

Hållbara Energi och Transportsystem – Sol & Vind

27 april 2017

Liv Lundberg
(livl@chalmers.se)
Fysisk Resursteori
Energi och Miljö, Chalmers

Energisystemet står inför 3 stora utmaningar



- Utvecklingsutmaningen
 - 2,7 Mdr människor är fortfarande beroende av traditionell bioenergi 2014

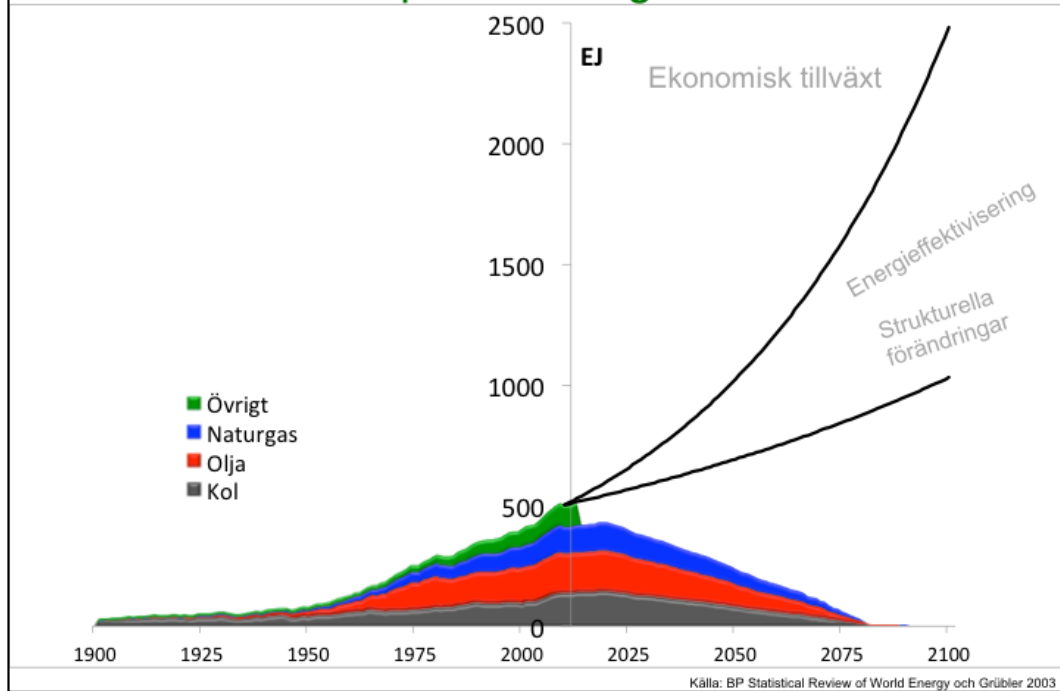


- Resurs- & säkerhetsutmaningen
 - Ställa om från ändliga till förnybara energikällor, samt minska beroendet av energiimport



- Miljöutmaningen
 - Minska miljöpåverkan av energianvändning, framförallt klimatpåverkan

Global primärenergitillförsel



Vad kan vi fylla gapet med?



Kommer ni ihåg – Vindkraft

- Stor potential
- Intermittent
- Kräver stora areor – ändrar landskapsbilden
 - Arean kan dock användas till annat också
- NIMBY – Not In my Back Yard
- Snabbt växande
- ”Billigt”

Sol



Tekniker

- Solfångare
- Termiska solkraftverk
- Solceller
 - Kristallina kiselceller
 - Amorfa kiselceller
 - Tunnfilmceller

Solfångare

- Genererar lågtemperaturvärme
- För hushållsbehov
- Växer snabbt i stora delar av världen
- Låg kapitalkostnad

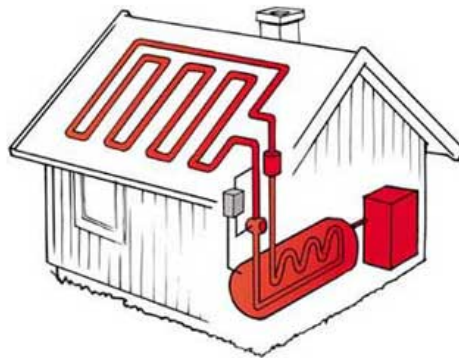


Bild: www.trataljabygg.se/custom/solsystem.jpg

Heliostater – Koncentrerad solenergi

- Koncentrerar solljus med speglar
- Kräver direkt solljus
- Ånga driver en turbin
- Kan producera vätgas



- Värme kan lagras i olja eller salter – löser intermittensproblemet
- Låg produktionskostnad

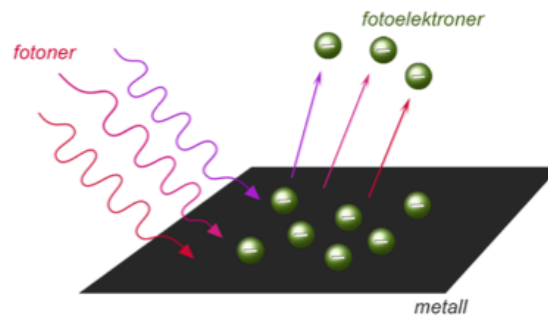
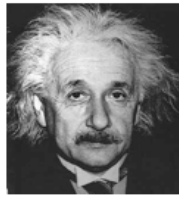
As of March 2012, there were 1.9 GW of CSP installed, jämför med ca 150GW PV

Solceller

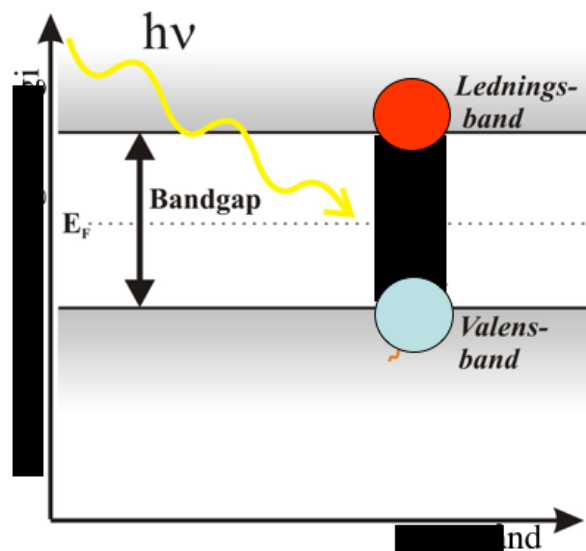


Fotoelektriska effekten

- Upptäckt av Becquerel (1839)
- Förklarad av Einstein 1905
- Nobelpris 1921



Solceller består av halvledare (oftast kisel)
En halvledare har precis lagom stort bandgap så att energin i en solstråle
kan lyfta elektronen.



