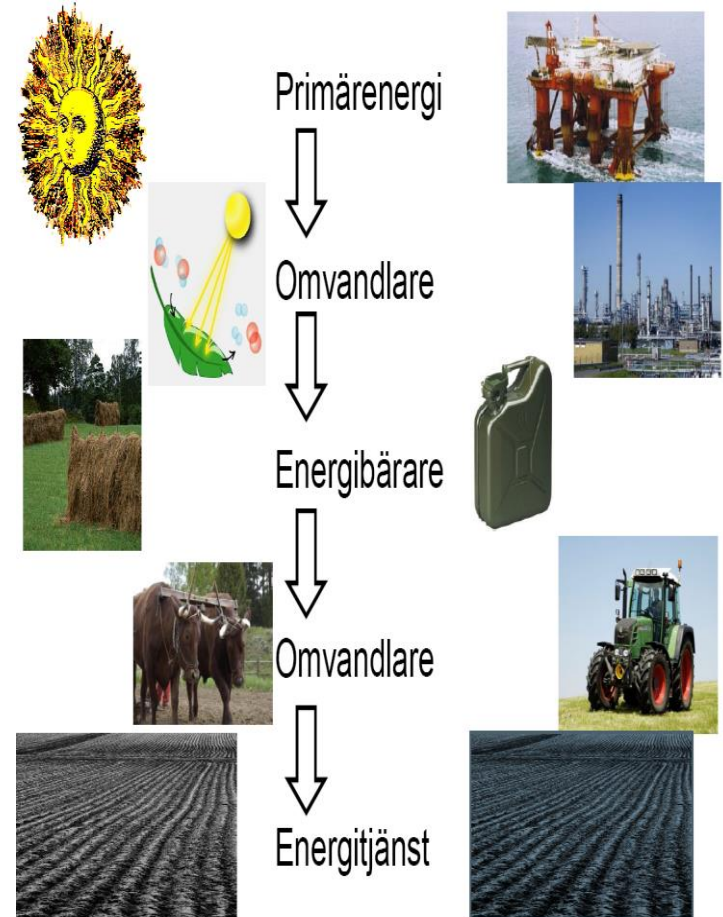


Ett globalt perspektiv (2017 data)



13 761 Mtoe

1. World includes international aviation and international marine bunkers.
2. In these graphs, peat and oil shale are aggregated with coal.
3. Includes geothermal, solar, wind, tide/wave/ocean, heat and other.

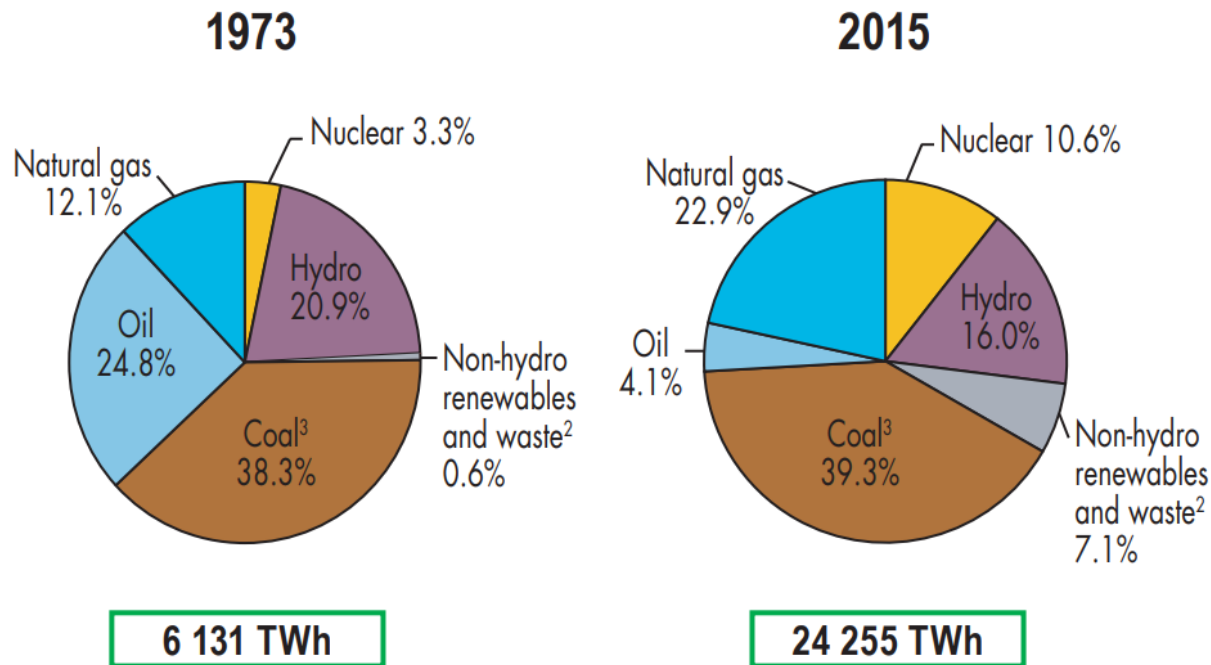


Världens totala energiproduktion motsvarar 13 761 miljoner ton oljeekvivalenter (Mtoe), Där den fossila andelen är 81.1% eller 11 161 Mtoe



Världens elförsörjning

1973 and 2015 source shares of electricity generation¹



1. Excludes electricity generation from pumped storage.
2. Includes geothermal, solar, wind, tide/wave/ocean, biofuels, waste, heat and other.
3. In these graphs, peat and oil shale are aggregated with coal.

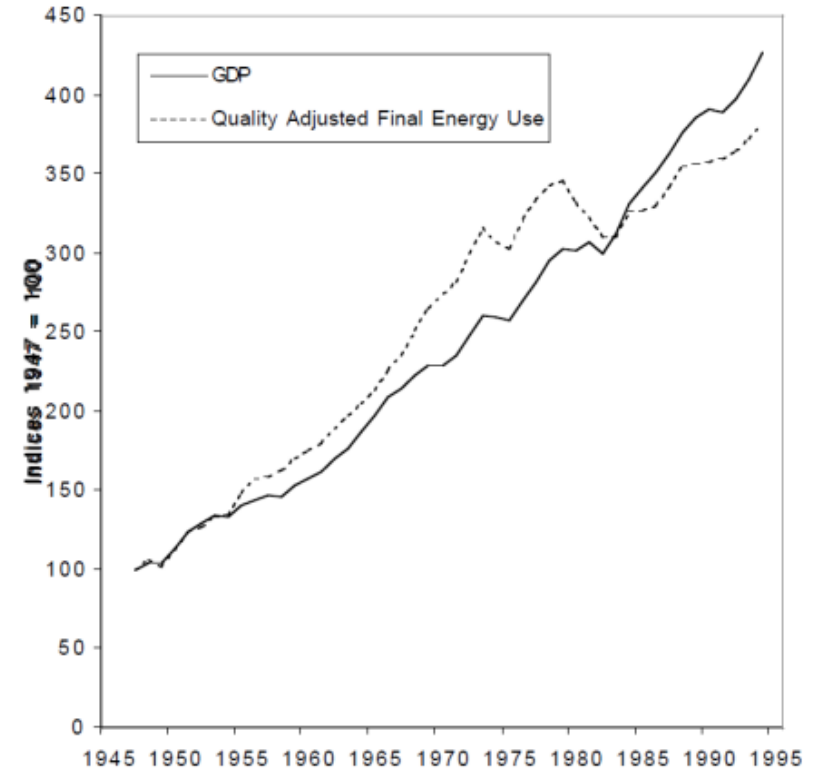
Notera att el bara motsvarar **15.2%** av världens primärenergi!!!



Energi ger rikedom

- Världens rikaste länder förbrukar också mest energi
- Stark koppling mellan ökad BNP/välfärd och energianvändning
 - Realekonomin är bara en komplex process som konverterar energi och råmaterial till kommersiellt gods och tjänster

Figure 7. U.S. GDP and Quality Adjusted Final Energy Use



Notes: GDP is in constant dollars i.e. adjusted for inflation. Energy use is a Divisia index of the principal final energy use categories – oil, natural gas, coal, electricity, biofuels etc. The different fuels are weighted according to their average prices.

Källa: Stern & Cleveland (2003) Energy and economic growth. *Rensselaer Working Papers in Economics*.



Global inkomst & energi

Global Income Distribution 2011

Incomes are adjusted for price changes over time and for price differences between countries (PPP-adjusted to 2005 US\$).

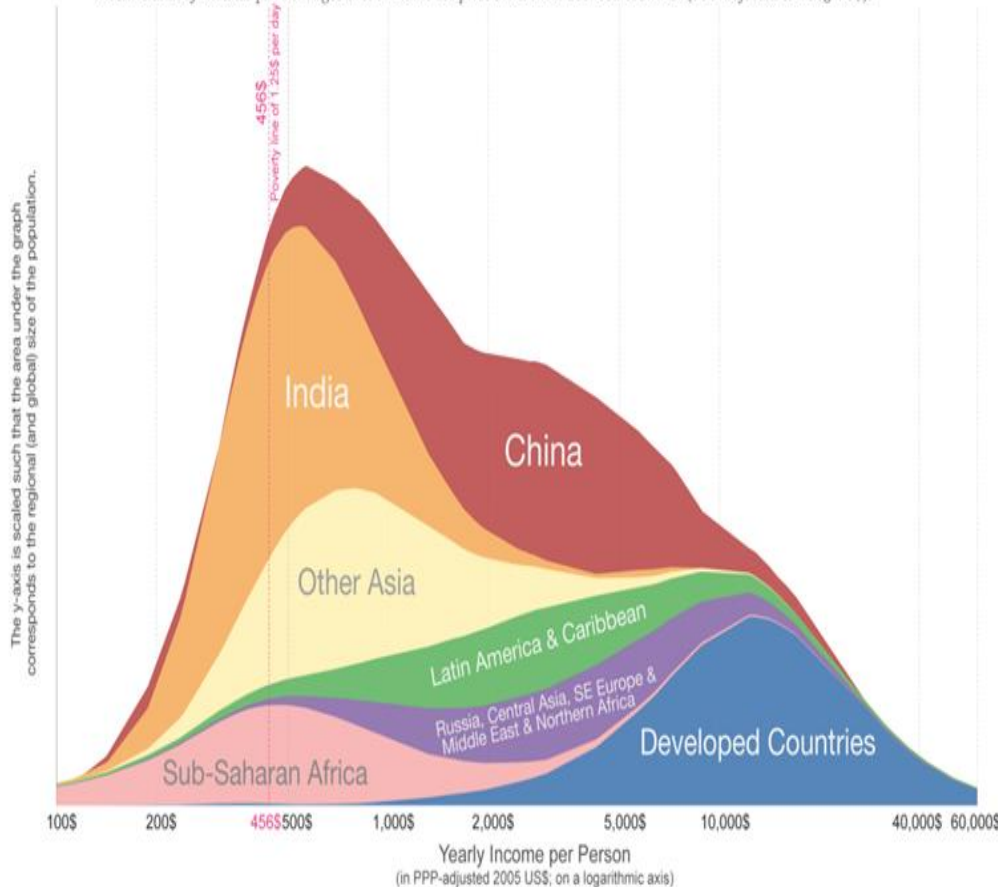
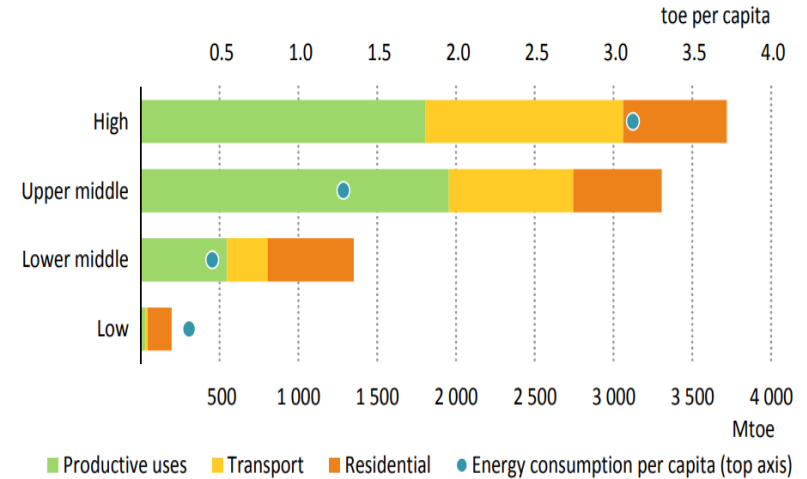


Figure 1.6 > Total final energy consumption by income group, 2016



Minimal energy use for productive uses in low-income countries highlights the economic divide and the importance of improving energy access to stimulate economic growth

Notes: Mtoe = million tonnes of oil equivalent; toe = tonne of oil equivalent. Productive uses include industry, services, agriculture and non-energy use.

Ökande inkomst i stora delar av världen driver på efterfrågan på energi och olja

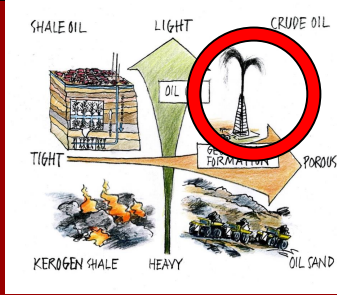


Fossil energi dominerar

- Det globala energisystemet domineras helt av fossil energi i dagsläget
 - Energisäkerhet domineras ofta av frågor rörande fossila energiresurser på global skala
- Kärnkraft, sol, vind och vatten är endast marginella inslag på globala arenan
 - Lokalt kan bilden se annorlunda ut
 - Likaså kan det se annorlunda ut för olika sektorer



Den obekväma sanningen



- Minskade fynd av "vanlig" olja
- I dagsläget är oljefynden de lägsta på 70 år
- Alla kontinenter utom Antarktis är tillgenomsökta
 - Kvarvarande resurser ofta i statlig kontroll



Oil Discoveries at 70-Year Low Signal Supply Shortfall Ahead

by Mikael Holter

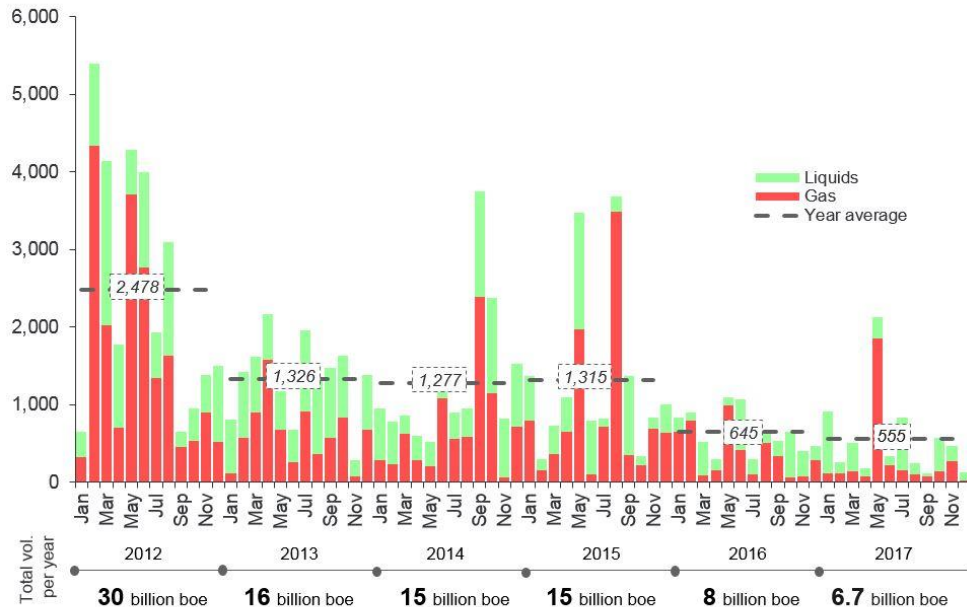
den 30 augusti 2016 01:00 Updated on den 30 augusti 2016 15:17

→ New finds at lowest since 1947 and headed even lower: WoodMac

→ Explorers replacing just 6% of resources they drill: Rystad



Global conventional discoveries** [Million boe]



Source: Rystad Energy UCube and Rystad Energy research and analysis



Amerikansk medvetenhet

- USA har en lång historia av stort fokus runt olja och dess betydelse för landets suveränitet
- Redan President Trumans ”*Resources for Freedom*”-kommittee lyfte fram oljan som ett gravt problem



America is addicted to oil and increasing amounts of this oil comes from abroad. Some of the nations we depend on for oil have unstable governments or are hostile towards the United States.

— George W. Bush —

AZ QUOTES



Our enemies are fully aware that they can use oil as a weapon against America. And if we don't take this threat as seriously as the bombs they build or the guns they buy, we will be fighting the War on Terror with one hand tied behind our back.

— Barack Obama —

AZ QUOTES

Källa: Cherp & Jewell (2011) The three perspectives on energy security: intellectual history, disciplinary roots and the potential for integration. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 3(4):202-212

Tidwell & Smith (2015) Morals, Materials, and Technoscience: The Energy Security Imaginary in the United States. *Science, Technology, & Human Values*, 40(5): 687-711



America First Energy Plan



President Trump



- The Trump Administration is committed to energy policies that lower costs for hardworking Americans and **maximize the use of American resources, freeing us from dependence on foreign oil.**
- President Trump is committed to **eliminating harmful and unnecessary policies such as the Climate Action Plan and the Waters of the U.S. rule.** Lifting these restrictions will greatly help American workers, increasing wages by more than \$30 billion over the next 7 years.
- Sound energy policy begins with the recognition that we have **vast untapped domestic energy reserves right here in America.** The Trump Administration will **embrace the shale oil and gas revolution** to bring jobs and prosperity to millions of Americans. We must take advantage of the estimated \$50 trillion in untapped shale, oil, and natural gas reserves, especially those on federal lands that the American people own. We will use the revenues from energy production to rebuild our roads, schools, bridges and public infrastructure. Less expensive energy will be a big boost to American agriculture, as well.
- The Trump Administration is also committed to clean coal technology, and to reviving America's coal industry
- President Trump is committed to **achieving energy independence from the OPEC cartel and any nations hostile to our interests.** At the same time, we will work with our Gulf allies to develop a positive energy relationship as part of our anti-terrorism strategy.
- Lastly, our need for energy must go hand-in-hand with responsible stewardship of the environment. **Protecting clean air and clean water, conserving our natural habitats, and preserving our natural reserves and resources will remain a high priority.** President Trump will refocus the EPA on its essential mission of protecting our air and water.
- A brighter future depends on energy policies that stimulate our economy, ensure our security, and protect our health. Under the Trump Administration's energy policies, that future can become a reality.



Typer av kolväten

Tidigare har all olja+gas varit lätt och från porösa formationer

Sinande tillgångar driver producenter mot mer okonventionella formationer som kan vara huvudsakligen **tunga** eller **tighta**

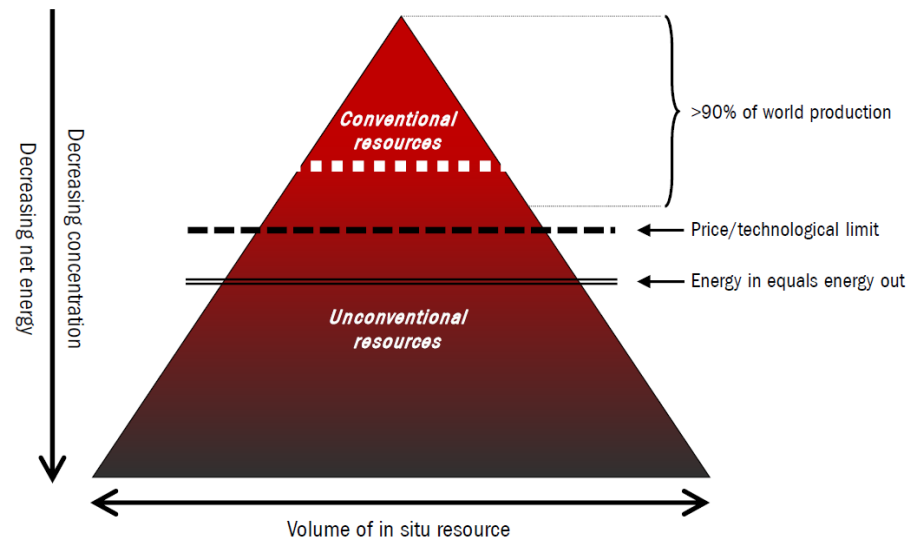
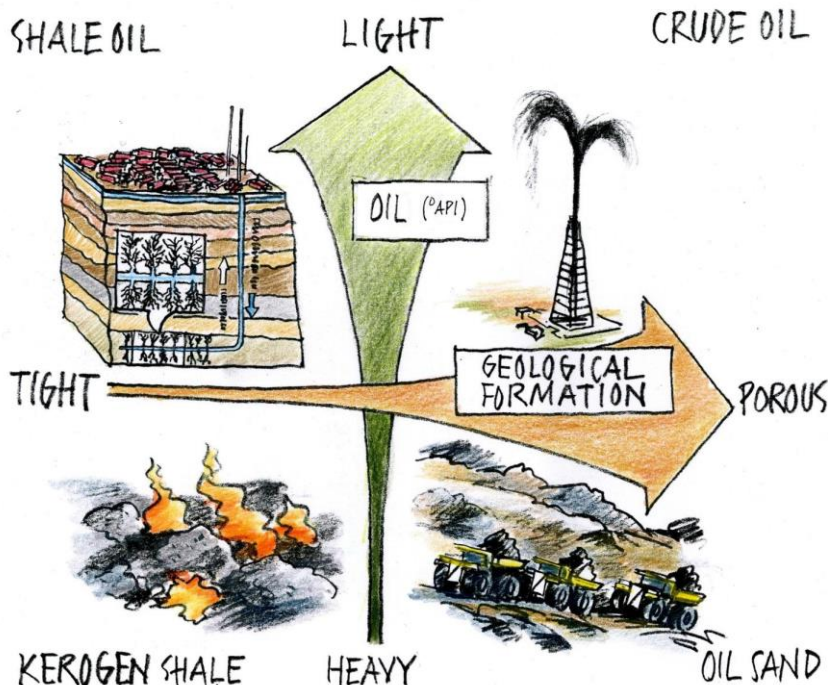
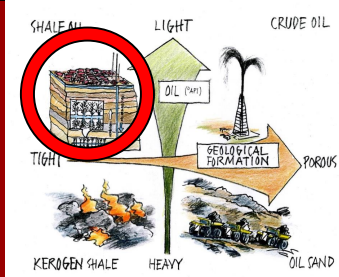


Figure 37. The pyramid of oil and gas resource volume versus resource quality.
This graphic illustrates the relationship of in situ resource volumes to the distribution of conventional and unconventional accumulations and the generally declining net energy and increasing difficulty of extraction as volumes increase lower in the pyramid.