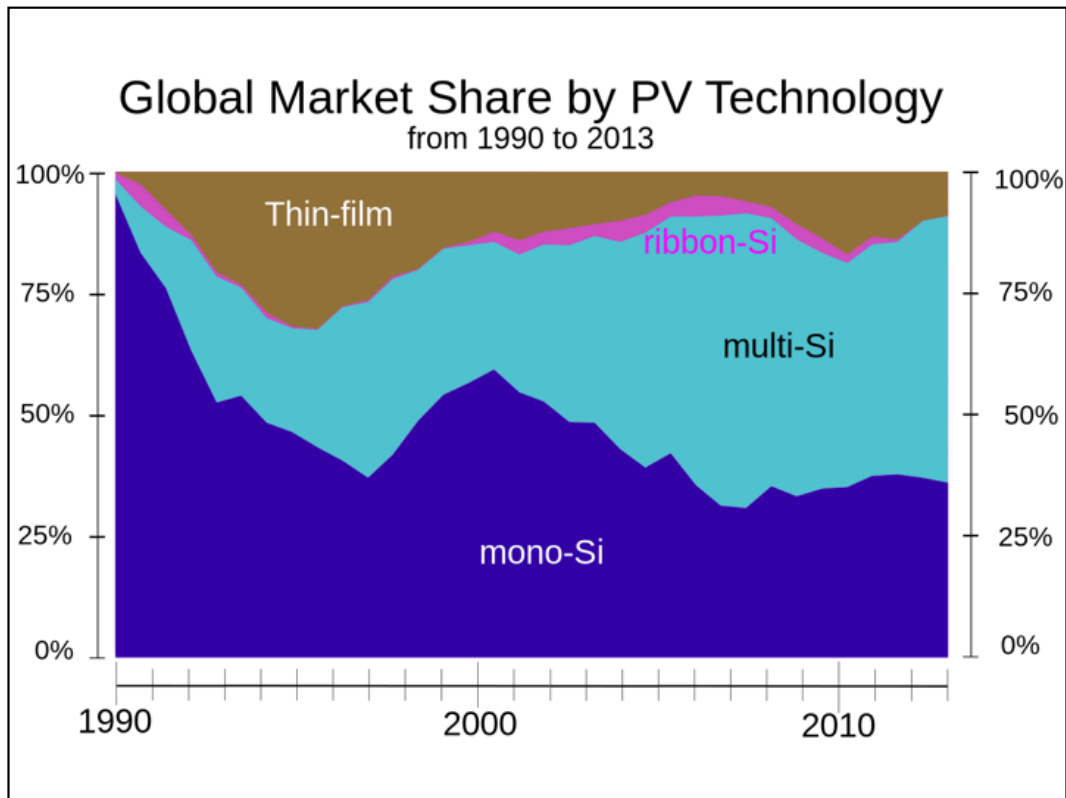
Solceller – Kisel

- Kristallint kisel
 - Hög verkningsgrad (15 – 25%)
 - Dyr produktion
 - Samma typ material som används för t.ex. processorer
- Amorft kisel
 - Lägre verkningsgrad (ca 6 %)
 - Billigare produktion
 - Mindre mängd kisel

Kisel utgör 25,7% av jordskorpan

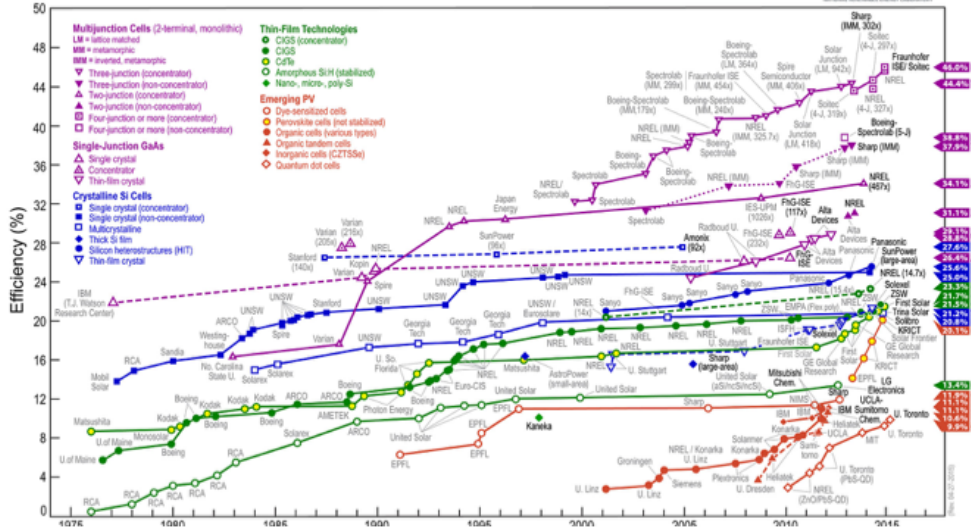
Solceller – Tunnfilmsteknik

- Ca 10% verkningsgrad
- Tunna, böjbara
- Resursbegränsningar
- Använder sällsynta och giftiga metaller
 - Tex indium, tellur och kadmium



Effekt

Best Research-Cell Efficiencies



“Energiåterbetalning”

2008: ca 1-4 år. Livslängd på panelerna: 20-30 år.