“Light tight oil”



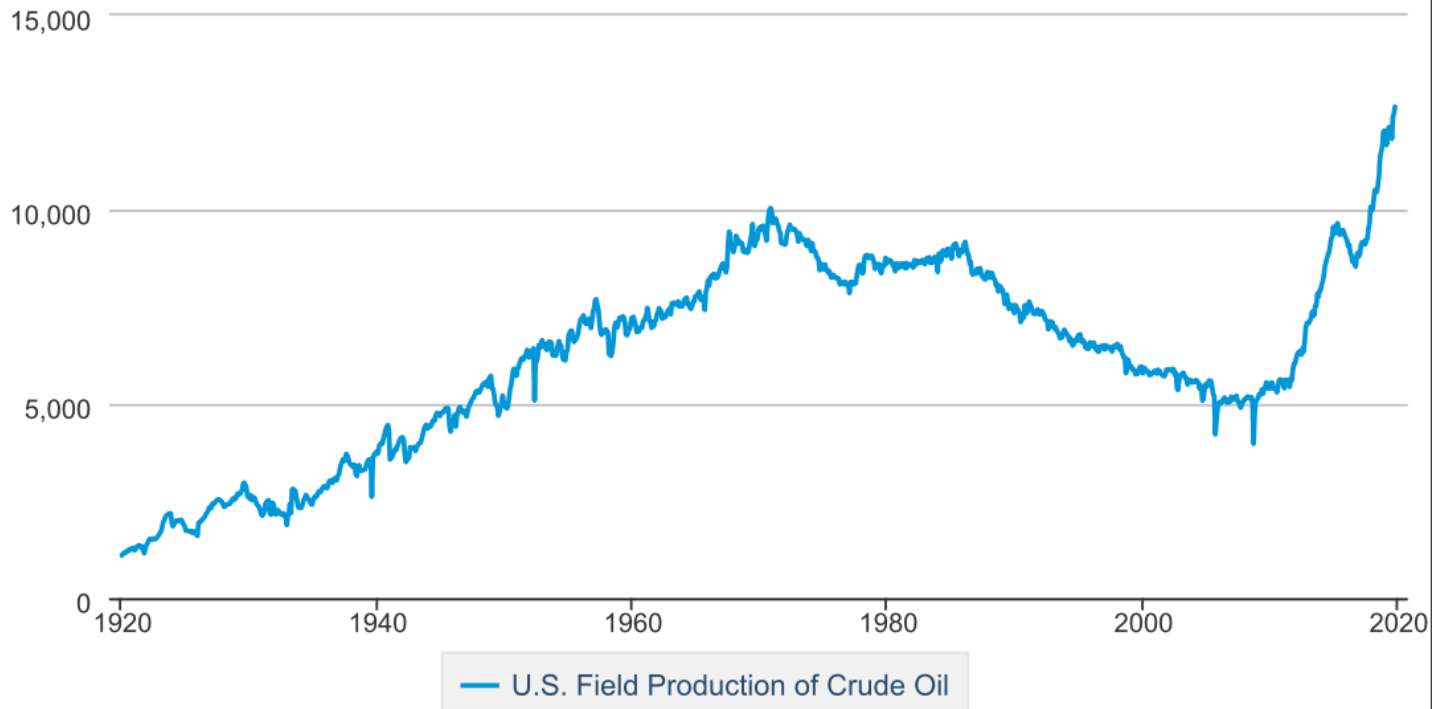
- Produktionstekniken är snarlik för all exploatering från formationer med låg permeabilitet
- Lätt olja utvunnen från formationer med låg naturlig permeabilitet kallas för “*light tight oil*”
 - Inkluderar exempelvis tight sandsten, i.e. “tight sand”
 - Även granit, kol och andra bergarter kan vara tighta
- Skifferbergarter har dock blivit den stora källan till ökad produktion (i.e. shale oil / skifferolja)



Oljeboom i USA

U.S. Field Production of Crude Oil

Thousand Barrels per Day



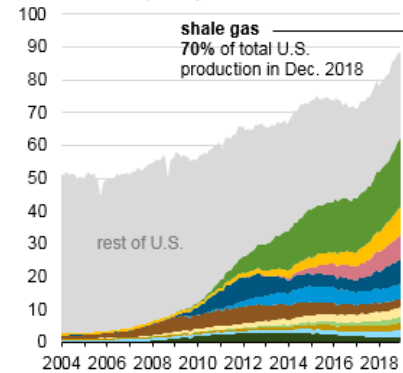
Source: U.S. Energy Information Administration



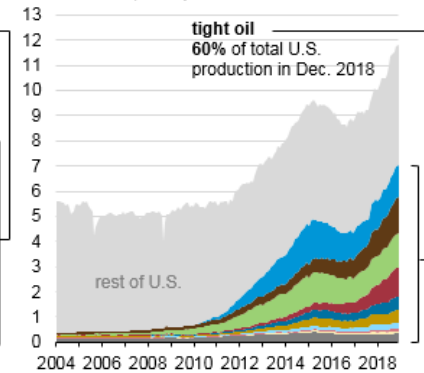
USAs färska framgång

- Från 2010-talet har en enorm "skifferboom" dragit igång i USA med dramatisk ökning
- Mer än hälften av oljan och gasen är nu från "okonventionella" källor

U.S. dry natural gas production (2004-2018)
billion cubic feet per day

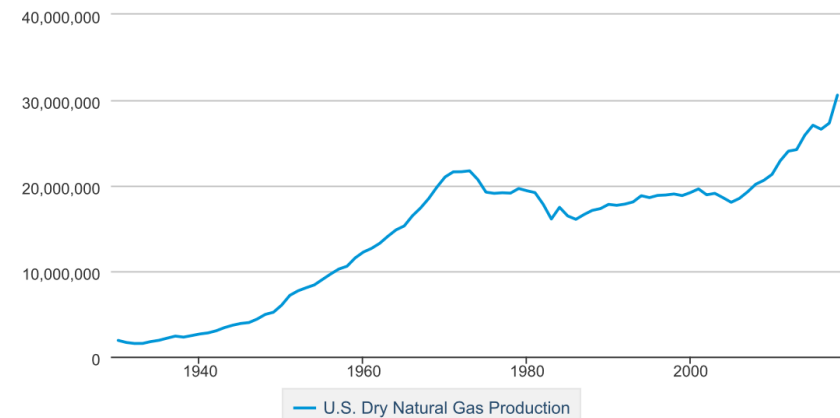


U.S. crude oil production (2004-2018)
million barrels per day



U.S. Dry Natural Gas Production

Million Cubic Feet





UPPSALA
UNIVERSITET

I svensk media

Skiffergas får elektronikjätte att lämna solcellstekniken

Av Miljöaktuellt, redaktionen

Tyska Bosch lämnar solcellsbranschen. Delvis på grund av den ökande användningen av skiffergas.

Skifferoljan slår ut Kanadas oljesand

Den ökade produktionen av skifferolja i USA konkurrerar nu ut oljesand i Kanada.

USA-gas ritar om energikartan

Publicerad 2013-02-23 05:50

Skiffergas kan vara världens nya energikälla

Publicerad: tis, 2013-04-02 09:03 KOMMENTARER 6

[► Reportage - Energi](#)

Skiffergas sänker Ryssland

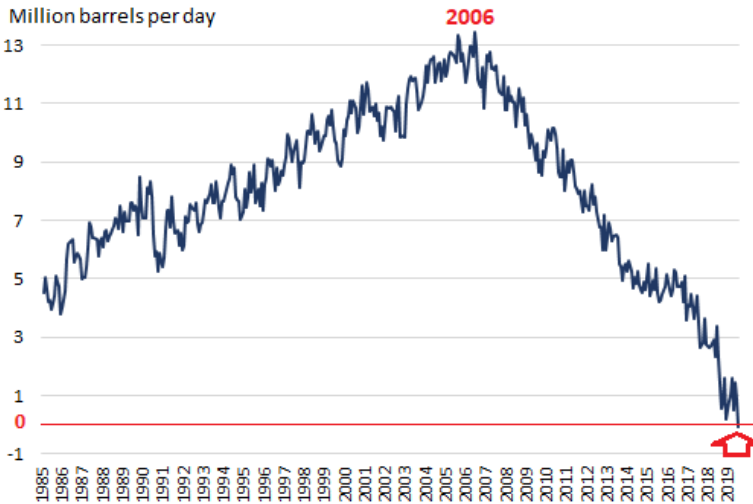
USA har passerat Ryssland som världens största naturgasproducent och Kina kan bli ännu större. Ny teknik som gjort skiffergas lönsam kommer att slå hårt mot Gazprom och därmed även mot rysk export. Inte konstigt att Rysslandsfonderna backat.



USAs import av olja

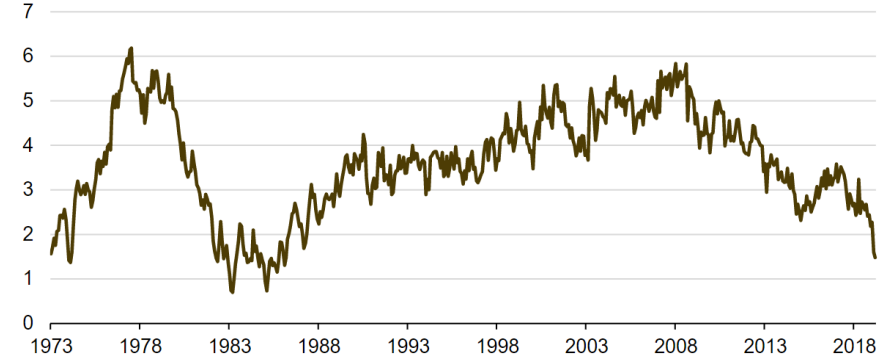
- Stora skiften i USAs oljeimport
 - Import: 78% råolja och 22% raffade produkter
 - Export: 27% råolja och 73% raffade produkter
- USAs skifte påverkar hela världsmarknaden

**US Becomes Net Exporter
of Crude Oil & Petroleum Products**
Net Imports (Imports minus Exports)

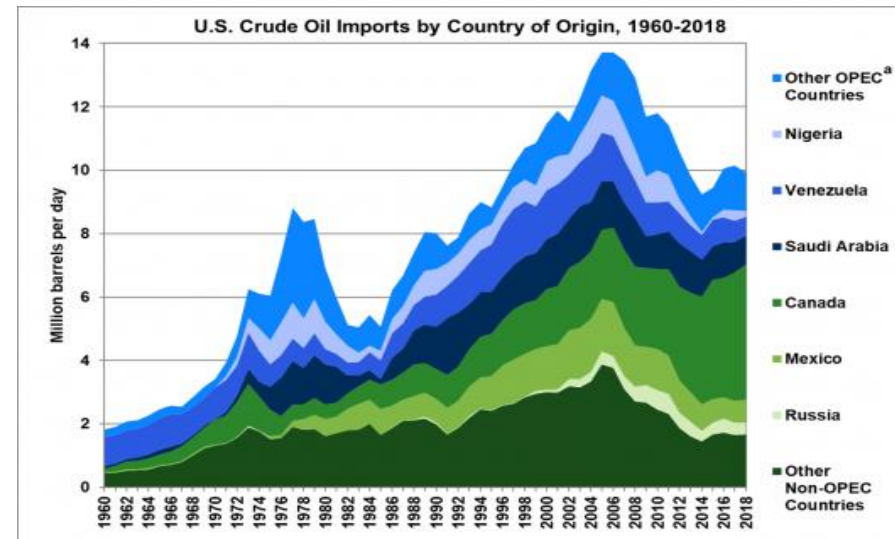


Monthly U.S. crude oil imports from OPEC fall to a 30-year low

Monthly U.S. crude oil imports from OPEC member countries (Jan 1973-Mar 2019)
million barrels per day



Source: U.S. Energy Information Administration, *Petroleum Supply Monthly*





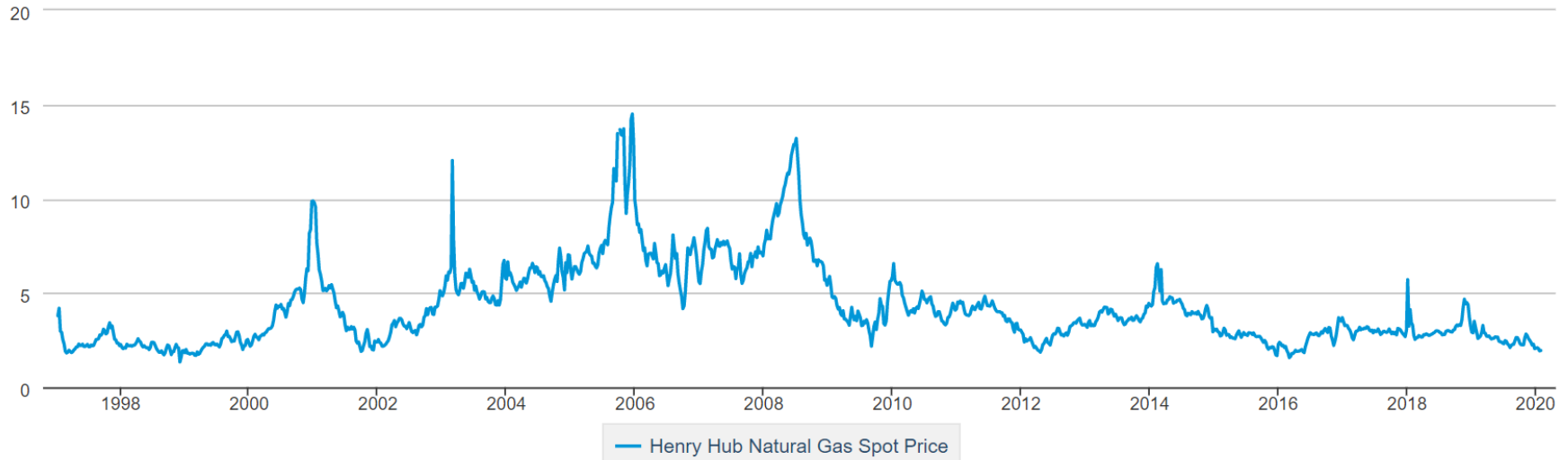
Amerikanska gaspriser

Lång period av låga gaspriset efter skifferboomen

Växande skifferoljeproduktion driver fram mer associerad gas i USA, oavsett om skiffergasen mattas av

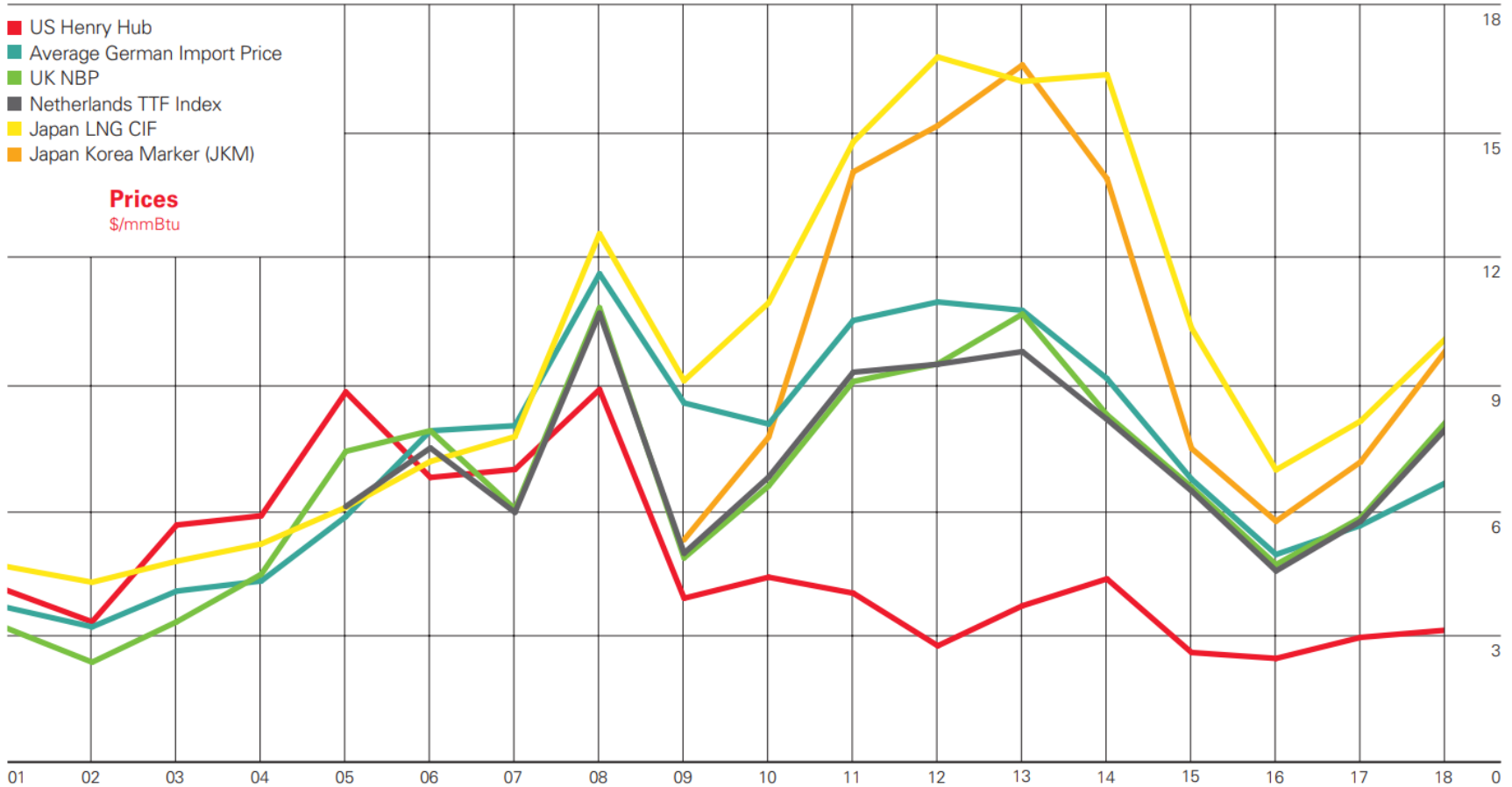
Henry Hub Natural Gas Spot Price

Dollars per Million Btu





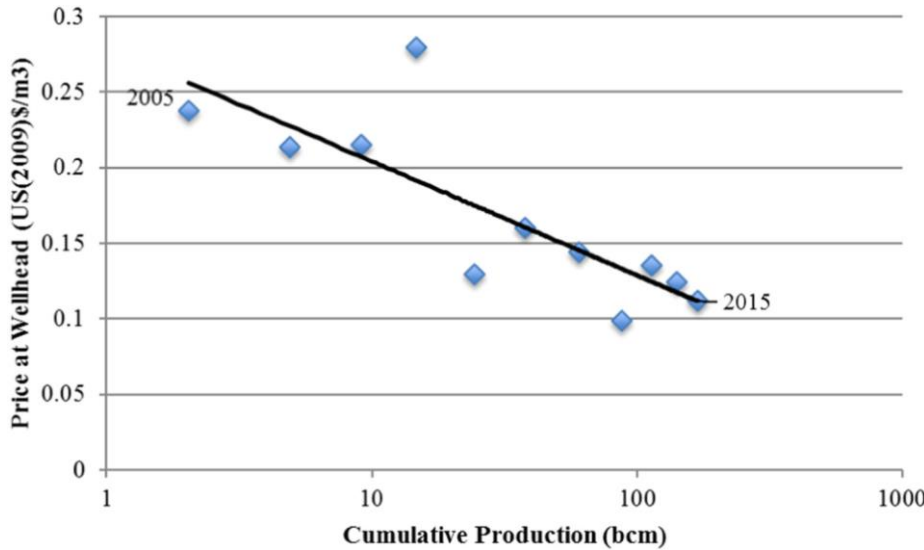
Billigt jämfört med omvärlden



Prices
\$/mmBtu

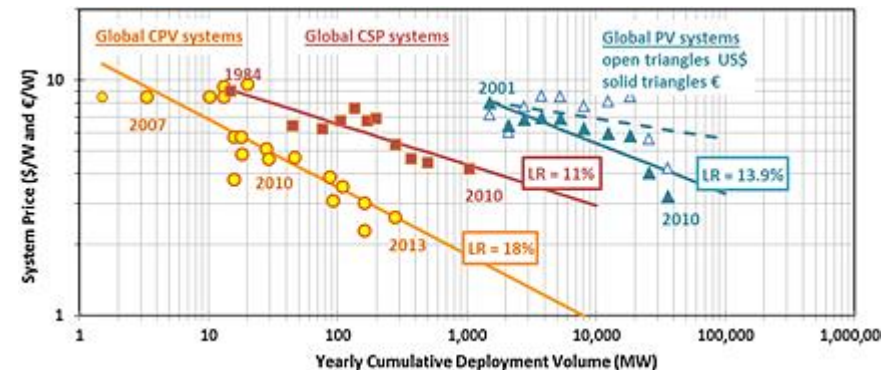
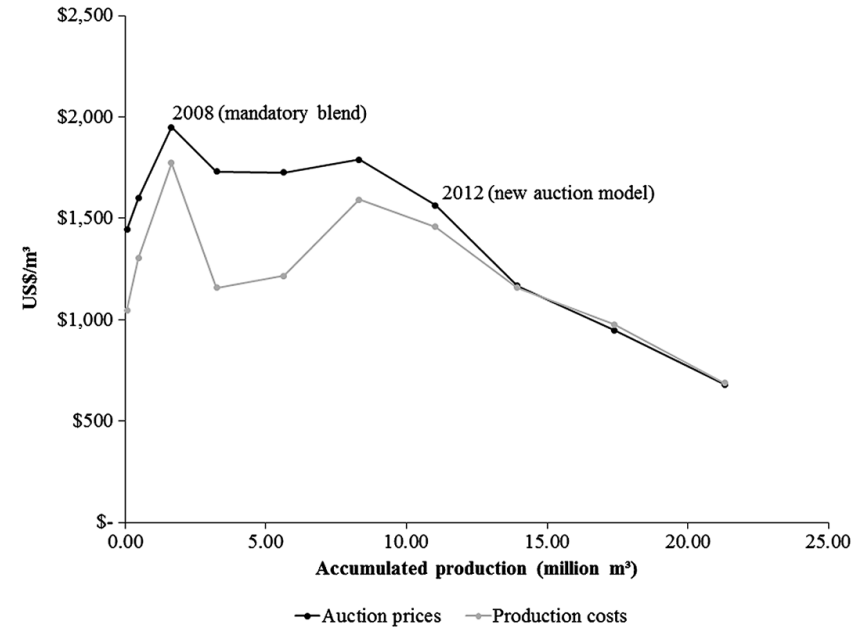


Snabb utveckling av effektivitet



Teknisk utveckling sker i alla energisektorer (fossil effektivitet har dubblerats på 20 år)

Det är ologiskt och missvisande att anta stora tekniska genombrott för en viss teknik medan utveckling antas stå stilla för konkurrenterna



Source: Fukui (2017) Experience curve for natural gas production by hydraulic fracturing. *Energy Policy*, 105:263-268.

Nogueira et al (2016) Biodiesel program in Brazil: learning curve over ten years (2005–2015). *Biofuels, Bioprod. Bioref.*, 10: 728–737.

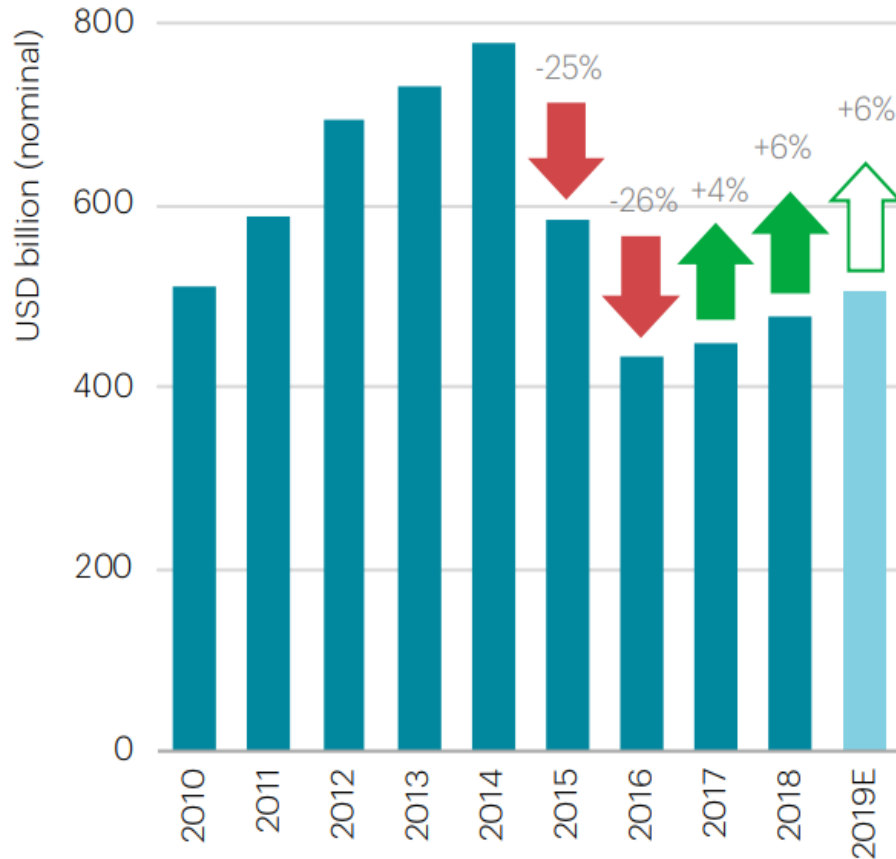
Haysom et al (2015) Learning curve analysis of concentrated photovoltaic systems. *Progress in photovoltaics*, 23(11):1678-1686.



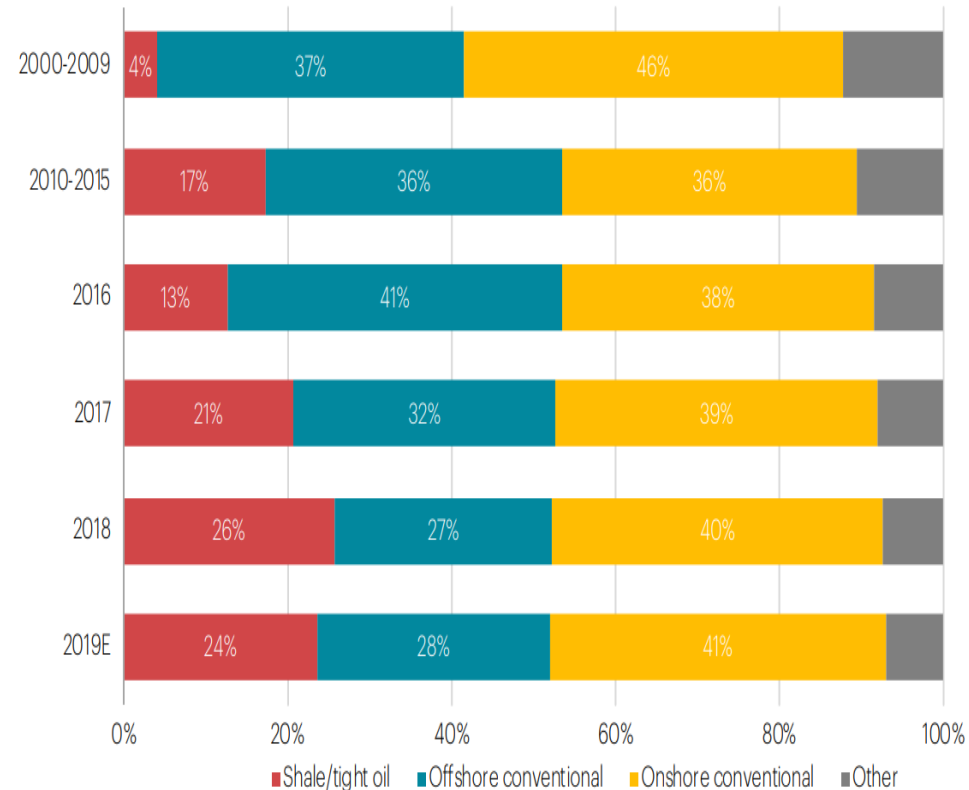
Fossila investeringar

Global upstream oil and gas investment

Investment in nominal terms



Share of global upstream oil and gas investment by asset type



Note: Offshore and onshore indicated in the chart include investment in conventional offshore and onshore assets.

Source: IEA analysis with calculations from Rystad Energy (2019) and company reports.

Skifferolja stabiliserar sig som en viktig del



Stor skillnad i arbetsinsats



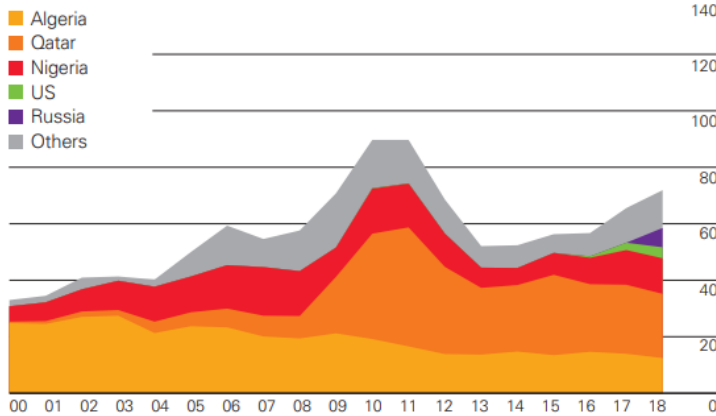
Figure 130. Global drilling of oil wells
(Source: IEA, EIA, Spears, SLB Analysis)



Håll koll på växande LNG-marknad

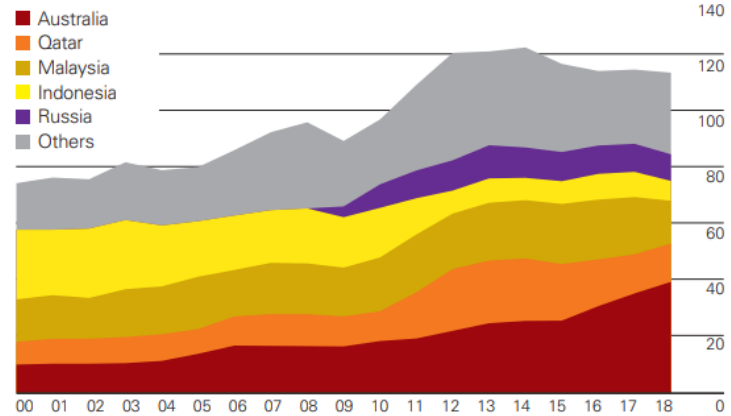
LNG imports by source: Europe

Billion cubic metres



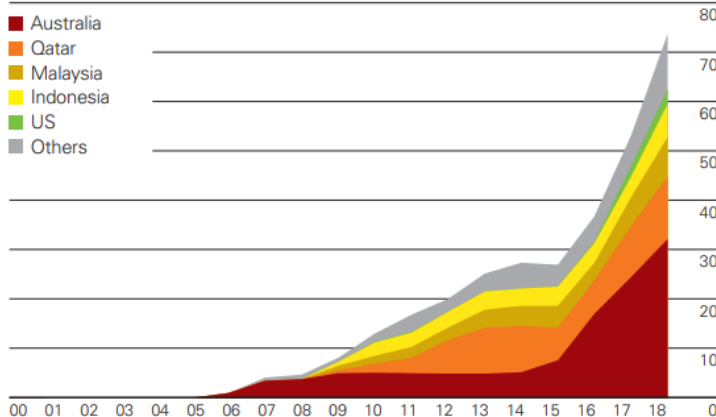
LNG imports by source: Japan

Billion cubic metres



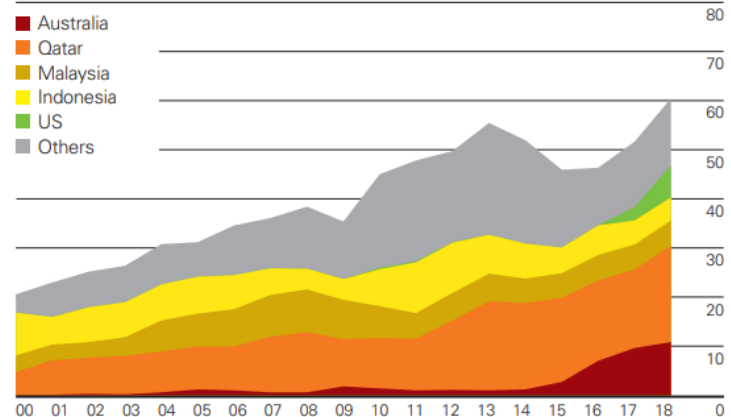
LNG imports by source: China

Billion cubic metres



LNG imports by source: South Korea

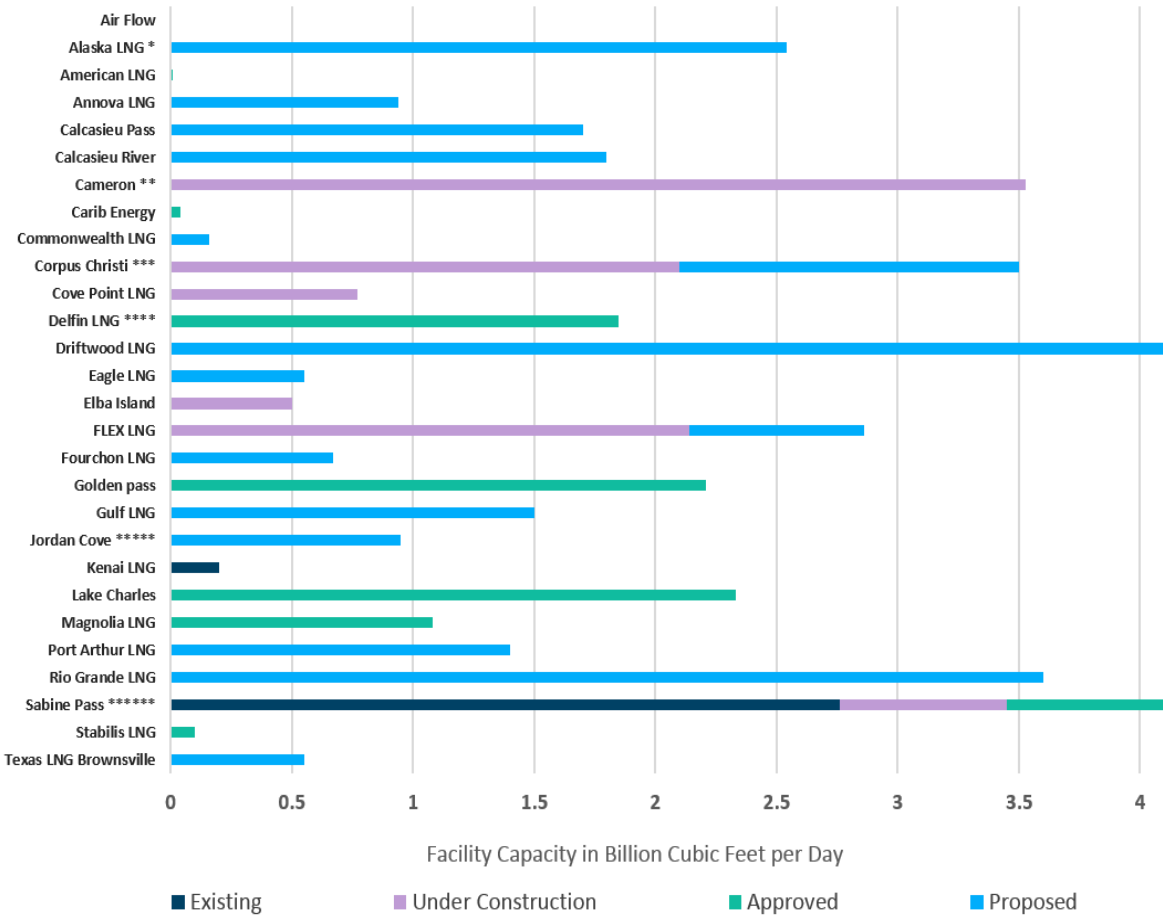
Billion cubic metres



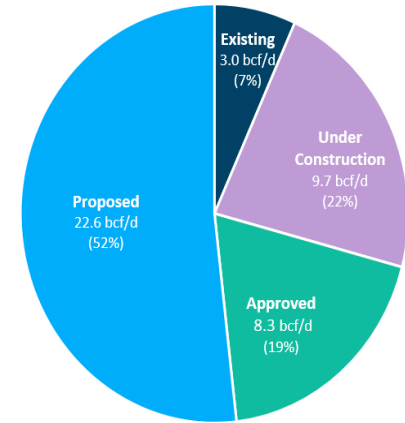


Stor expansion av LNG i USA

U.S. Existing, Under Construction, Approved, and Proposed LNG Export Terminals



U.S. LNG Export Capacity Status
Total Possible Capacity: 43.6 bcf/d



Center for Strategic and International Studies | Energy and National Security Program
Source: Adapted from Clearview Energy Partners (October 2017).



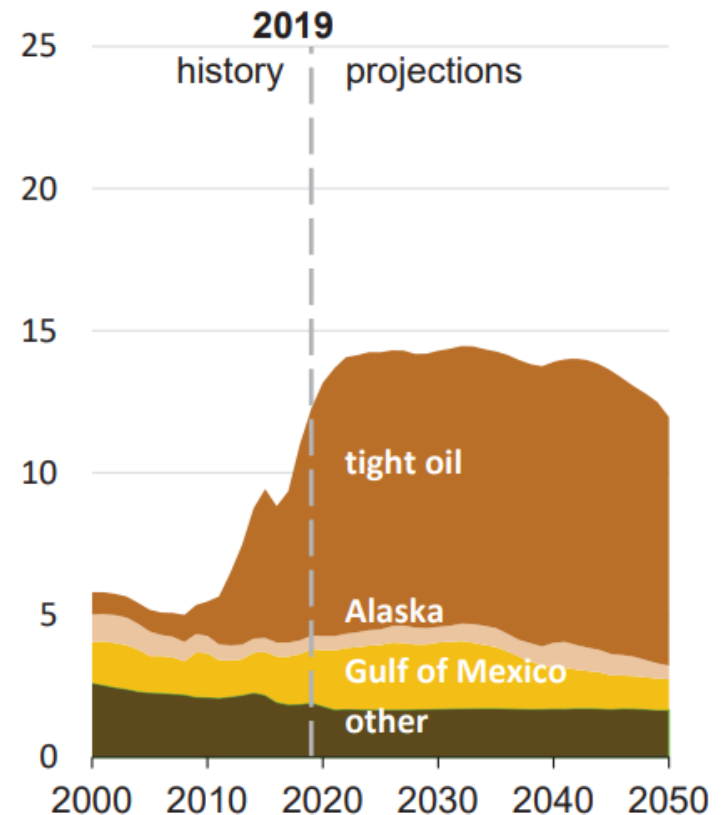
Framtidsvisionerna

- Skiffergas/olja är en färsk “*game changer*”
 - USA har olja för decennier och ”energiberoende”
- Den amerikanska framgången förväntas även ske i andra länder
 - Kina, EU med flera har kikat på tekniken och satsat
 - Okonventionellt är den nya frontlinjen för fossil energi

AEO2020 crude oil production

million barrels per day

Reference case





Sammanfattning

- Frackingteknik har fått stor omfattning i USA, mycket gynnat av ekonomiska faktorer och genom en regleringsmässig gräddfil
- Studier och framväxande bevis rörande miljöpåverkan kopplat till mark/vatten är viktigt underlag för beslutsfattande och har satt käppar i hjulen för exploatering i en hel del nya länder
- Skifferolja/gas framstår dock fortfarande som ett ekonomiskt och attraktivt energilag som definitivt kommer att spela en viktig roll i framtiden



Sagan om kolet

Aftonbladet 2019-11-18

Ståljätten köper miljoner ton kol – från andra sidan jorden

SSAB:s utsläpp lika mycket som miljontals Thailandsresor



av Olof Svensson

IDAG 07:20

SAMHÄLLE

Ståljätten SSAB släpper ut koldioxid som motsvarar 2,5 miljoner Thailandsresor.

Kolet som används i ståltilverknigen köper företaget från andra sidan jorden.