Energisystemets 3 stora utmaningar



- Utvecklingsutmaningen
 - 2,4 Mdr människor är fortfarande beroende av traditionell bioenergi



- Resurs- & säkerhetsutmaningen
 - Ställa om från ändliga till förnybara energikällor, samt minska beroendet av energiimport



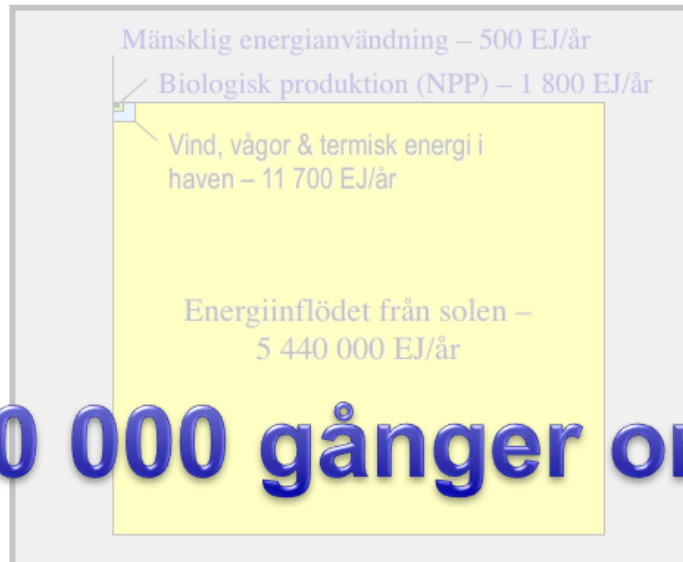
- Miljöutmaningen
 - Minska miljöpåverkan av energianvändning, framförallt klimatpåverkan



Sol (och vind)

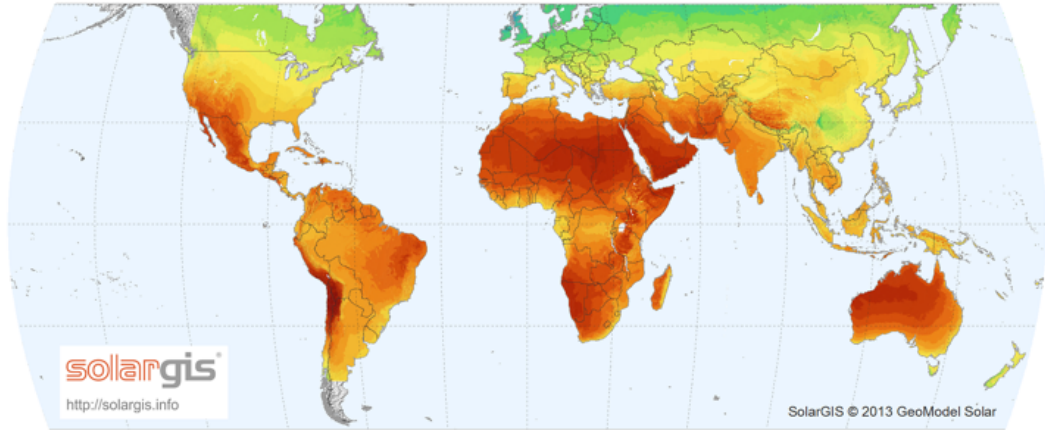
- Modulärt
- Kan byggas fristående
- Kostnadseffektivt där det inte finns elnät utbyggt

Räcker den förnyelsebara energin?



WORLD MAP OF GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

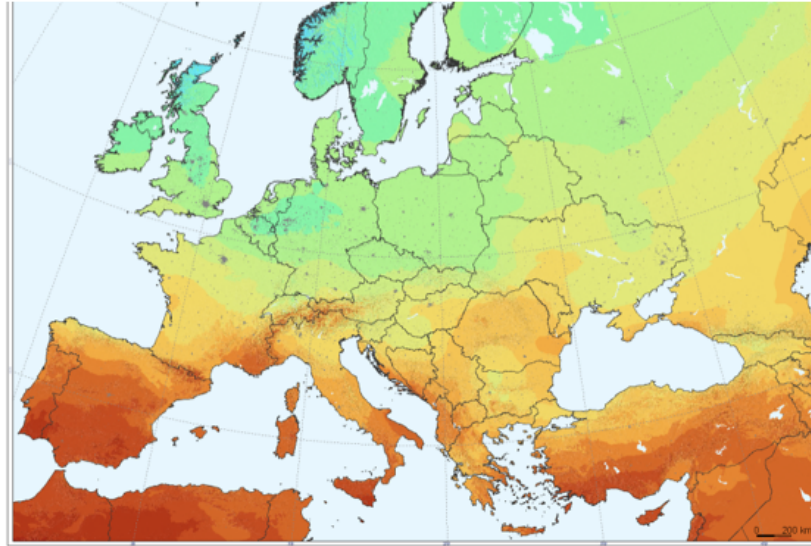
GeoModel
SOLAR



Long-term average of: Annual sum < 700 900 1100 1300 1500 1700 1900 2100 2300 2500 2700 >
Daily sum < 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 > kWh/m²

Source: <http://solargis.info/>

Solinstrålning, Runt 1000 kWh/m² i södra Sverig



Yearly sum of global irradiation incident on optimally-inclined south-oriented photovoltaic modules
Global irradiation [kWh/m²]
-600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000 2200>
Yearly sum of solar electricity generated by 1 kWp system with optimally-inclined modules and performance ratio 0.75
Solar electricity [kWh/kWp]

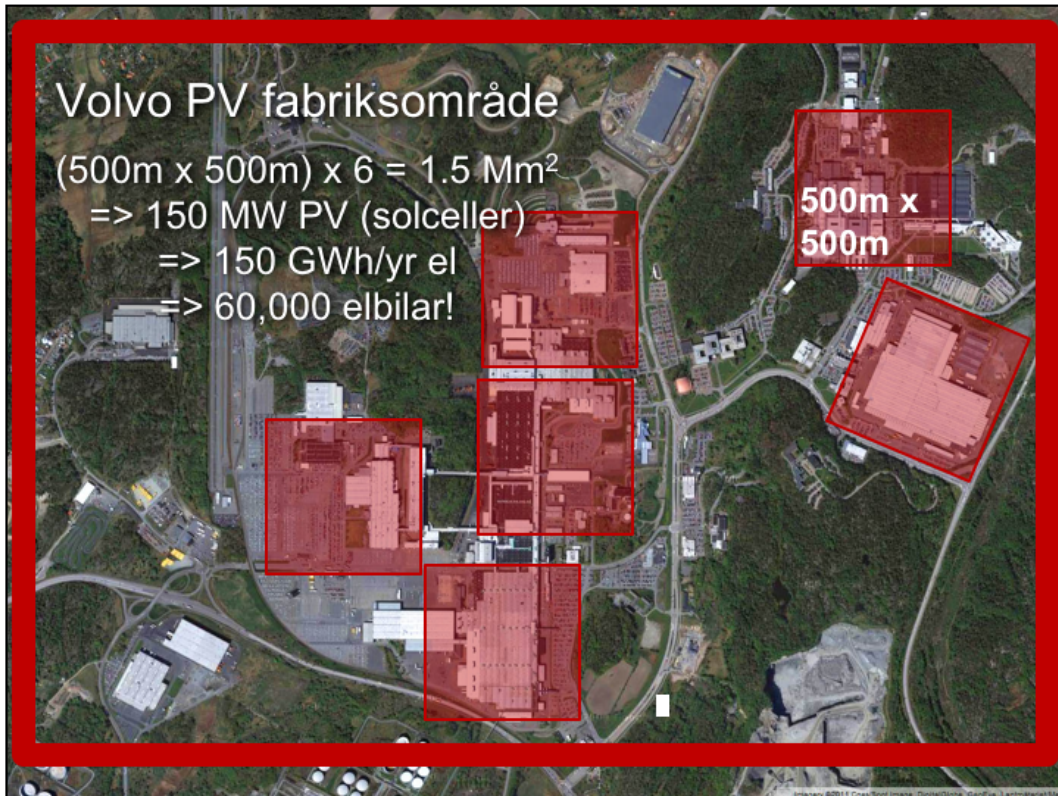
Solcellspaneler
15 % sol till el, täcker 90 % av marken



each small square is ~70m wide

2 GW park planned for Ordos City (550 km from Beijing) using CdTe modules, finished in 2019



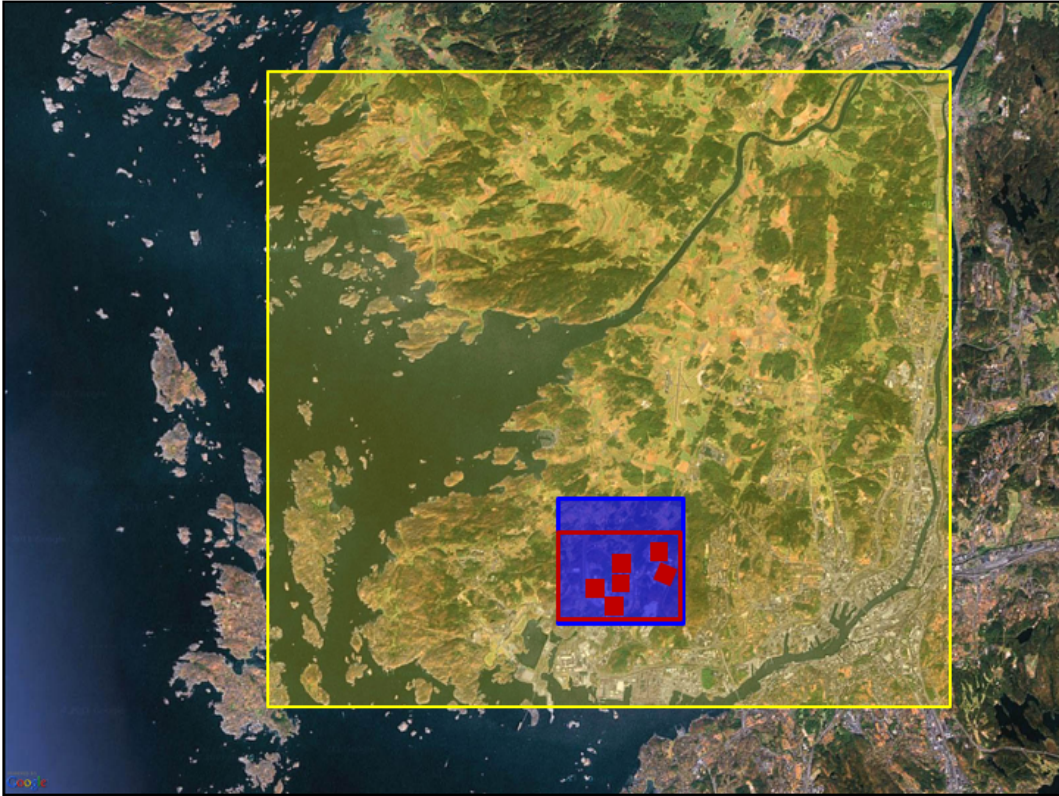


Electric car 4 times more efficient: $0.6 \text{ MJ/km} * 15000\text{km/car} * 60000 \text{ cars} = 0.54 \text{ PJ} = 0.15 \text{ TWh}$

Assume 10% efficiency, CF = 0.115, $(500*500*6) \text{ m}^2 = 1.5 \text{ Mm}^2$

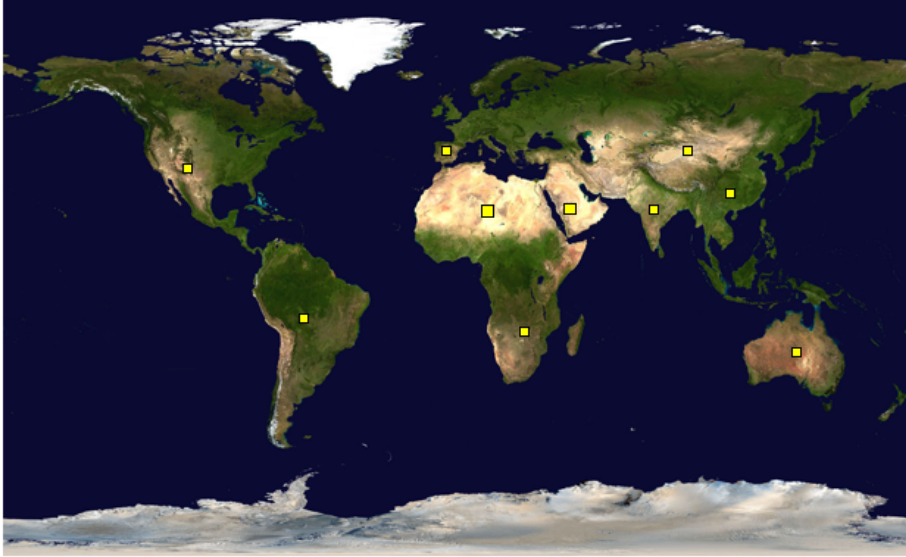
=> $100 \text{ Wp/m}^2 * 1.5 \text{ Mm}^2 = 150 \text{ MW}$

=> 100 MW



Kvalitativ skillnad?