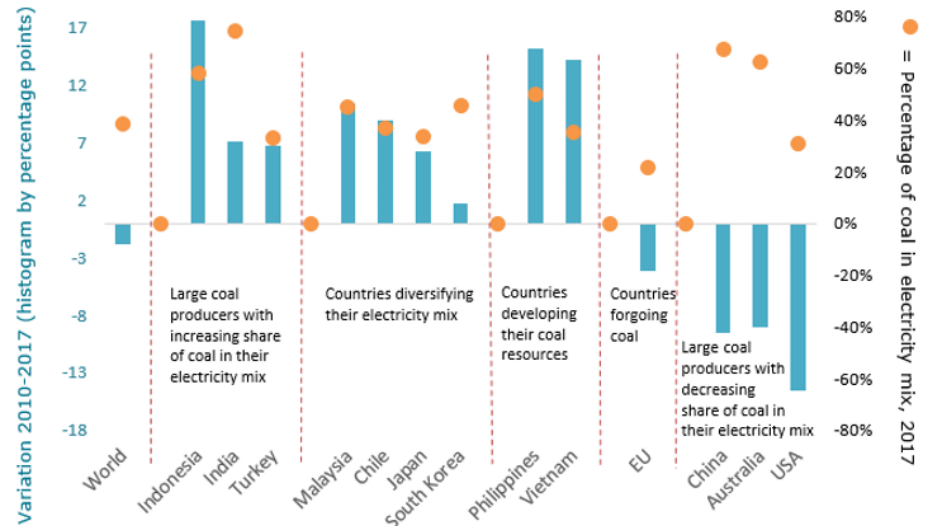
Förra året importerades 1,9 miljoner ton kol, mestadels från Australien och Nordamerika.

IEA Coal Market – 2019-02-23

"The story of coal is a *tale of two worlds* with climate action policies and economic forces leading to closing coal power plants in some countries, while coal continues to play a part in securing access to affordable energy in others."

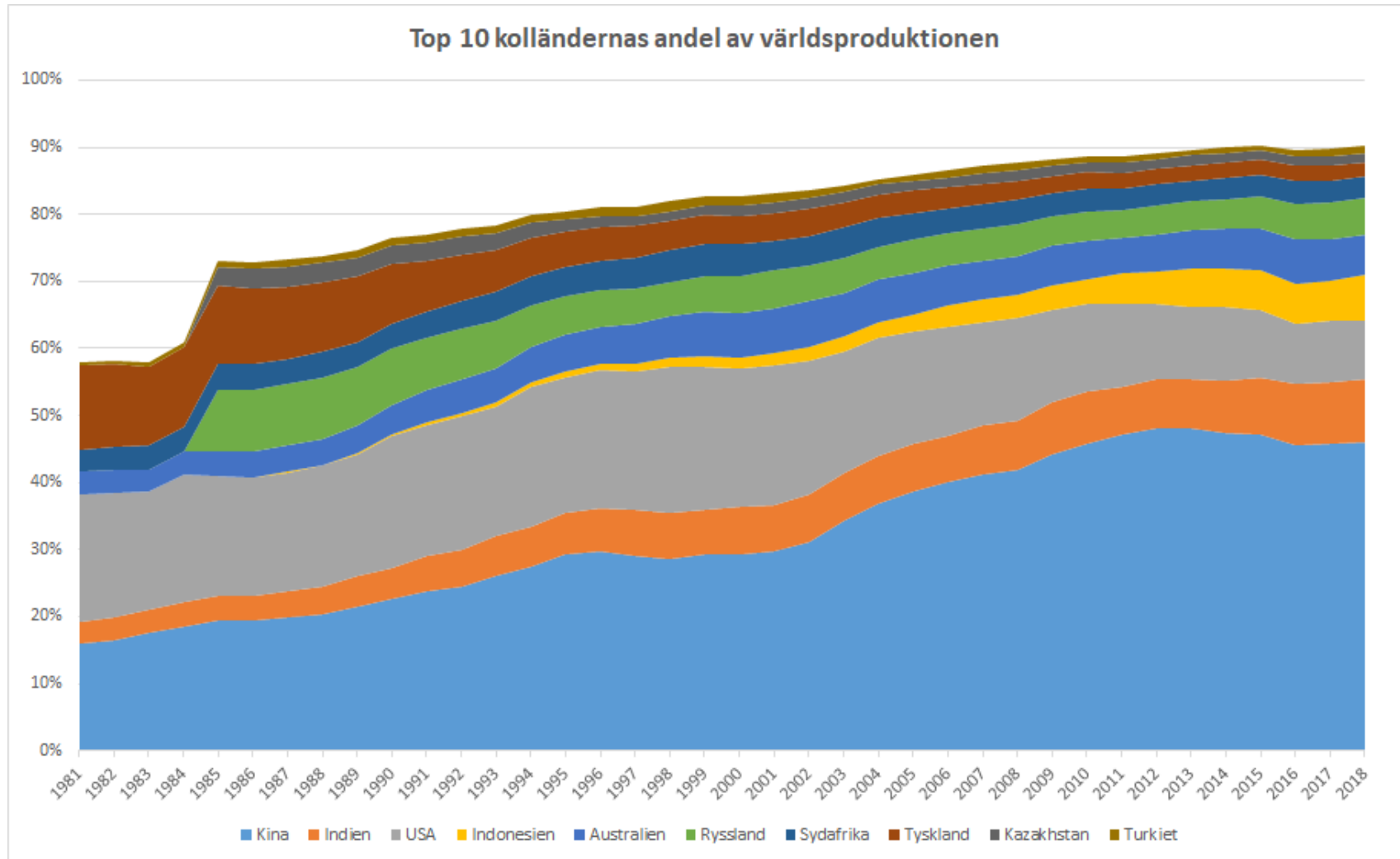
-Keisuke Sadamori, Director of Energy Markets and Security, IEA

Significant Gains in the West Almost Entirely Offset by Increasing Coal in Other Countries





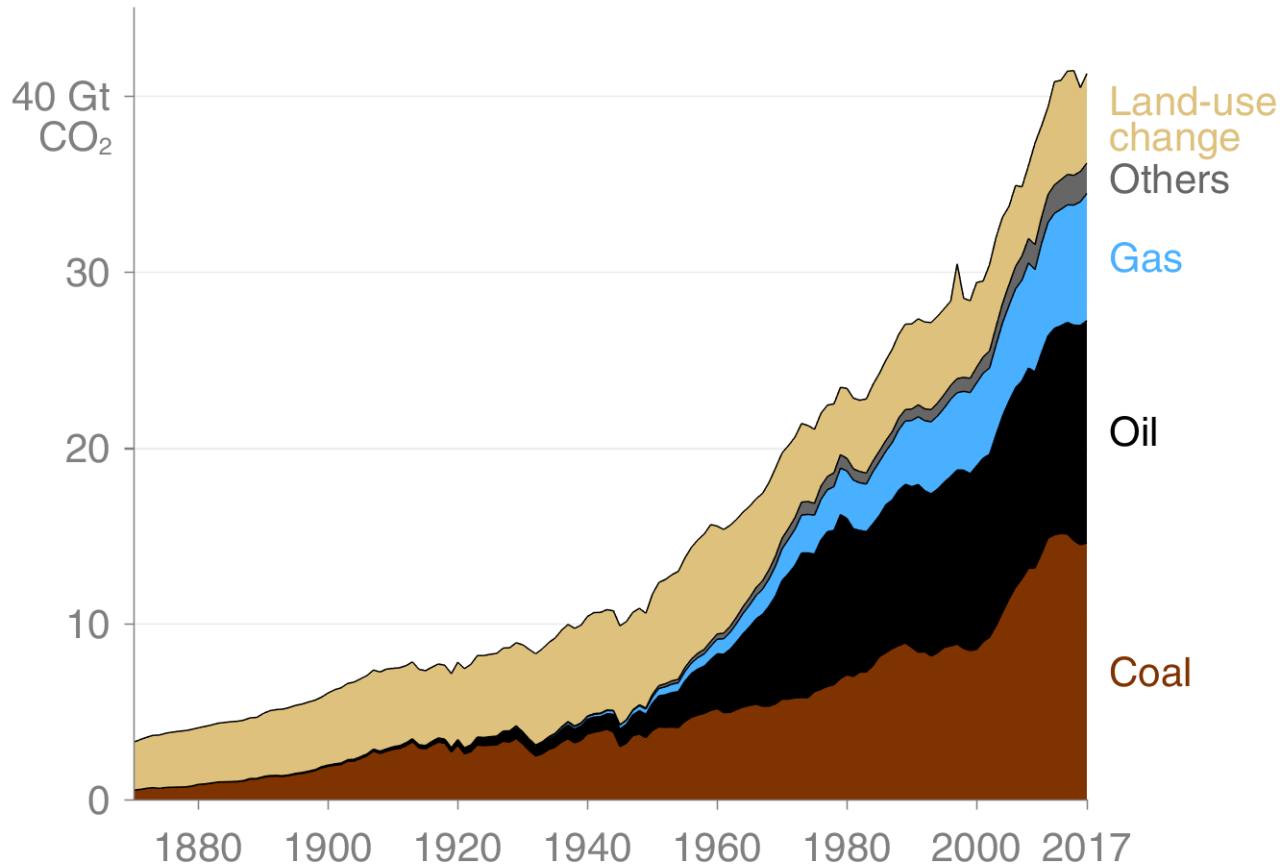
Kol – extremt toppdominerat





Totala utsläpp i världen

Land-use change was the dominant source of annual CO₂ emissions until around 1950.
Fossil CO₂ emissions now dominate global changes.

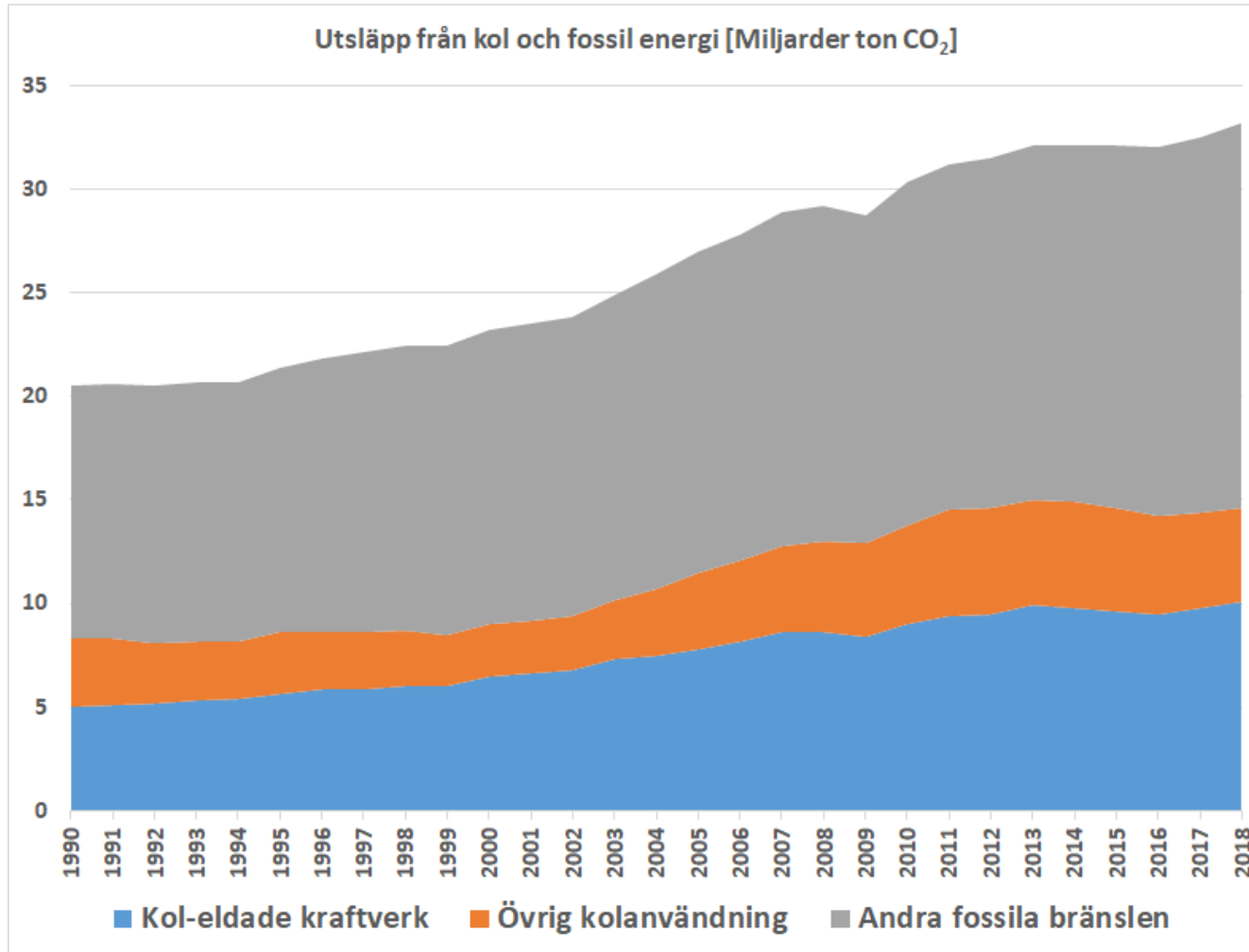


Others: Emissions from cement production and gas flaring

Sources: CDIAC; Houghton and Nassikas 2017; Hansis et al 2015; Le Quéré et al 2018; Global Carbon Budget 2018



Kol och klimatproblemet



Kol
~44% av
världens
utsläpp

Kol och främst koleldade kraftverk är den enskilt största källan till växthusgasutsläpp

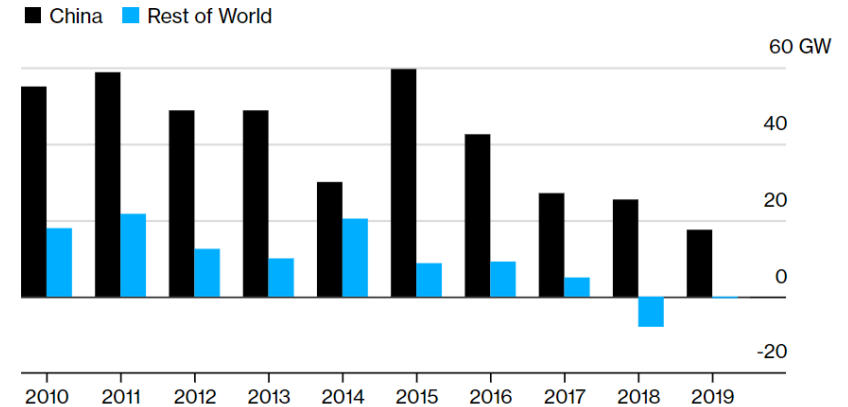


Installerad kolkraft

- Majoriteten av världens kolkraftverk finns i Asien
 - De är även unga och har lång kommersiell livslängd kvar
- Redan nu finns en 40% överkapacitet mot vad som behövs för att kunna nå Parisavtalet

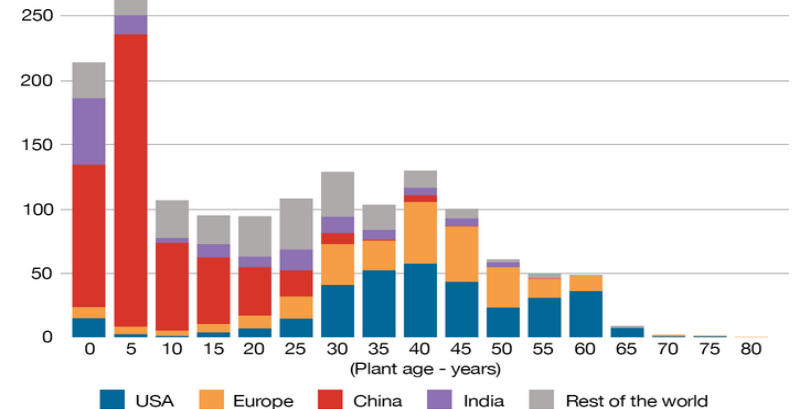
Where the Coal Power Grows

Net capacity additions continue in China while shrinking elsewhere



Coal-fired power plant age by country

(Installed capacity - gigawatts)

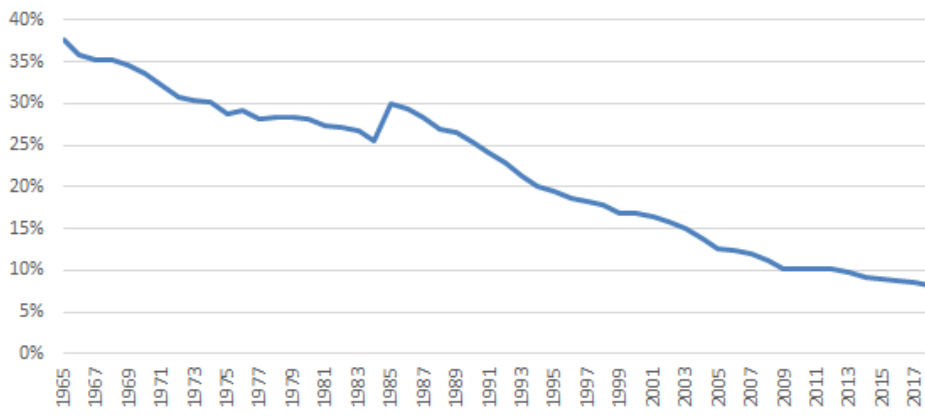




Viss utfasning pågår

- Europa ligger i frontlinjen för att fasa ut kolenergi
- Europa står dock för ~8% av världens kol
 - Minskande andel sedan 1985

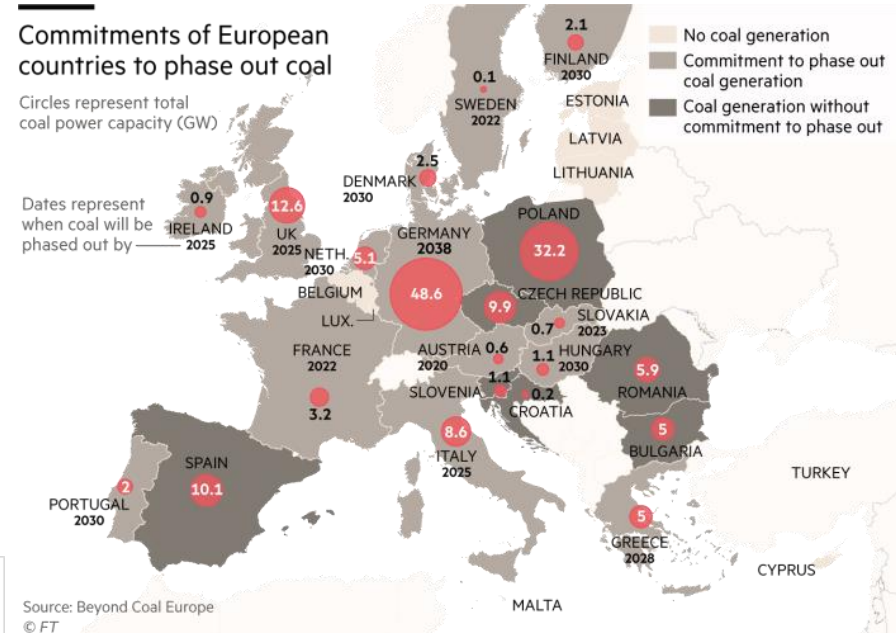
Europeisk andel av global kolförbrukning 1965-2018



Commitments of European countries to phase out coal

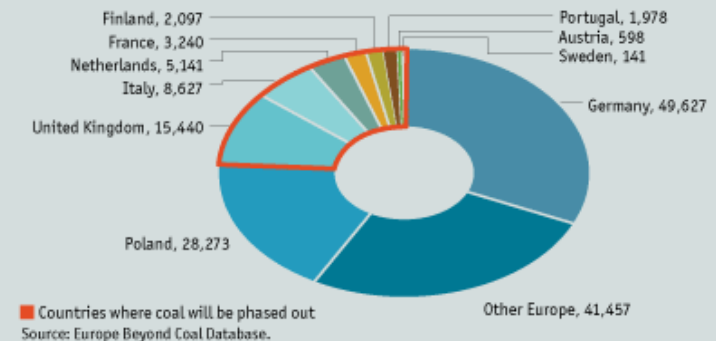
Circles represent total coal power capacity (GW)

Dates represent when coal will be phased out by



Source: Beyond Coal Europe © FT

Coal phase out: One quarter of EU coal capacity will be retired by 2030 (capacity MW)

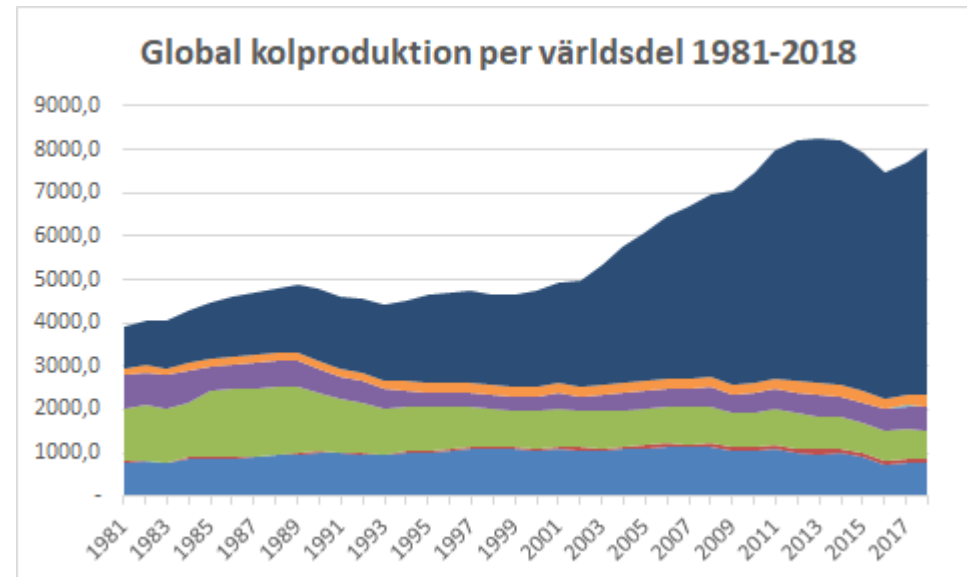
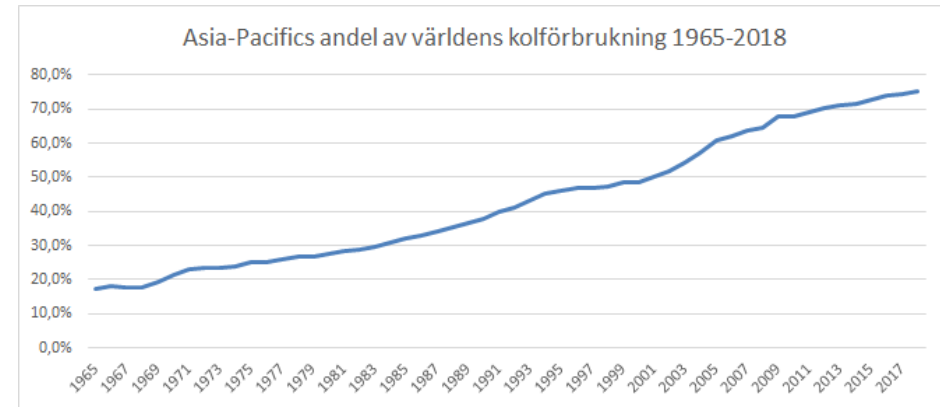


Countries where coal will be phased out Source: Europe Beyond Coal Database.