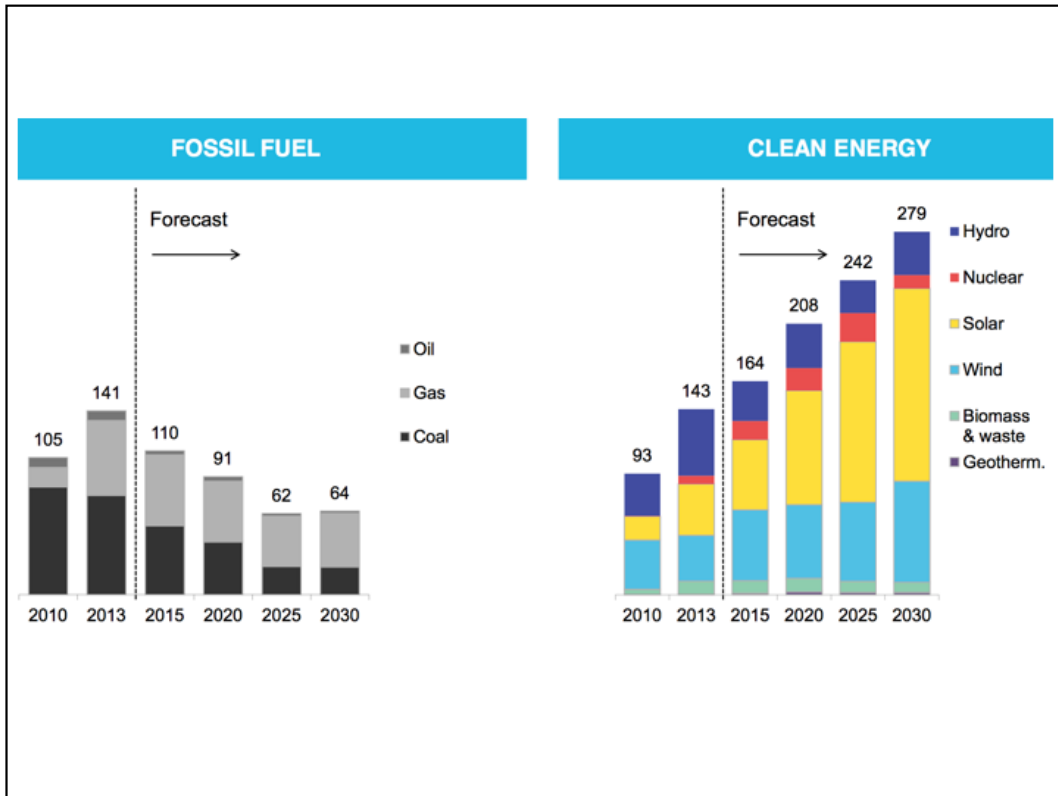
Solcellspanelareal för att tillgodose världens energibehov



Fossil Fuels Just Lost the Race Against Renewables

This is the beginning of the end.

2015-04-14

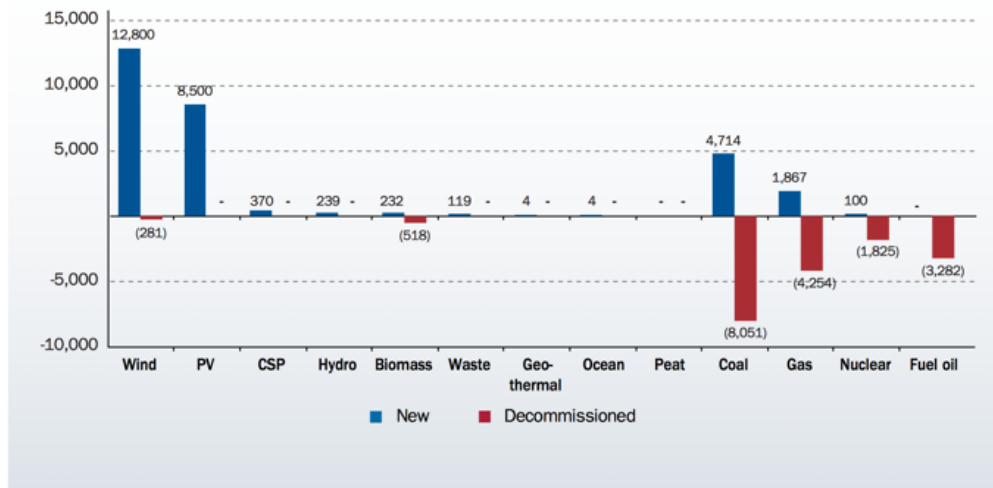


Power generation capacity additions (GW)

Bloomberg New Energy Finance

<http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-04-14/fossil-fuels-just-lost-the-race-against-renewables>

FIGURE 3: NEW INSTALLED AND DECOMMISSIONED POWER CAPACITY IN EU (MW)



2015, I EU (inte hela världen)

Källa:

<http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA-Annual-Statistics-2015.pdf>

FIGURE 7: EU POWER MIX 2000 (MW)

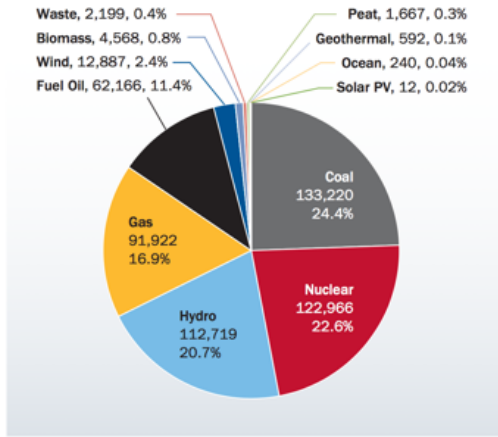
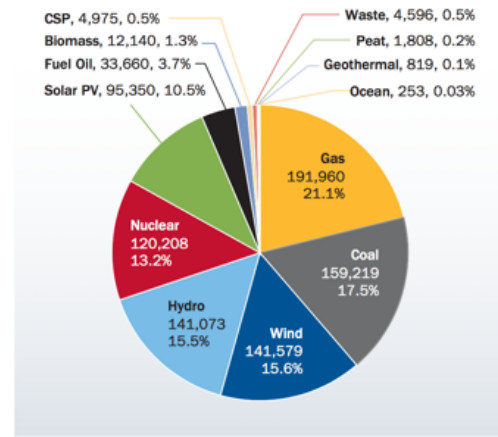
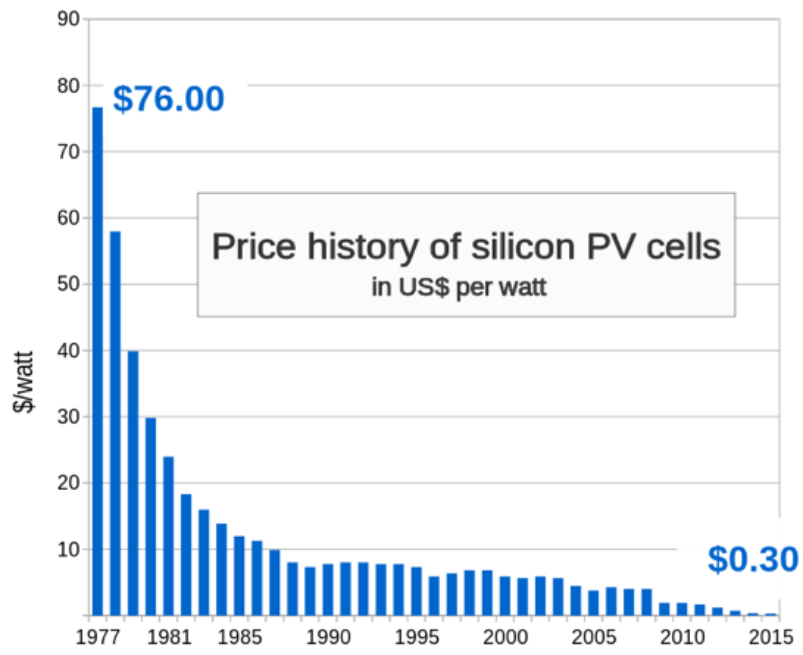