Kraftig förskjutning österut

- Globala kolfrågor domineras allt mer av Asien, främst Kina
 - Enskilda länder har stor betydelse
- Tillfällig avmattning mycket kopplat till dämpad tillväxt i Kina





Kina även sprider kolkraft

China a significant financing source for coal-plant projects globally

China has committed or proposed about \$36 billion in financing for 102 gigawatts of coal-fired capacity in 23 countries. That represents more than a quarter of all coal-fired capacity under development outside of China.

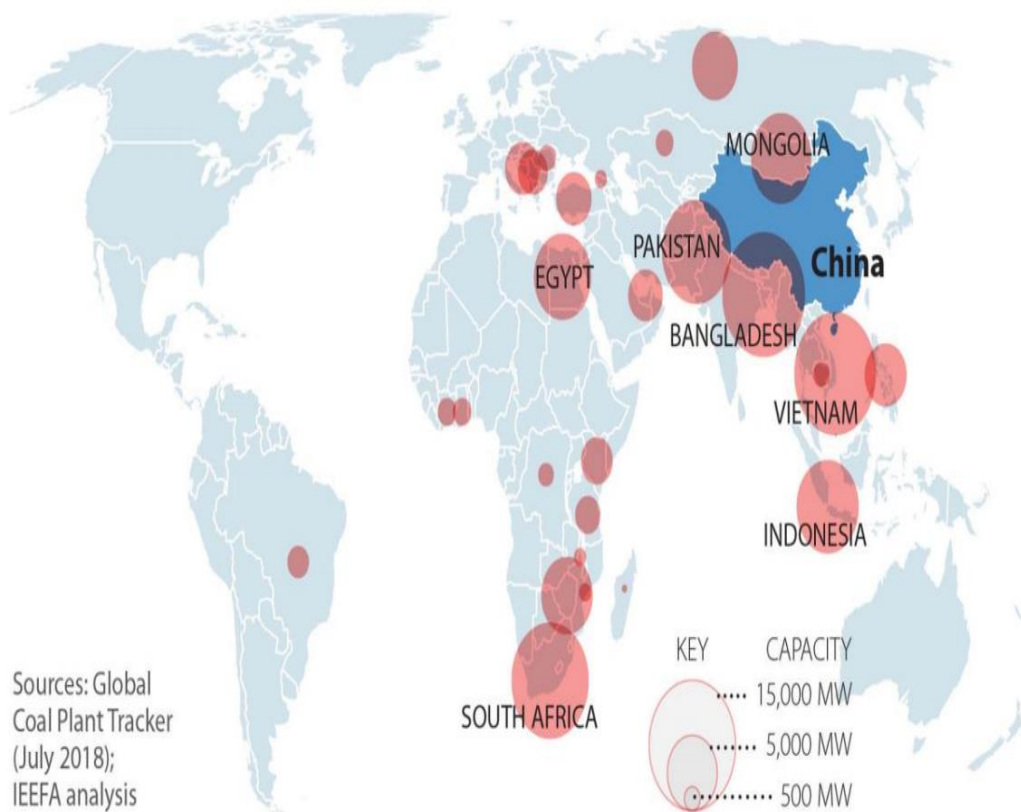
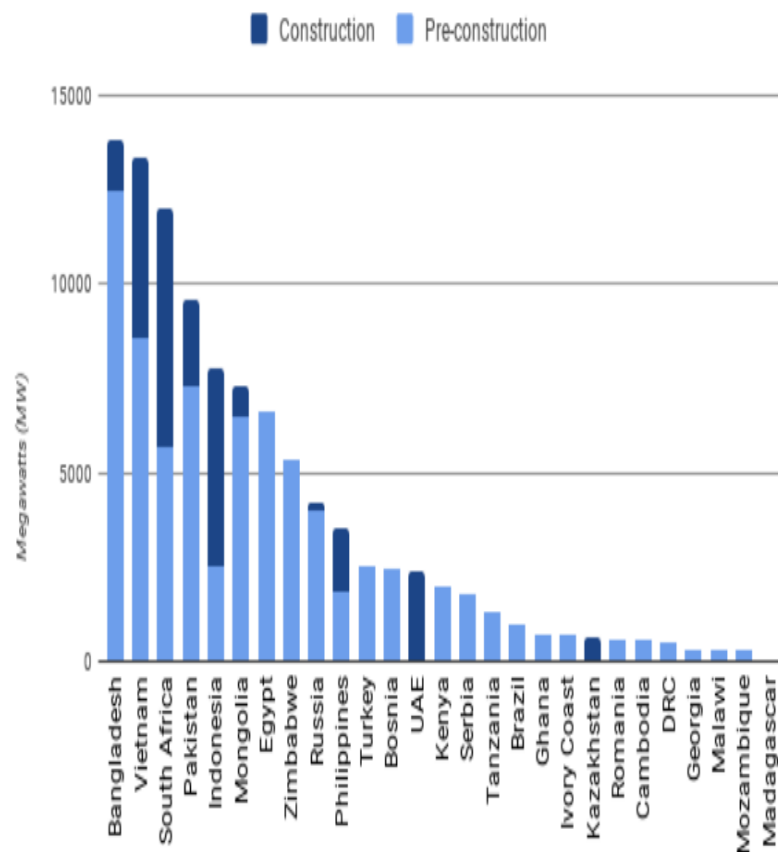


Figure 1: Coal-fired Capacity Under Development with Chinese Finance (MW)

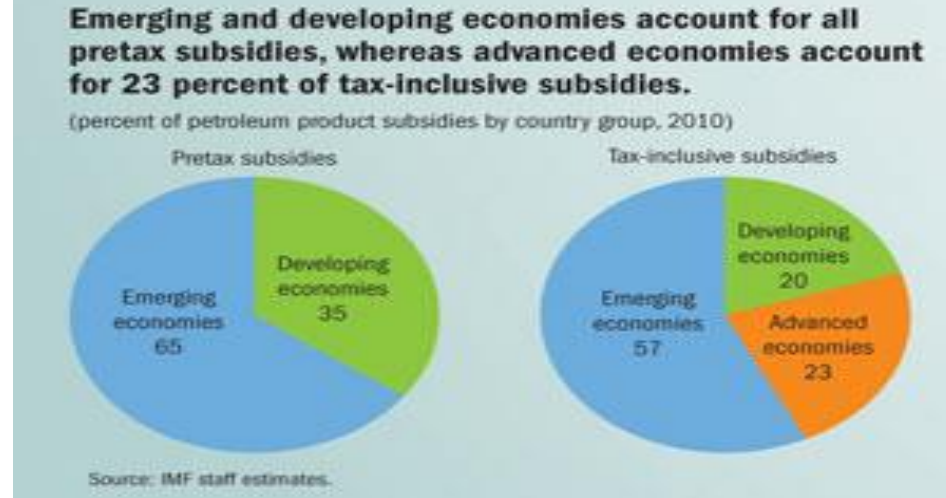




Stöd till fossil energi – främst en kolfråga

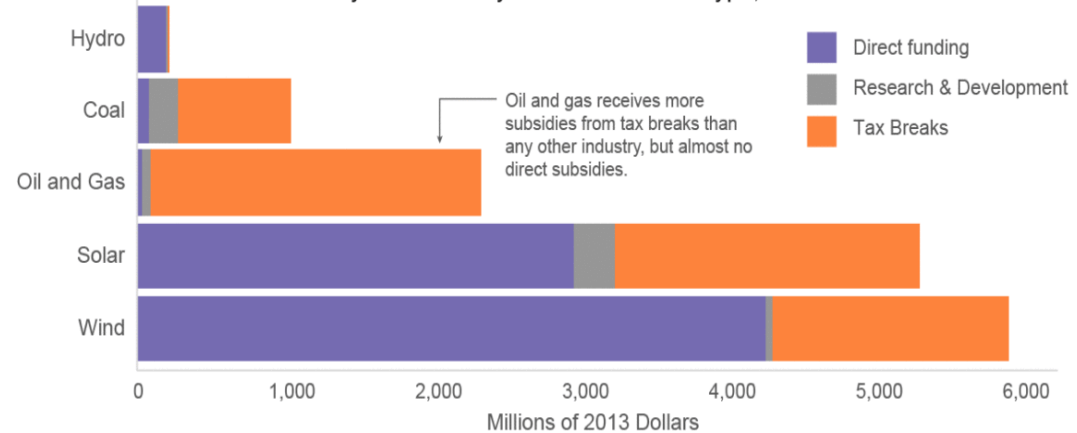
UPPSALA
UNIVERSITET

- Globala subventioner till fossil energi var \$5.3 biljoner (6.5% av världens BNP)
 - Kol får ~50%, olja ~33% och naturgas ~10% för 2015
 - Flest subventioner handlar om att reducera konsumentpriset för att bekämpa fattigdom, ge renare bränslen eller mer jobb/produktion
- Subventionerna är starkt koncentrerade till ett antal länder
 - Kina var störst år 2013 (\$1.8 trillion),
 - USA (\$0.6 trillion),
 - Ryssland, EU, och Indien (vardera runt ~\$0.3 trillion)



How Do We Subsidize The Energy Industry?

Yearly Subsidies By Fuel Source And Type, 2013



Data Source: Energy Information Administration

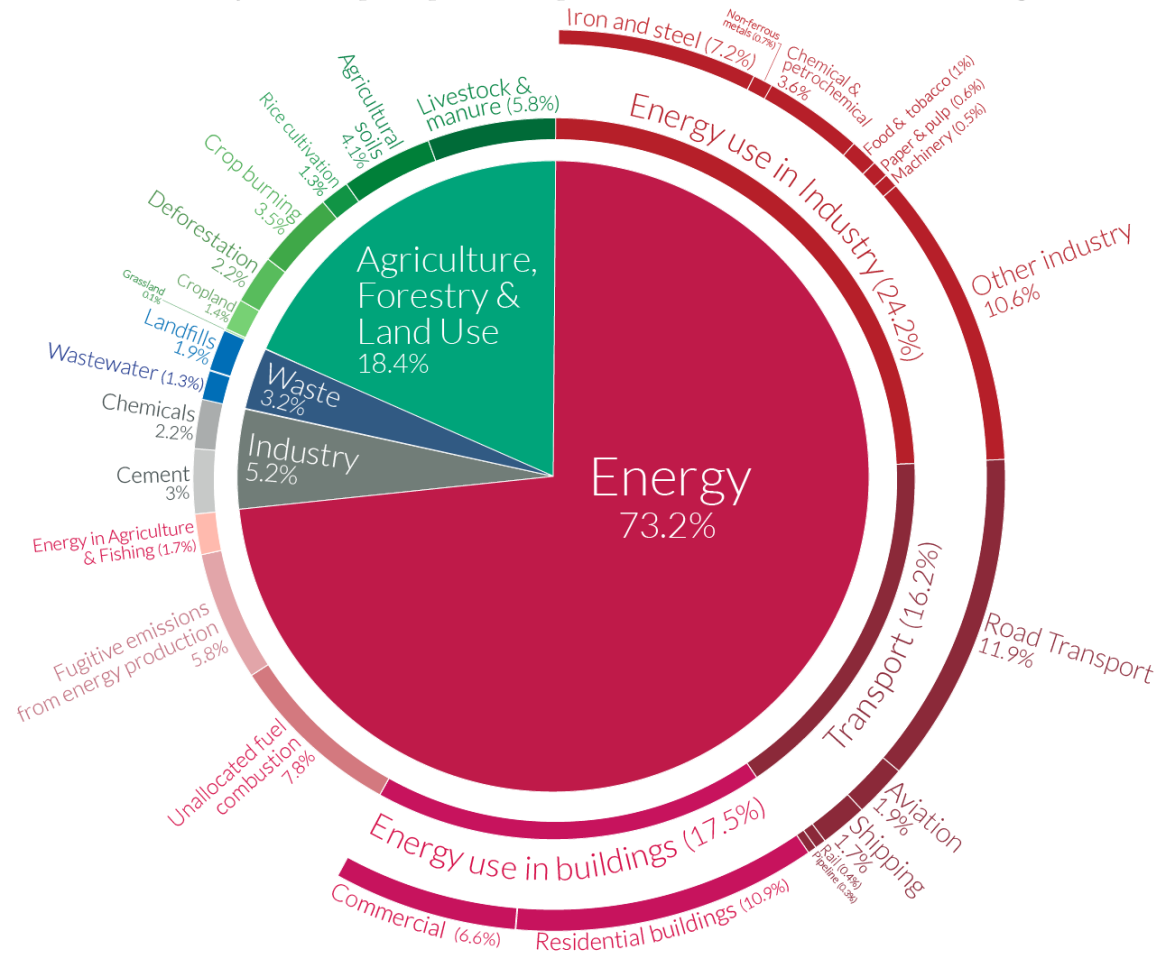
JORDAN WIRFS-BROCK | INSIDE ENERGY



Växthusgaser och Energi

Global greenhouse gas emissions by sector

This is shown for the year 2016 – global greenhouse gas emissions were 49.4 billion tonnes CO₂eq.





Utfasning av fossil energi

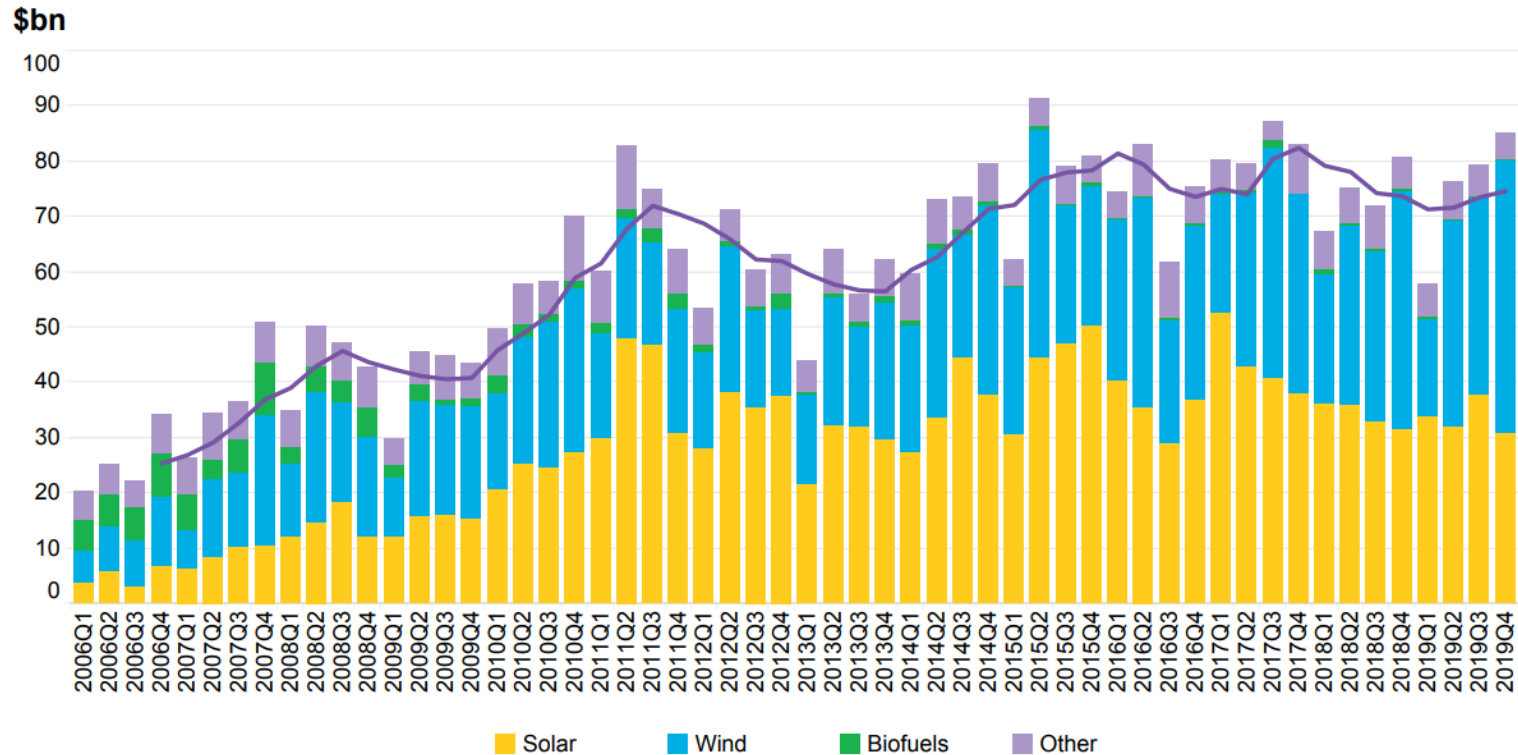
- Baserat på Kaya-dekomposition, är det möjligt att upprätthålla ekonomisk utveckling och växande population om emissionsintensiteten rör sig mot noll
- Detta leder till koncept som handlar om att fasa ut fossil energi eller minska utsläppsintensiteten i samhälle
 - Detta är logiken bakom de stora förhoppningarna som görs runt en snabb expansion av grön energi
 - Sådana stora omställningar skulle få stor påverkan på hela samhället!



Sol och vind dominerar

Global new investment in clean energy, by sector

1Q 2006 - 4Q 2019



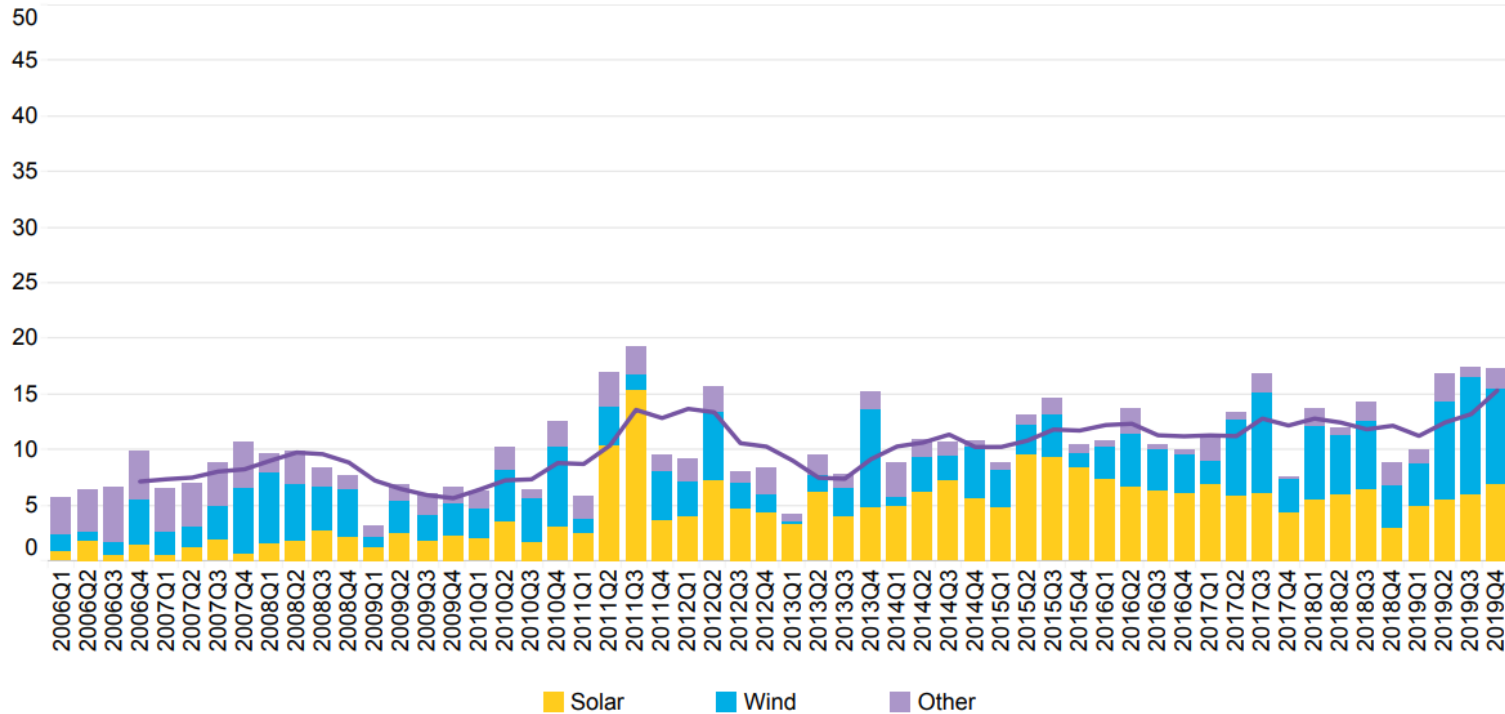


USA Investorar

New investment in clean energy United States, by sector

1Q 2006 - 4Q 2019

\$bn



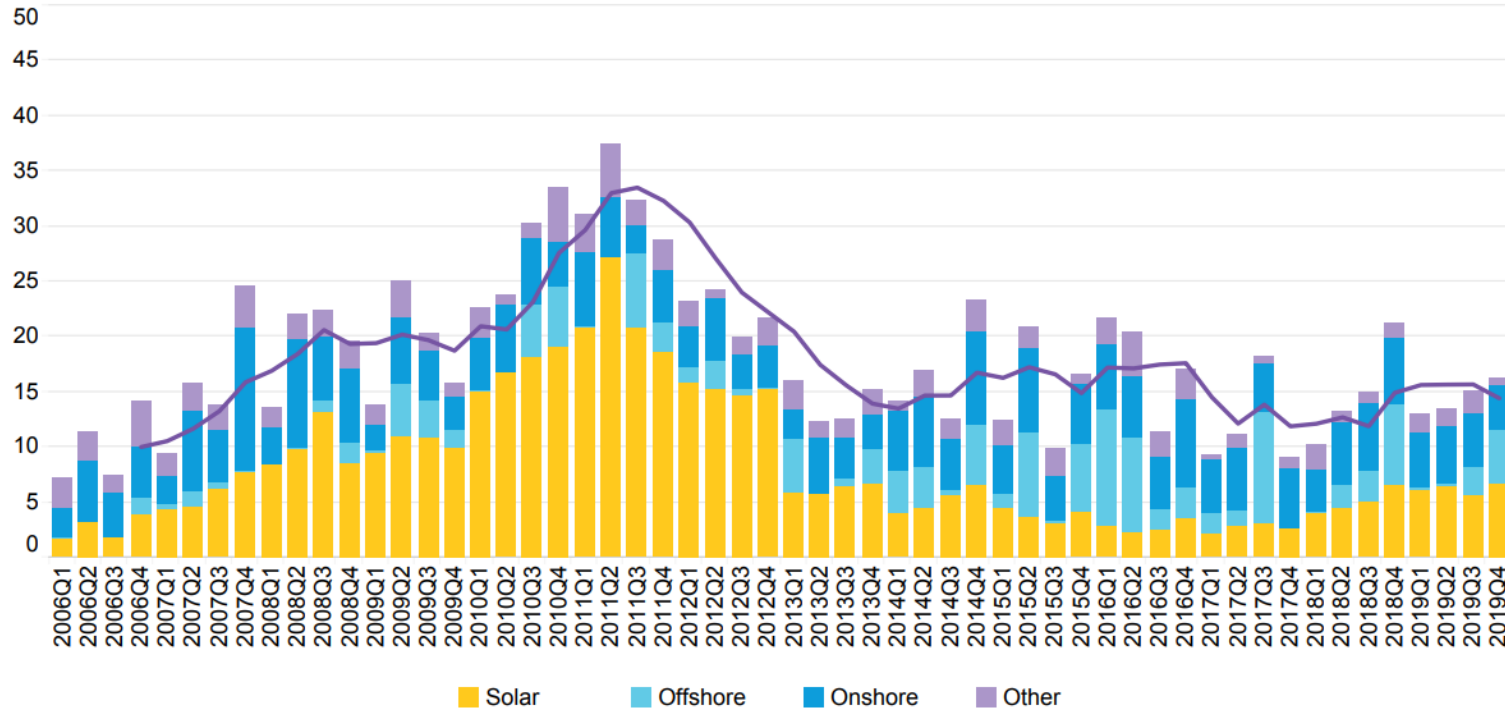


Trenden i Europa

New investment in clean energy Europe, by sector

1Q 2006 - 4Q 2019

\$bn



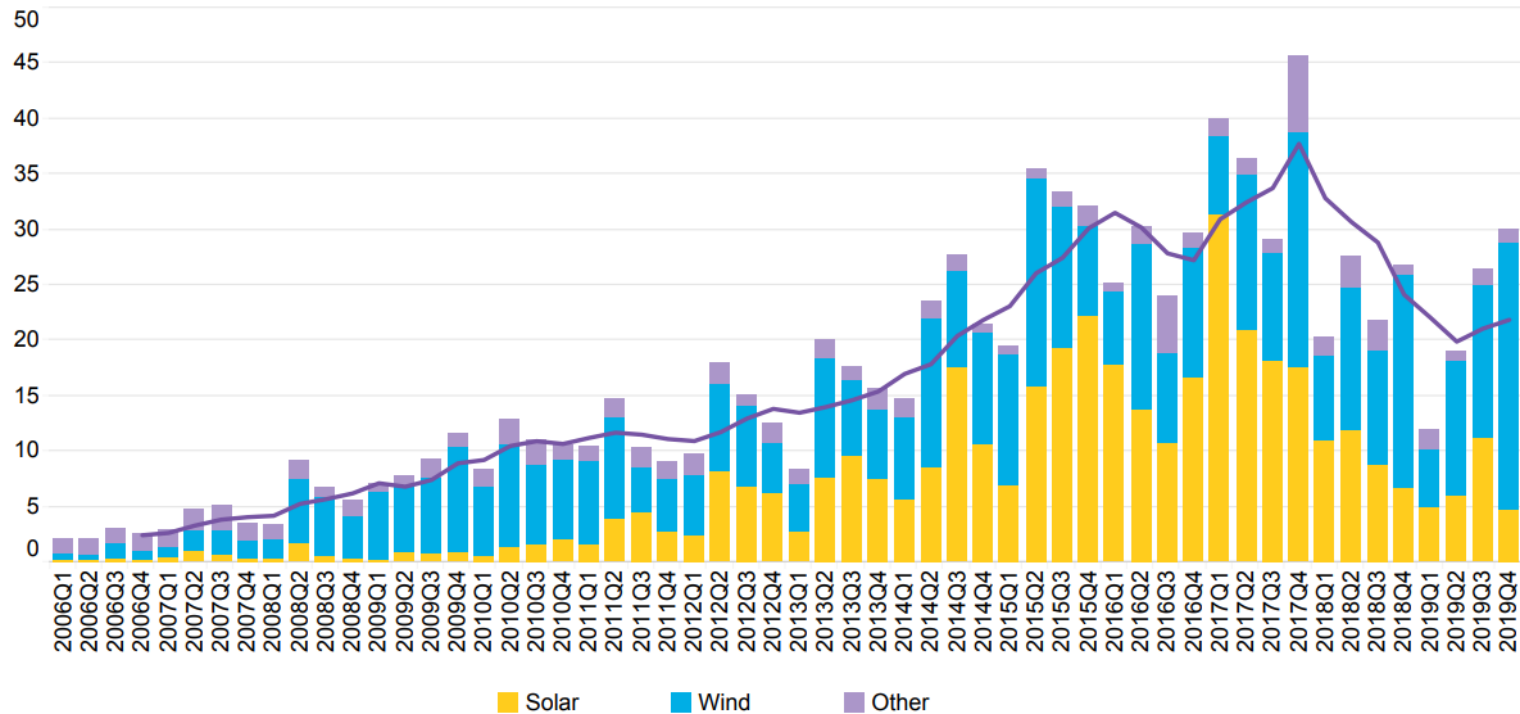


Investeringar i Kina

New investment in clean energy China, by sector

1Q 2006 - 4Q 2019

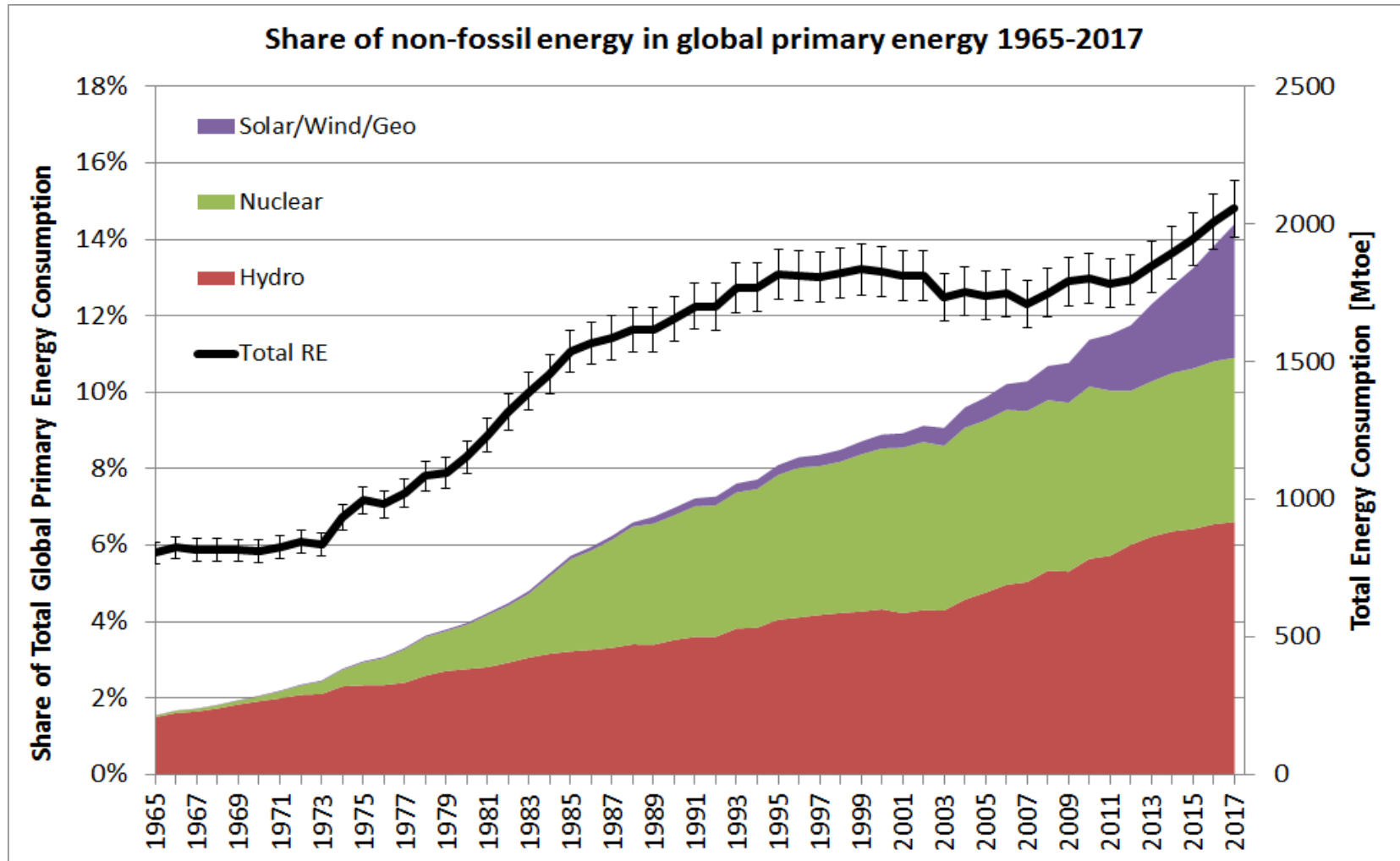
\$bn



Recent downturn due to slowdown of the Chinese economy



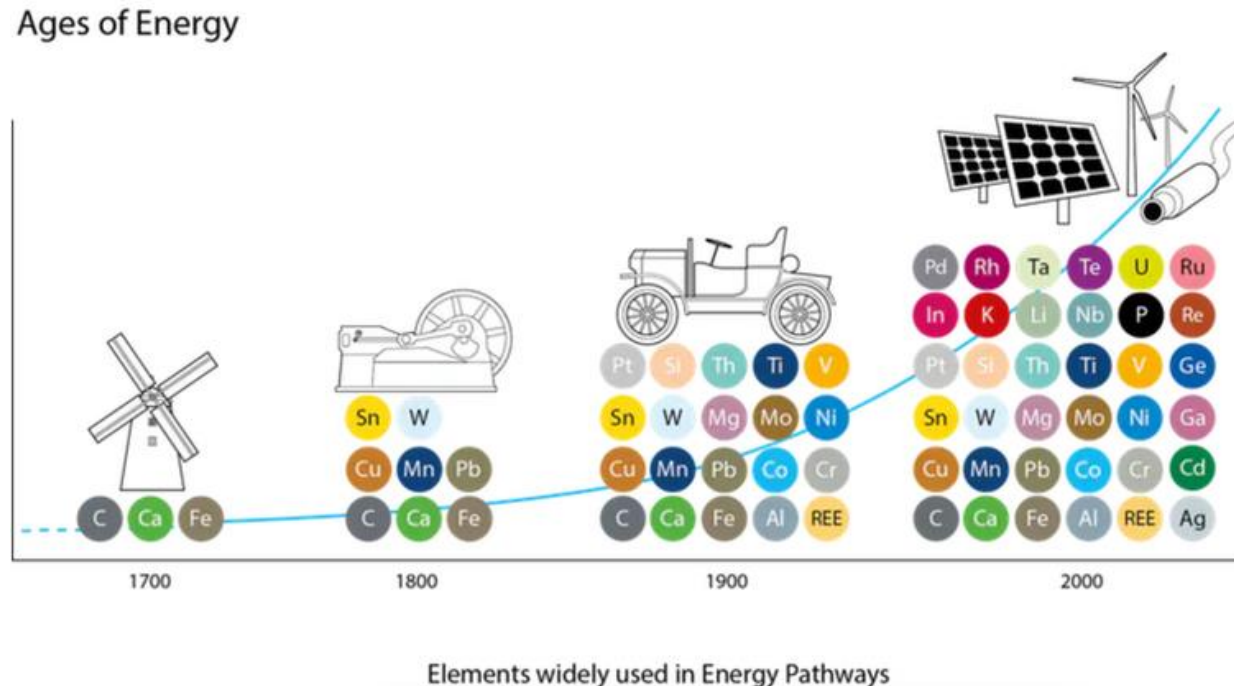
Hittills går lite lite trögt...





Energiomställningar och materialbehov

- Nya och kolsnåla energitekniker för framtiden leder till ökat behov av många grundämnen och mineraler
- Att förstå materialsektorn är nödvändigt!





Gröna energiomställningar

- Minskat fossilberoende vore bra för miljön och hållbarheten, som vi alla vet...
 - Förnybar energi presenteras ofta som mer eller mindre automatiskt hållbar, men det finns mer bakom kulisserna
 - Förnybar energiteknik är också mer metalintensiv än konventionella energiformer och skulle öka behovet av många råmaterial (Kleijn et al, 2011; Fizaine & Court, 2015)
 - Materialflöden från gruvsektorn, tillverkning och återvinning blir allt mer sammanflätade när andelen förnybar energi ökar i ett system (Elshkaki & Graedel, 2013; Davidsson et al, 2014; Kim et al, 2015; Davidsson & Höök, 2017)

Källor: Kleijn et al, 2011. Metal requirements of low-carbon power generation. *Energy* 36:5640–5648

Fizaine & Court, 2015. Renewable electricity producing technologies and metal depletion: A sensitivity analysis using the EROI. *Ecological Economics* 110:106–118

Elshkaki & Graedel, 2013. Dynamic analysis of the global metals flows and stocks in electricity generation technologies. *Journal of Cleaner Production* 59:260–273

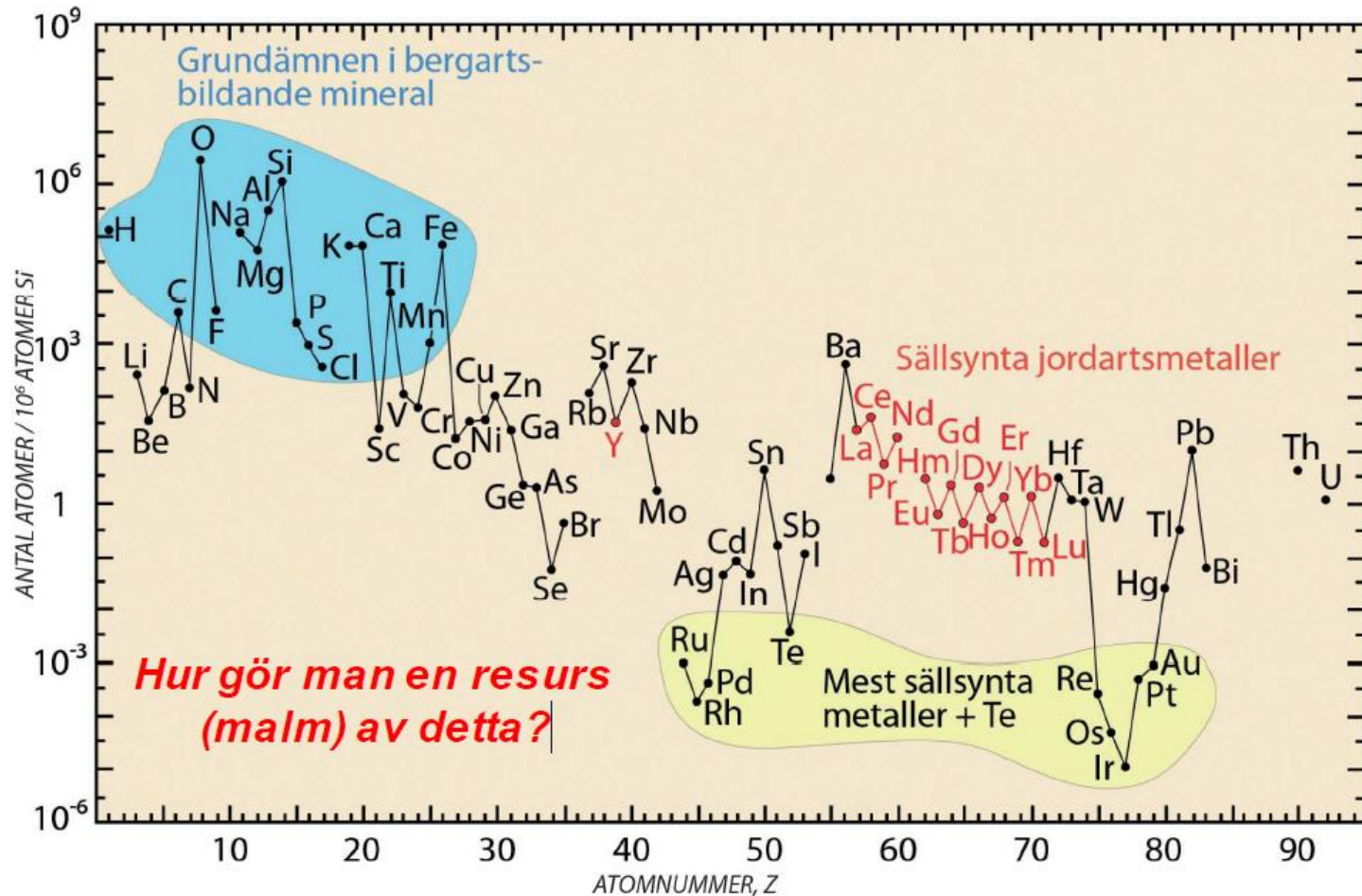
Davidsson et al, 2014. Growth curves and sustained commissioning modelling of renewable energy: Investigating resource constraints for wind energy. *Energy Policy*, 73:767–776

Kim et al, 2015. Critical and precious materials consumption and requirement in wind energy system in the EU 27. *Applied Energy* 139:327–334

Davidsson & Höök, 2017. Material requirements and availability for multi-terawatt deployment of photovoltaics. *Energy Policy*, 108(9), 574–582



Förekomster i jordskorpan





Sammanflätade materialflöden

- Utvinning av många metaller blir sammanlänkade processer på grund av de polymetalliska malmerna
 - Malmer består av flera grundämnen vanligtvis samförekommande med oxider, sulfider eller silikater
 - Spårmängder av andra ämnen kan också förekomma
- Järn, aluminium, koppar, bly, etc. (basmalmer)
 - Bryts direkt och används för nästan allt
- Andra ämnen (volfram, litium, indium, REEs, etc.)
 - Ofta oersättliga delar i grön eller kolsnål energiteknik så som batterier, LED-lampor, elmotorer, etc.
 - Förekommer generellt som biprodukter från hanteringen av basmalmer