FIGURE 8: EU POWER MIX 2015 (MW)





Source: Bloomberg New Energy Finance & pv.energytrend.com



Energiewende

- Antogs 2011
- Minskade växthusgasutsläpp med 80-95% till 2050
- 60% av energi från förnyelsebar energi till 2050
- Ökad energieffektivitet med upp till 50% till 2050



greenhouse gas reductions: 80–95% reduction by 2050

renewable energy targets: 60% share by 2050 (renewables broadly defined as hydro, solar and wind power)

energy efficiency: electricity efficiency up by 50% by 2050

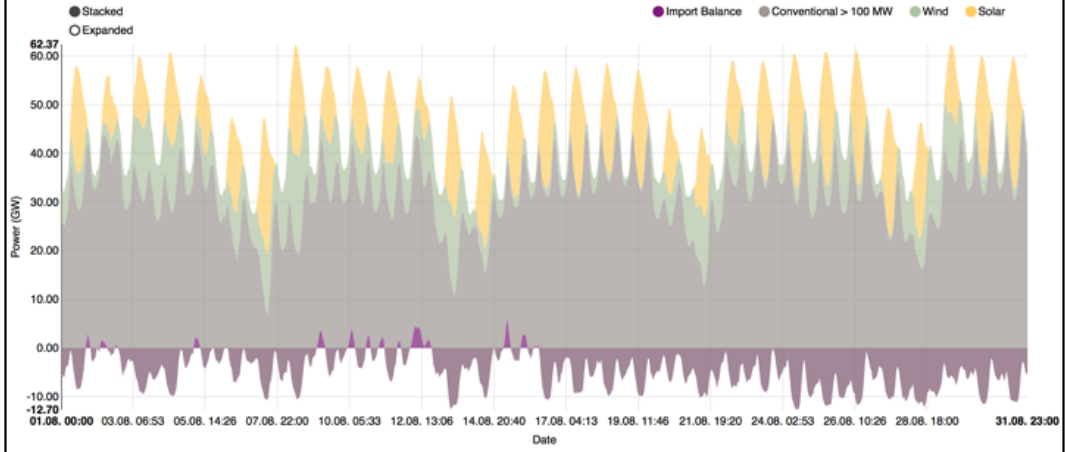
an associated [research and development drive](#)

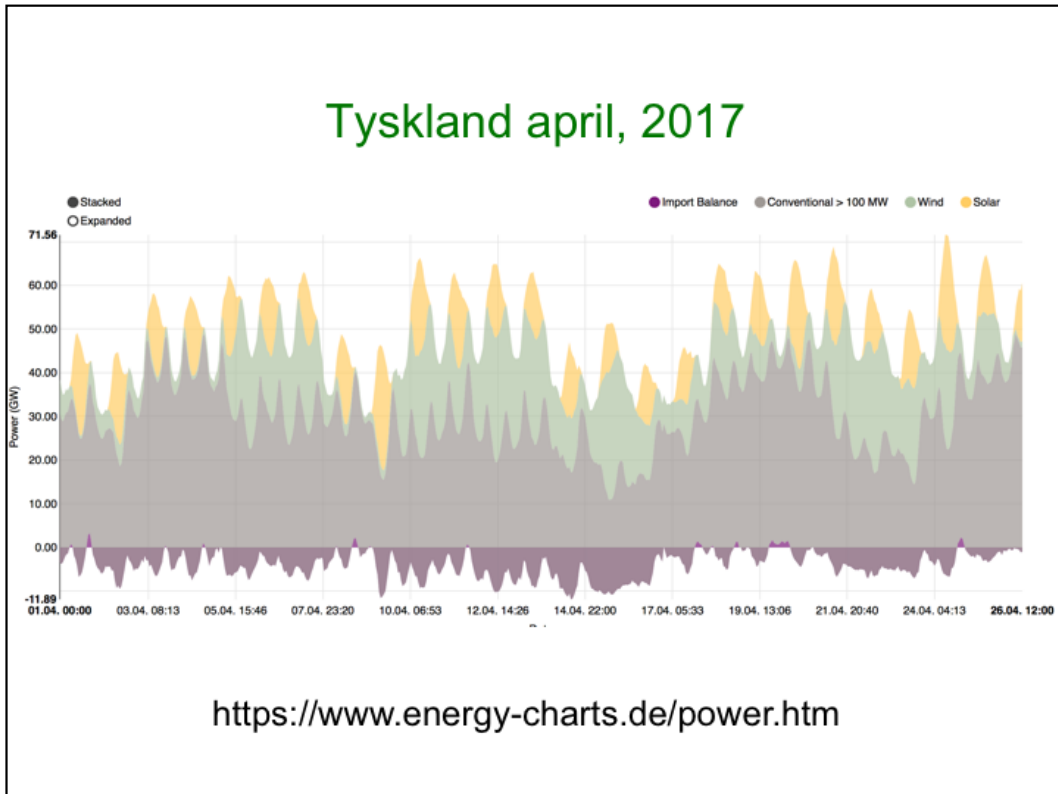
HERE COMES THE SUN

Germany gets 50 percent of its electricity from solar for the first time

June 20, 2014

Tyskland, augusti 2016





Tyskland: 80 miljoner invånare
Ca 530TWh/år

U.K. Just Went Without Coal Power for the First Time Since 1880s

by **Anna Hirtenstein** and **Andrew Reiersen**

April 21, 2017, 1:11 PM GMT+2 Updated on April 22, 2017, 1:09 AM GMT+2

“Friday 21st April 2017 was the first 24-hour period since the 1880s where Great Britain went without coal-fired power stations,” the National Grid control room said in a Twitter [post](#) confirming the achievement announced earlier.