Kriticitet hos material

- Studier av 'kritiska material' är en växande del av materialflödesanalysen
 - Kriticitet fångar både risker i tillgången samt sårbarheten för störningar i tillgången för ett system
- The term '*criticality*' could also be seen as an assessment of risks connected to a wide array of factors such as geological occurrences, geographical concentration of deposits or production facilities, market and regulatory structures, social issues, geopolitics, environmental aspects, recycling potential, and sustainability over the full life cycle of a certain material
- SGU talar om 'innovationskritiska' material

Metall	Användningsområde
Antimon	Blybatterier
Beryllium	Kärnteknik
Gallium	LED-Belysning, Elektronik, Solceller
Germanium	Solceller
Indium	Kärnteknik, tunnfilmssolceller
Kobolt	Batterier, magneter, katalysatorer
Litium	Batteriteknik, kylteknik
PlatinaGruppMetaller (PGM)	Bränslecellsteknik
Sällsynta jordartsmetaller (REE)	Generatorer, elmotor, batterier, belysning, etc.
Renium	Katalysatorer
Selen	Solceller
Tantal / Niob	Legeringar, filament
Tellur	Högpresterande solceller

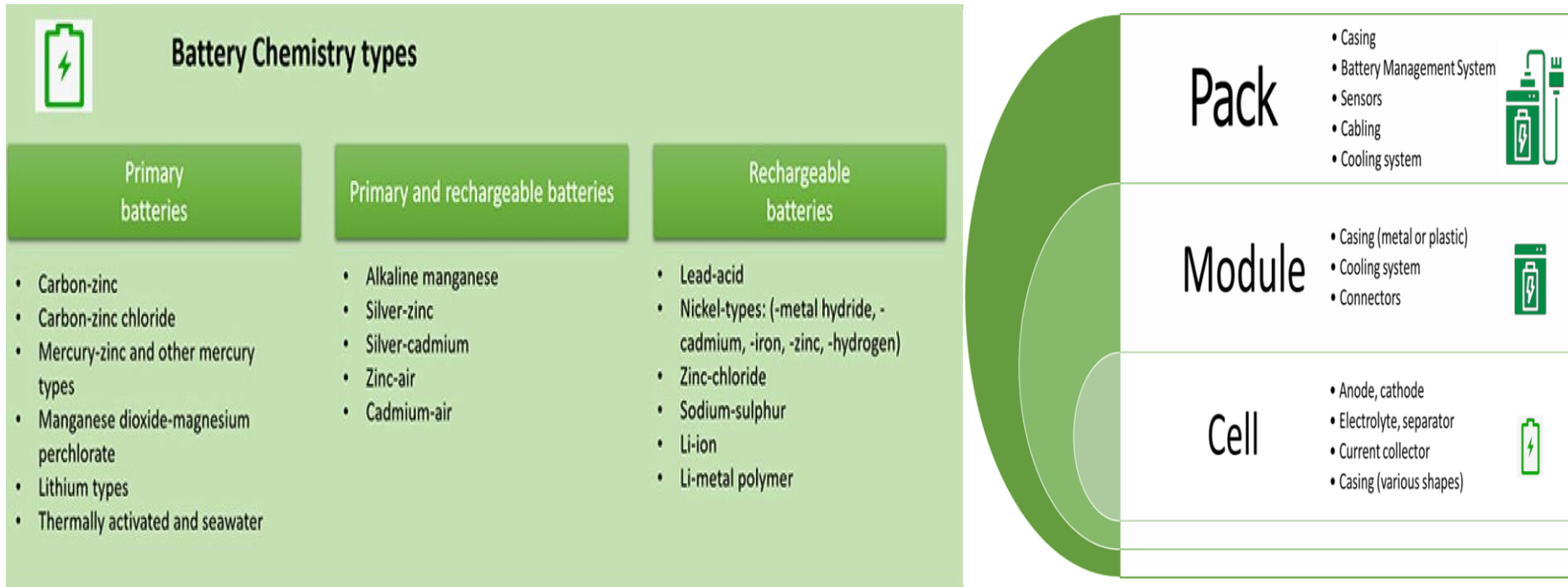
Källa: Erdmann & Graedel, 2011. Criticality of non-fuel minerals: a review of major approaches and analyses. *Environmental Science and Technology*, 45:7620–7630

Achzet & Helbig, 2013. How to evaluate raw material supply risks—an overview. *Resources Policy*, 38(4):435–447

Graedel & Nuss, 2014. Employing considerations of criticality in product design. *JOM*, 66(11):2360–2366



Batterier



Sources: Blagoeva et al., 2019b; Crompton, 2000

- Batterier består av elektrokemiska celler som lagrar elektricitet
- Primära (engångs) batterier kasseras efter användning då elektrodmaterialen genomgår irreversibla förändringar vid användning
- Återladdningsbara batterier kan laddas upp igen och användas många gånger då de innehåller en kemisk spänningskälla som går att återställa



Olika typer av litiumbatterier

Batterityp	Energidensitet	Användningsområde
Litium-Kobolt-Oxid (LiCoO_2)	150-240 Wh/kg	Mobiltelefoner, laptops, kameror
Litium-Mangan-Oxid (LiMn_2O_4)	100-150 Wh/kg	Verktyg, medicinska apparater, elfordon
Litium-NMC (LiNiMnCoO_2)	90-120 Wh/kg	Elcyklar, elfordon, industri, etc.
Litium-Järn-Fosfat (LiFePO_4)	90-120 Wh/kg	Portabla och stationära behov av hög ström
Litium-NCA (LiNiCoAlO_2)	200-260 Wh/kg; förväntas Upp mot 300 Wh/kg	Elfordon (Tesla), medicinska apparater, etc.
Litium-Titan-Oxid (LTO) ($\text{LiTi}_5\text{O}_{12}$)	70-80 Wh/kg	UPS, elfordon (Mitsubishi i- MiEV, Honda Fit EV), etc.



Energi-Mineral Nexus

- Snabba omställningar i linje med 2-gradersmålen förlitar sig på snabb utbyggnad av gröna eller kolsnåla tekniker med associerade försörjningskedjor
- Konstruktionen av nya energisystem kräver ökade och stundtals nya materialflöden som måste sammankopplas med materalsektorn
- Världens koncentration av gruvbrytning till ett fåtal regioner kan bli problematiskt
 - Latinamerika och Afrika förväntas bli allt viktigare källor till framtidens ökade metallbehov

Sources: Tokimatsu et al 2017. Energy modeling approach to the global energy-mineral nexus: A first look at metal requirements and the 2C target. *Applied Energy* 207: 494–509

Kleijn et al 2011. Metal requirements of low-carbon power generation. *Energy* 36:5640–5648

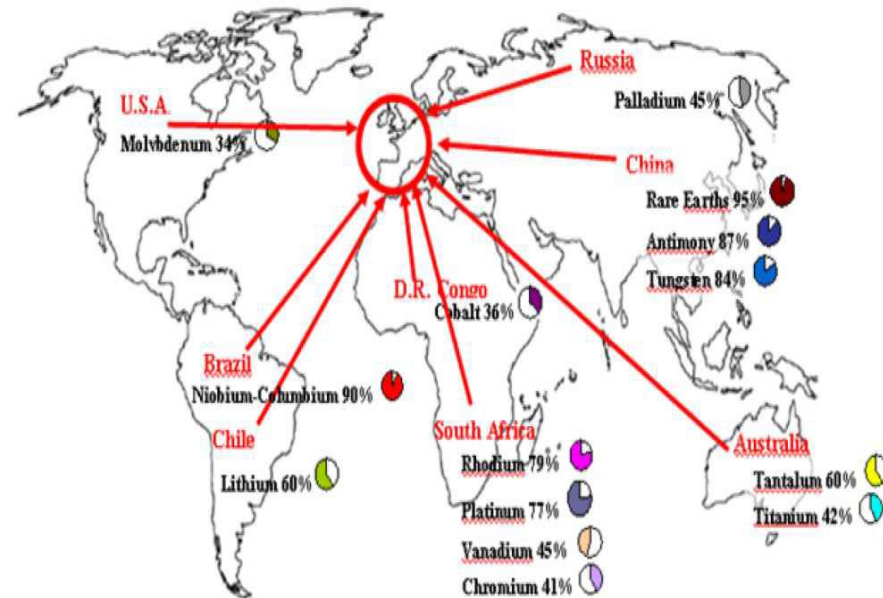
Elshkaki & Graedel 2013. Dynamic analysis of the global metals flows & stocks in electricity generation technologies. *Journal of Cleaner Production* 59:260–73

Grandell et al 2016. Role of critical metals in the future markets of clean energy technologies. *Renewable Energy* 95:53-62



Kritiska metaller

- EU:s har publicerat en rad listor över viktiga metaller
 - **First list of CRMs** – in 2011, a list of 14 CRMs was published in the communication on raw materials.
 - **Second list of CRMs** – in 2014, a first revised list of 20 CRMs was published
 - **Third list of CRMs** – in 2017, a third list of 27 CRMs was published in the communication on the list of critical raw materials 2017, based on a refined methodology.
- Våldigt lite produceras inom EU och nästan allt importerar hit från utland



Data source: World Mining Data (2008) **=USGS (2008)
The figures and pie graphs indicate the proportion of world production



Komplexa materialflöden

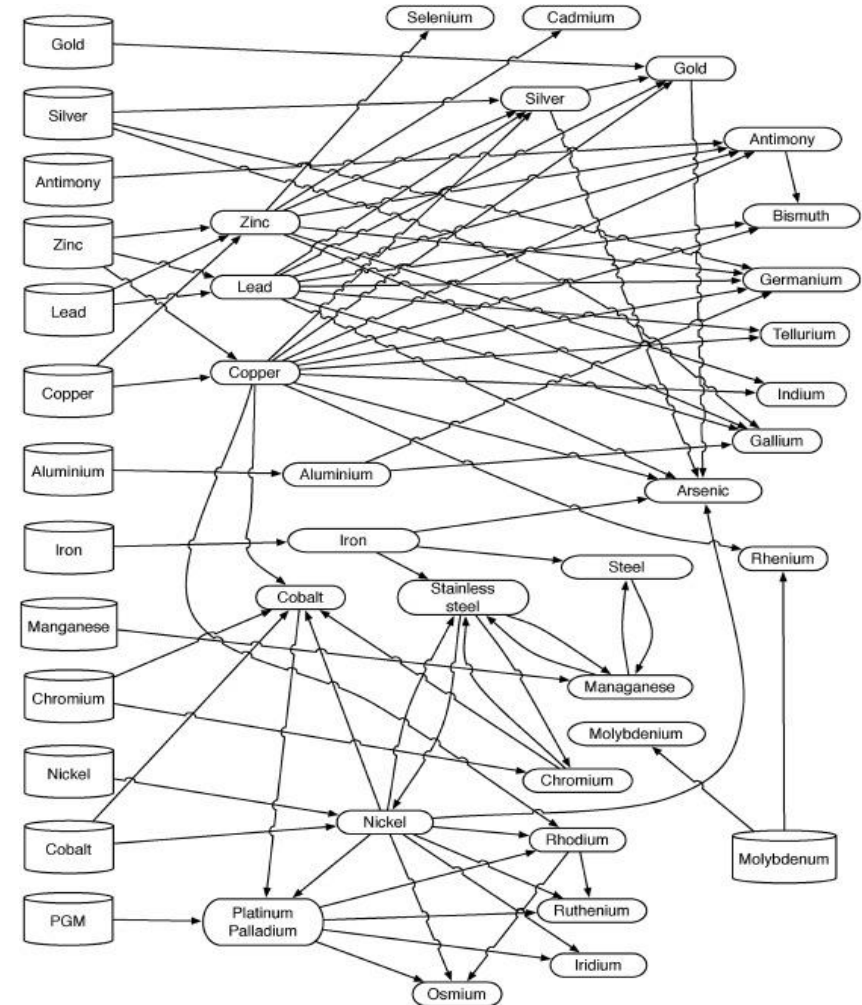
- Production dominance is also in *patents* and *technical know-how* in addition to mining the available reserves
 - Many countries are sending raw materials to China for refining and purification for industry needs
 - Export quotas and other political impacts are also important to consider

Russia could stop exporting titanium to Boeing in retaliation to Trump sanctions

- Russia may impose sanctions of its own on U.S firms and people.
- Boeing could suffer as a big buyer of Russian-produced titanium.
- Shares in the U.S. manufacturer fall in early trading.

David Reid | @cnbcdavy

Published 10:08 AM ET Fri, 13 April 2018 | Updated 11:26 AM ET Fri, 13 April 2018

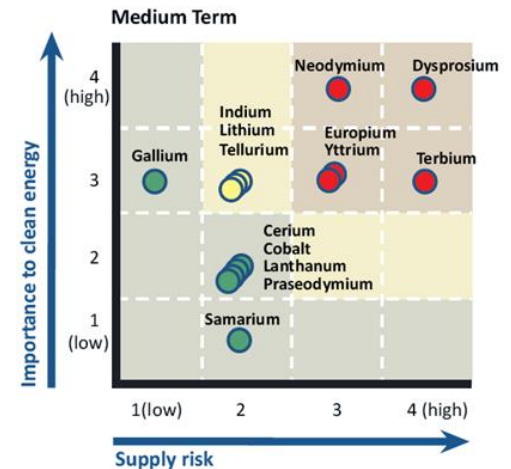
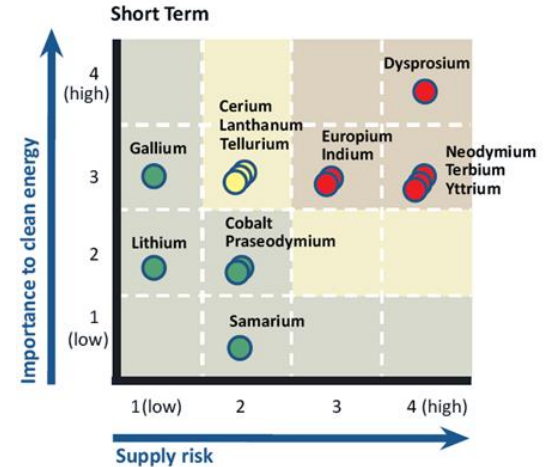
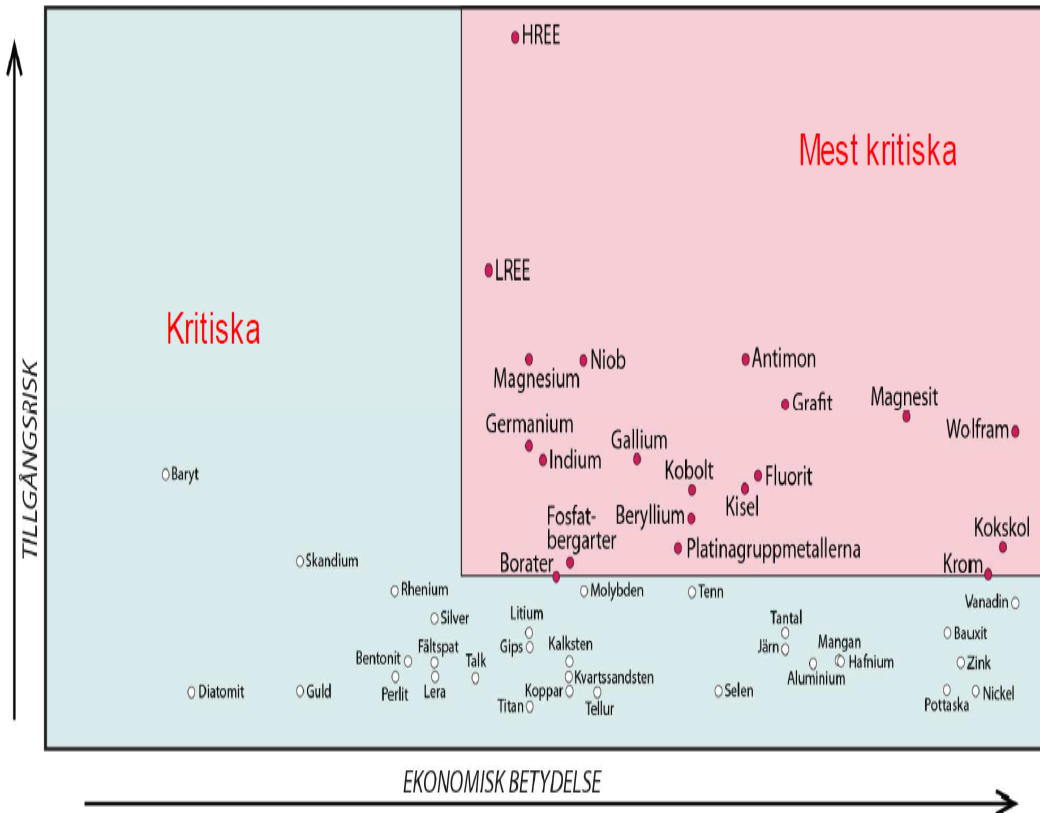


Source: Svedrup et al (2017) An assessment of metal supply sustainability as an input to policy: security of supply extraction rates, stocks-in-use, recycling, and risk of scarcity. *Journal of Cleaner Production*, 140: 359-372.



Risk och betydelse

Relationen mellan ekonomisk betydelse och tillgångsrisik för de mest kritiska metallerna och mineralen/geologiska materialen i ett EU-perspektiv



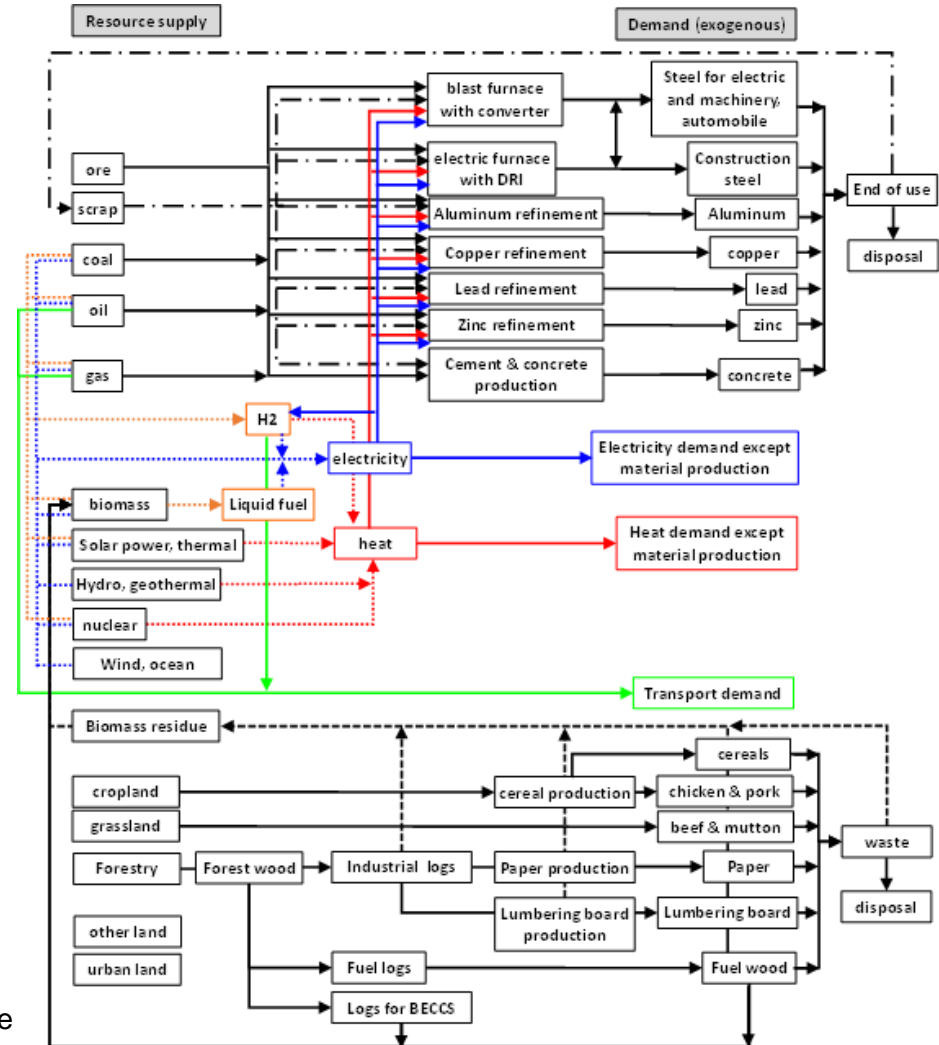
Källor: Jonsson et al (2015) modifierad från Critical raw materials for the EU, report by the Ad-Hoc Working Group on defining critical raw materials, maj 2014

Davidsson et al. (2012) A review of life cycle assessments on wind energy systems. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(6):729-742



Energi-Mineral nexus modell

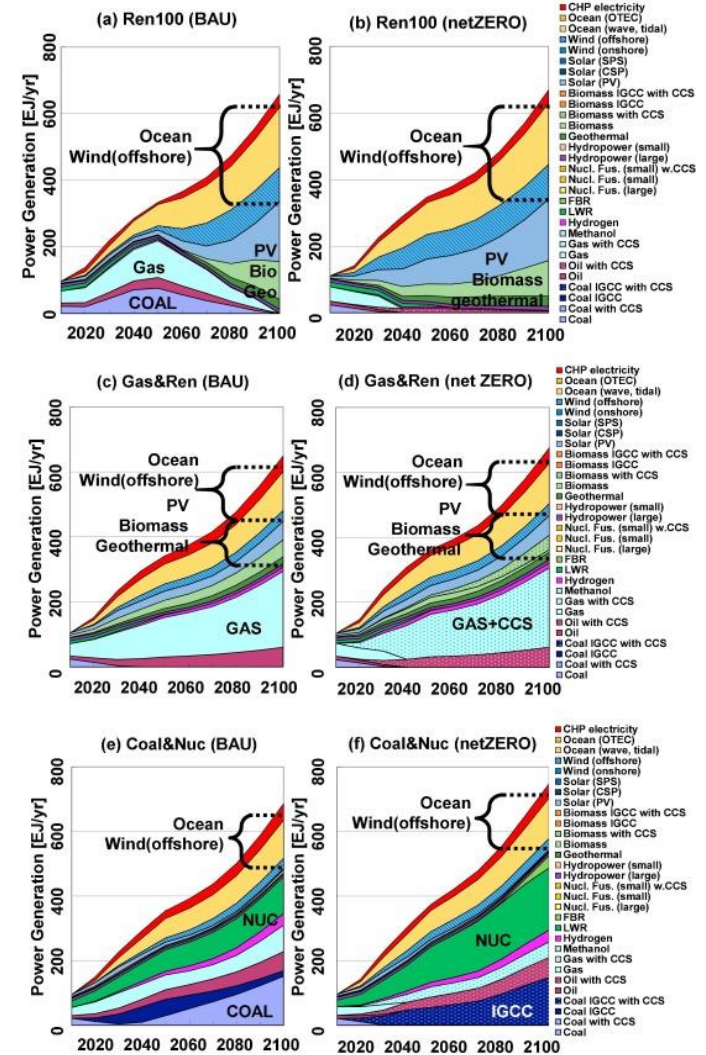
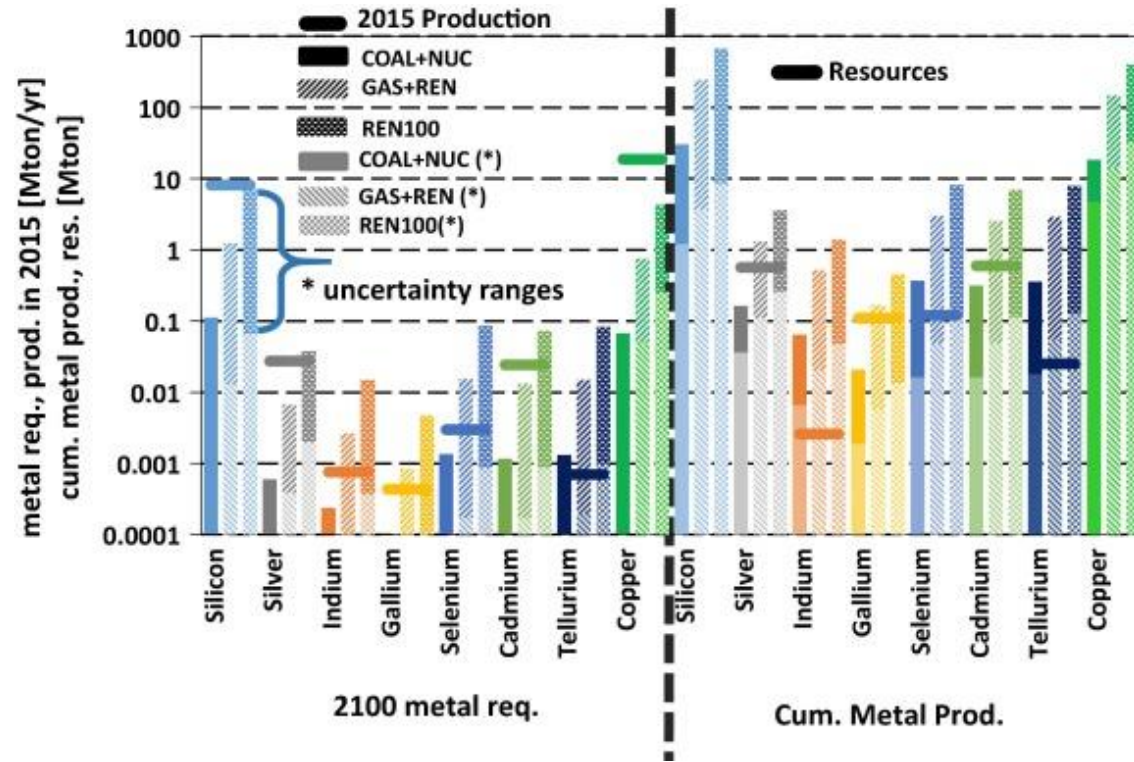
- Optimeringsmodell som sammanlänkar energi- och mineralsektorerna
- Utvecklad för att hitta kostnadseffektiva energiomställningar förenliga med 2-gradersmålen
- Samarbete mellan UU och Tokyo Tech





Explorativa scenarier visar på flaskhalsar för snabba skiften

Flera möjliga utfall begränsas av
tillgängliga resurser



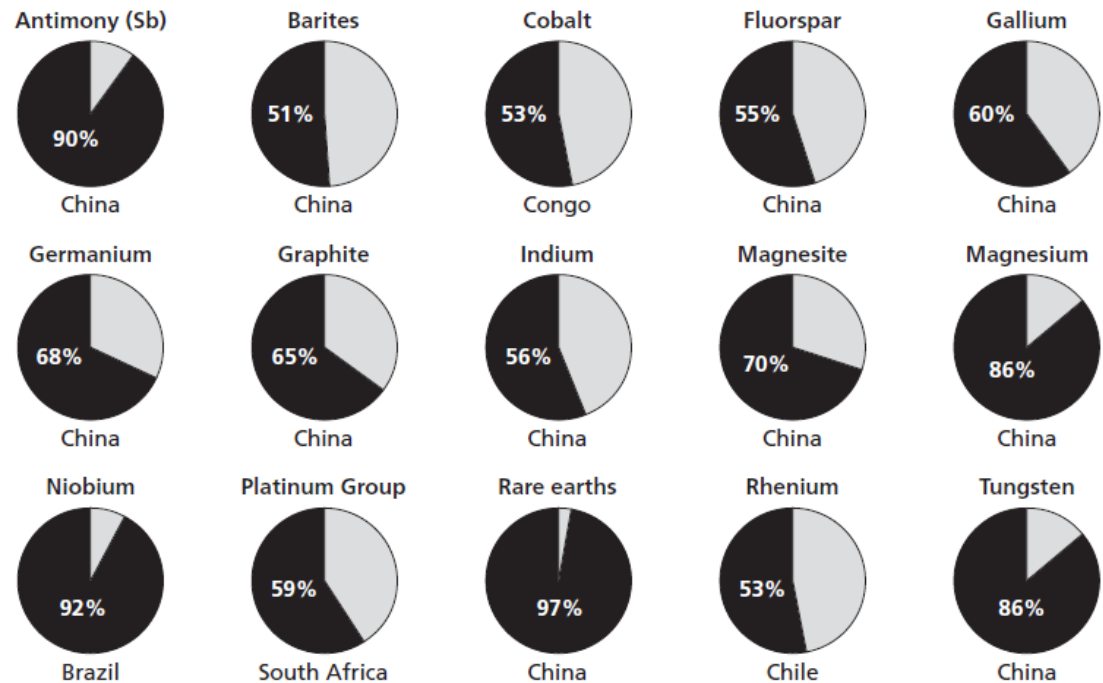
Källa: Tokimatsu & Höök, et al. (2018). Energy modeling approach to the global energy-mineral nexus: Exploring metal requirements and the well-below 2 ° C target with 100 percent renewable energy. *Applied Energy*, 225(9):1158–1175.



Marknadsdominans

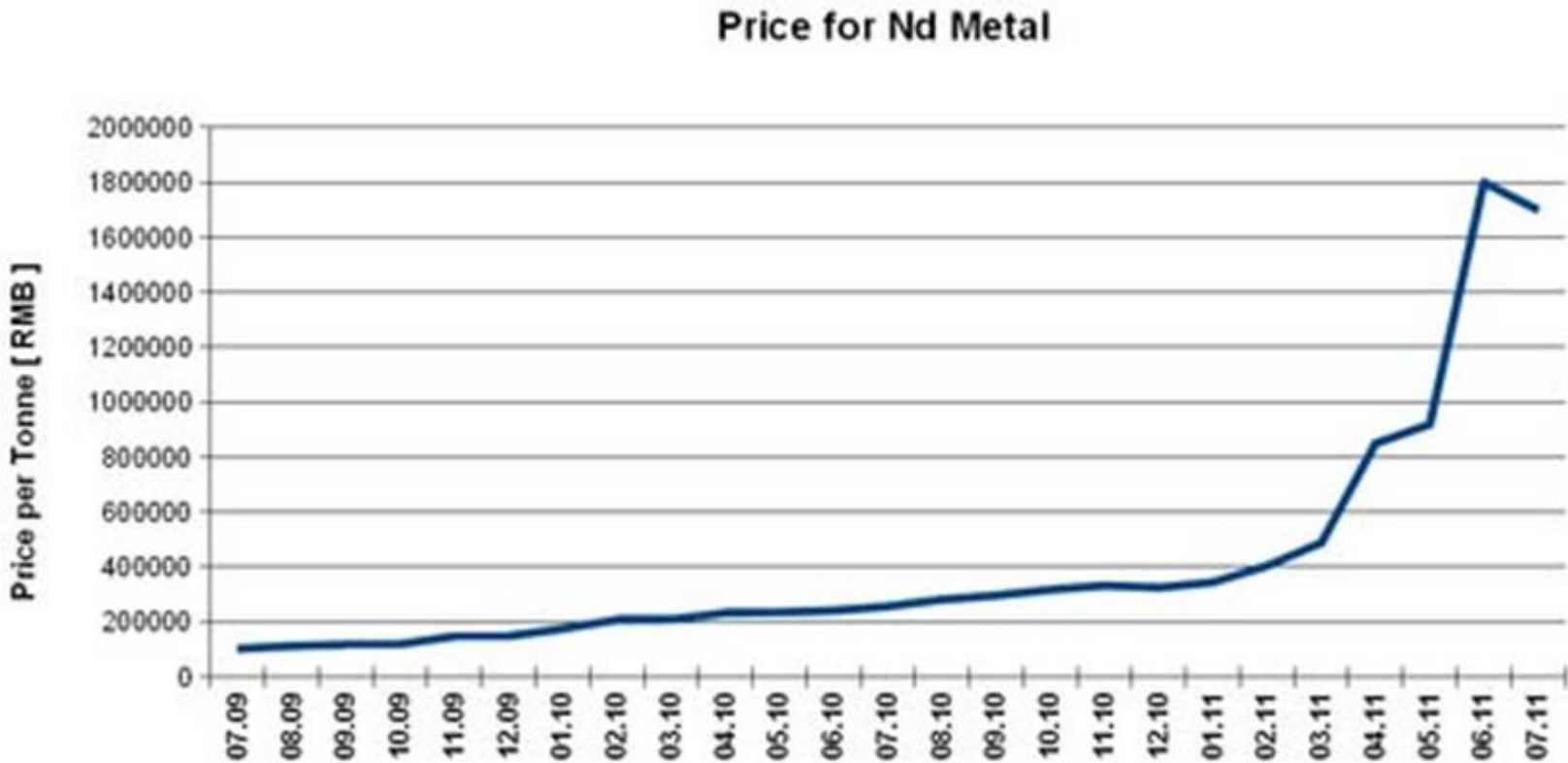
- Många kritiska material domineras stort av en eller ett fåtal producenter med stor påverkan på världsmarknadens dynamik
- I den globaliserade ekonomin knyts direkta och indirekta flöden samman via internationell handel
- Detta leder till import- och exportberoenden som spänner över flera ekonomier och skapar komplexa utmaningar

Figure S.1
Percentage of Global Production (Mining) of Key Materials Within a Single Country





REE-panik runt 2011

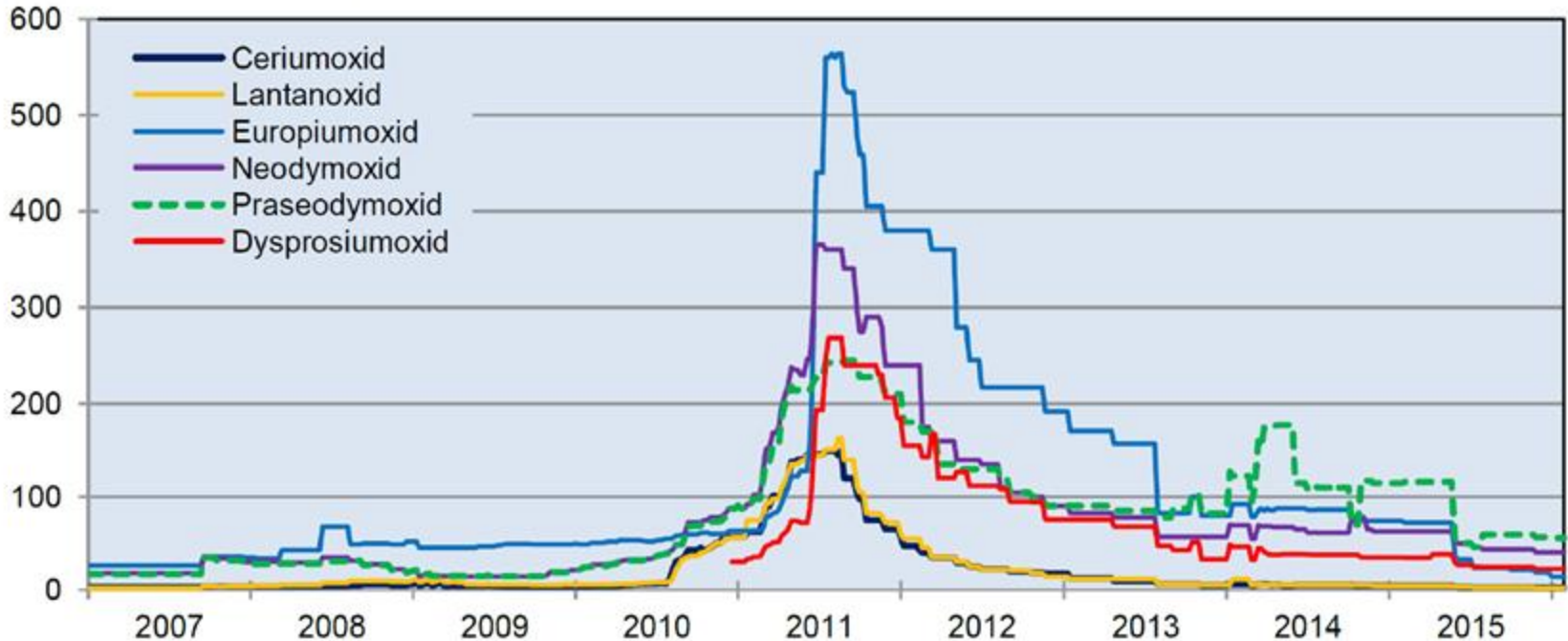


År 2011 ökade Kinesiska staten exporttullar på Nd från 300 kkr till 600 kkr per ton och minskar volymen som får gå på export



Panik och återhämtning

USD/kg (Källa: Industrial Minerals)



Priser har globalt återhämtat sig efter en tidigare topp

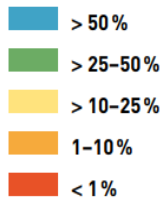
Avmattning på grund av ökad produktion utanför Kina samt flera initiativ att minska Kinas dominans



Win-återvinn?

End-Of-Life Recycling Rates

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
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
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
55 Cs	56 Ba	*	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
87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Sg	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uug	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo



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	71 Lu
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	103 Lr

- Ongoing research and development for recycling, but it is challenging
 - REE, Li and other materials are often used in low concentration, making recycling challenging or even impractical
 - All REEs have similar chemical properties, making separation chemically challenging
 - Usually expensive compared to virgin material – economics matter!!!
- Significant lack of large scale recycling systems and regulations
 - It will take decades to build up a significant recycling industry with any major impact
- **Recycling should not be confused with circular economy or sustainability!**
 - It is relevant for CE and S, but not a guarantee
 - some authors misleadingly equate CE with just recycling (Kirchherr et al, 2017)

Source: United Nations Environment Programme – *Recycling Rates of Metals: a status report*

Kirchherr et al. (2017) Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation, and Recycling*, 127:221-232.



UPPSALA
UNIVERSITET

Även kolsnål energi har etiska problem

Amnesty warns on use of child labour in cobalt mining

Companies 'not doing enough' to ensure ethical supply of metal used in batteries



A woman and child break rocks extracted from a cobalt mine in Lubumbashi in the Democratic Republic of Congo © AFP

Henry Sanderson and Chloe Cornish NOVEMBER 15, 2017



Workshop – Blood Batteries: The dark side of renewable energy

A STAKEHOLDER CONFERENCE ARRANGED BY LUND UNIVERSITY AND RAOUL WALLENBERG INSTITUTE



Deep sea mining could help develop mass solar energy – is it worth the risk?

April 24, 2017 2:48pm BST

Sources: Amnesty International (2016) *“This is what we die for”*: Human rights abuses in the Democratic Republic of the Congo power the global trade in cobalt. Amnesty Report Index number: AFR 62/3183/2016

U.S. Fish and Wildlife Service (2014) Avian mortality at solar energy facilities in Southern California: a preliminary analysis

Reilly (2016) *The Human Cost of the Lithium Battery Revolution*. MIT Technology Review, 3 October 2016

Kesselring (2017) The electricity crisis in Zambia: Blackouts and social stratification in new mining towns. *Energy Research & Social Science*, 30:94-102 .



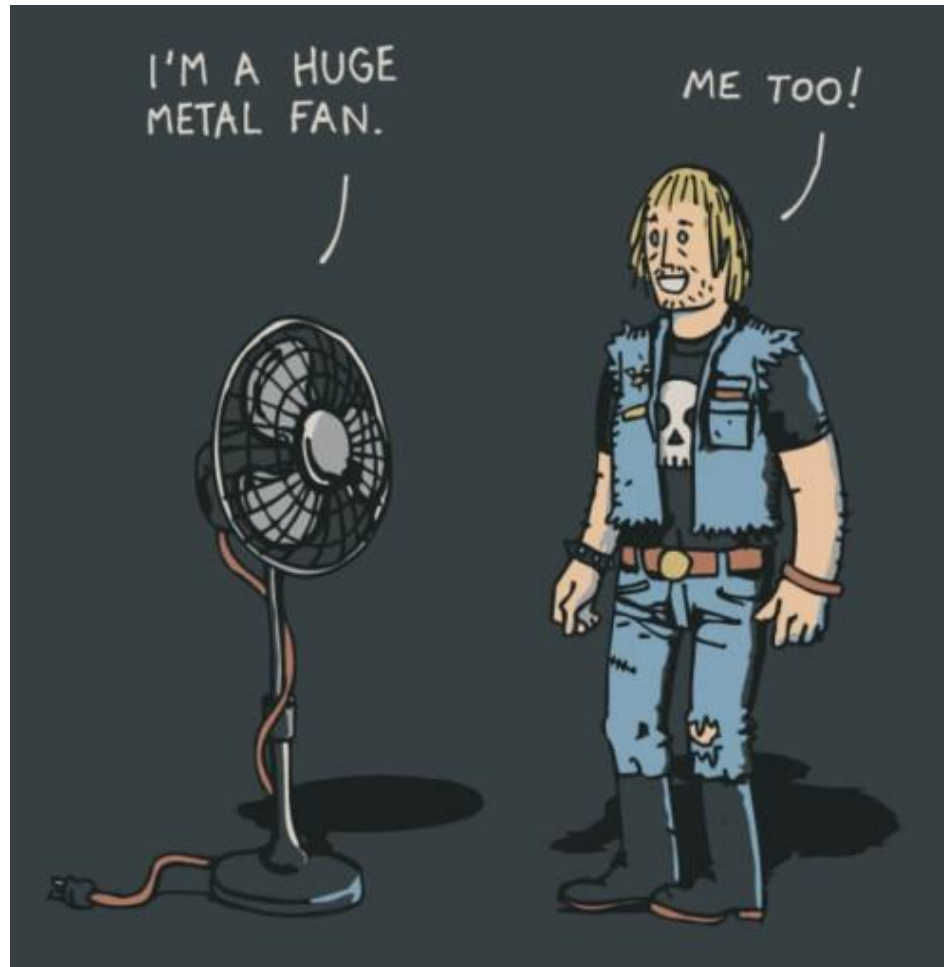
Sammanfattning

- Materialfrågan är viktig för ett helhetsperspektiv på hållbarheten i många föreslagna lösningar
- Hur fossilfritt blir egentligen en svensk fordonsflotta byggd av kinesiska råvaror som producerats med kol och miljöförstörande gruvor?
- Viktigt att tänka på hela livscykeln och även se till ekonomiska, miljömässiga och sociala konsekvenser utanför Sverige



UPPSALA
UNIVERSITET

Tack för uppmärksamheten!



Läs mer om min forskning här:

<http://www.geo.uu.se>