The country is getting half of its electricity from gas power plants, 30 percent from renewables and interconnectors and the remainder from nuclear plants, according to Duncan Burt, head of operate the system at National Grid.

<https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-04-21/u-k-heads-for-first-coal-free-day-since-industrial-revolution>



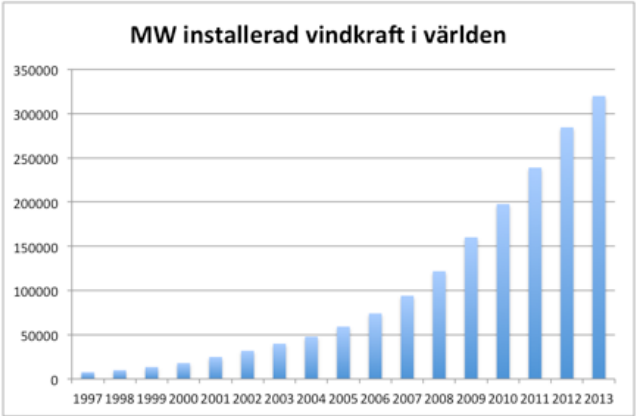
För första gången sedan industriella revolutionen har ett helt dygn förflutit i Storbritannien utan att kol använts för att generera elektricitet, rapporterar BBC. Det tidigare rekordet, 19 timmar, sattes i maj i fjol och upprepades i torsdags.

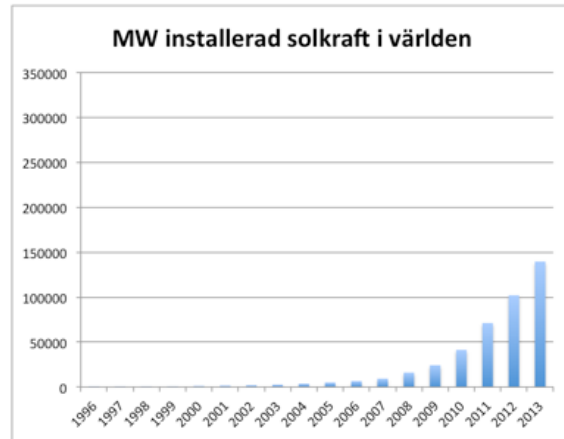
Indian Power Company To Replace Planned Coal-Based Power Plant With 200 MW Solar Power Plant

Another Low-Solar-Price Record: Saudi Electric Company Lands Solar PPA Under 5¢/kWh

Solar energy prices are continuing to fall rather rapidly around the world, but especially in the Middle East, as evidenced by a new deal that will see the Saudi Electric Company develop a 50 megawatt (MW) solar energy project that already has a power purchase agreement (PPA) secured for 0.1875 Riyals (\$0.049) per kilowatt-hour (kWh).

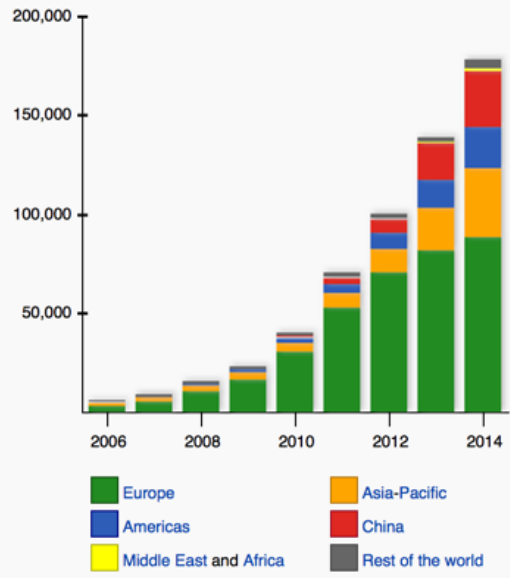
News of the completely unsubsidized project was first broken by the country's state news agency.



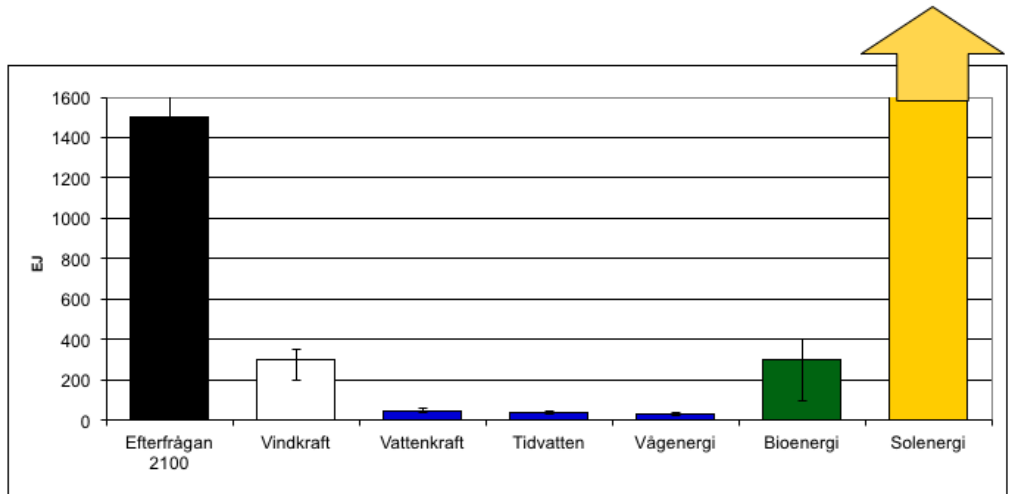


Worldwide growth of photovoltaics

Cumulative capacity in megawatts [MW_p] grouped by region^{[1][2]:17[3]:15}



Vad är den tekno-ekonomiska potentialen för förnybara energislag?

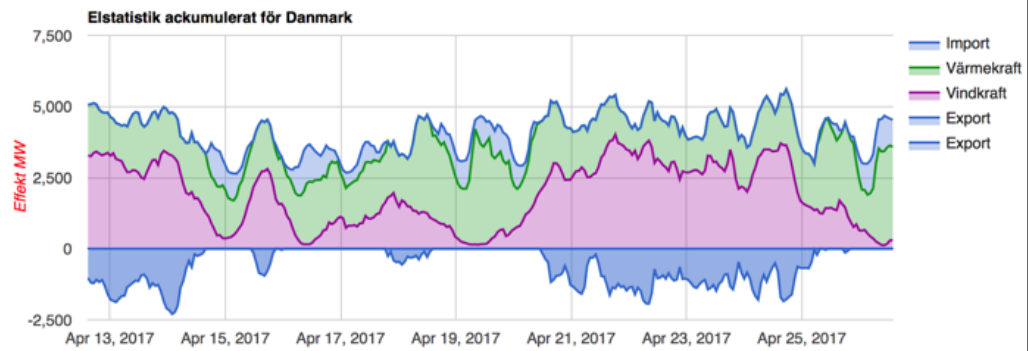


Energisäkerhetsproblem med vindkraft och solkraft

Intermitens

- “Intermittent kraft är kraftslag som är beroende av vädret. Elproduktionen från dessa kraftslag är svår att förutsäga och kan variera kraftigt på bara ett par timmar.”
- Sol och vind

Intermitens – vind i Danmark (två veckor i Danmark)



<http://elstatistik.se>

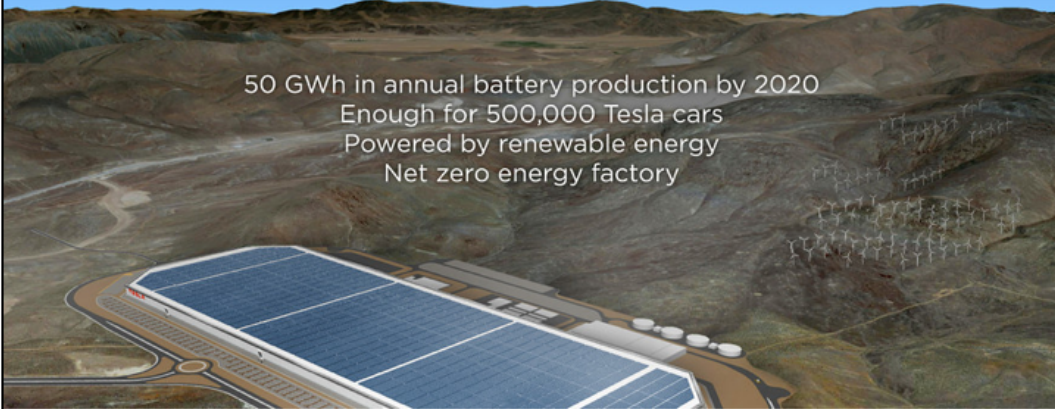
Western Denmark (~40% of annual electricity comes from wind)

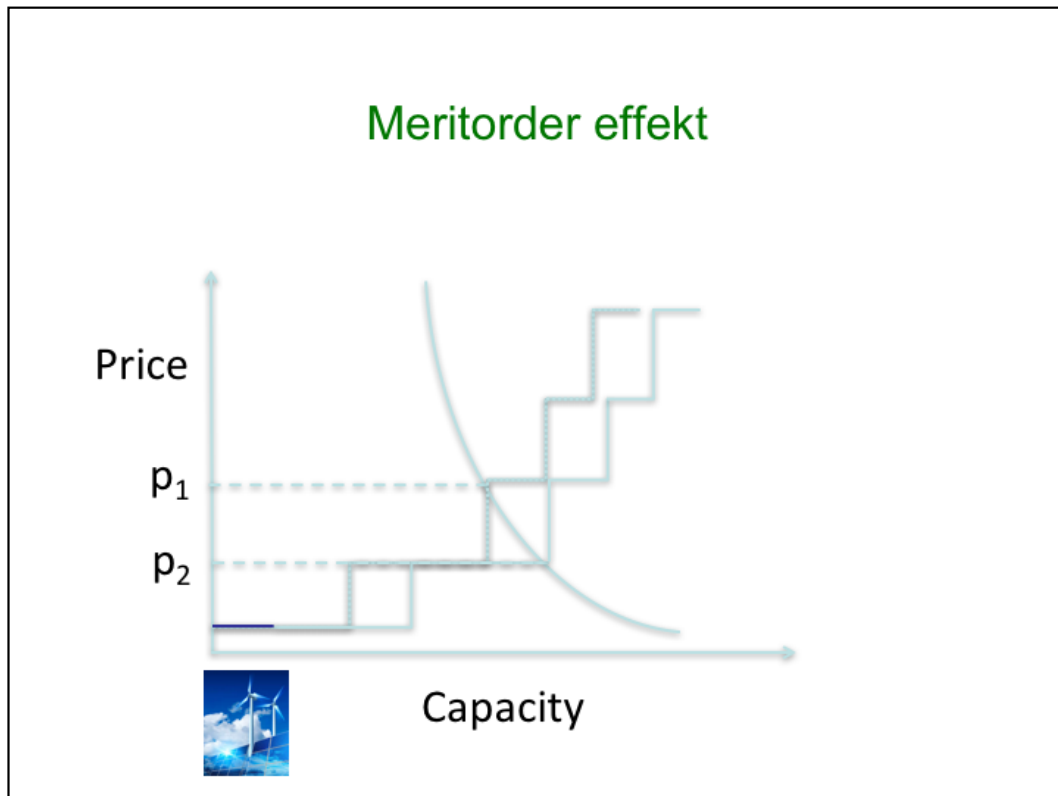
Minska intermittensbegränsningen

- Elnätet
 - Vattenkraftverk och värmekraftverk kan reglera fluktuationer.
 - Vattenkraft är enkelt att använda vid reglering.
 - Tumregel: ~20-25% av den totala elanvändningen kan komma från intermittent el, utan åtgärder mot intermittens.
- Lagra el (exempel)
 - Batterier
 - Vätgas
 - Pumpa upp vatten i dammar
 - Superkondensatorer
 - Värmelager, t.ex. smälta salter, varmvatten (kan vara svårt att få tillbaka energin i form av el).
- Sprida de intermittenta källorna geografiskt
- Använda olika intermittenta källor
 - Sol, vind, vågor är i stort sett oberoende av varandra.
- Smarta nät
 - Efterfrågerspons

TESLA GIGAFACTORY

50 GWh in annual battery production by 2020
Enough for 500,000 Tesla cars
Powered by renewable energy
Net zero energy factory





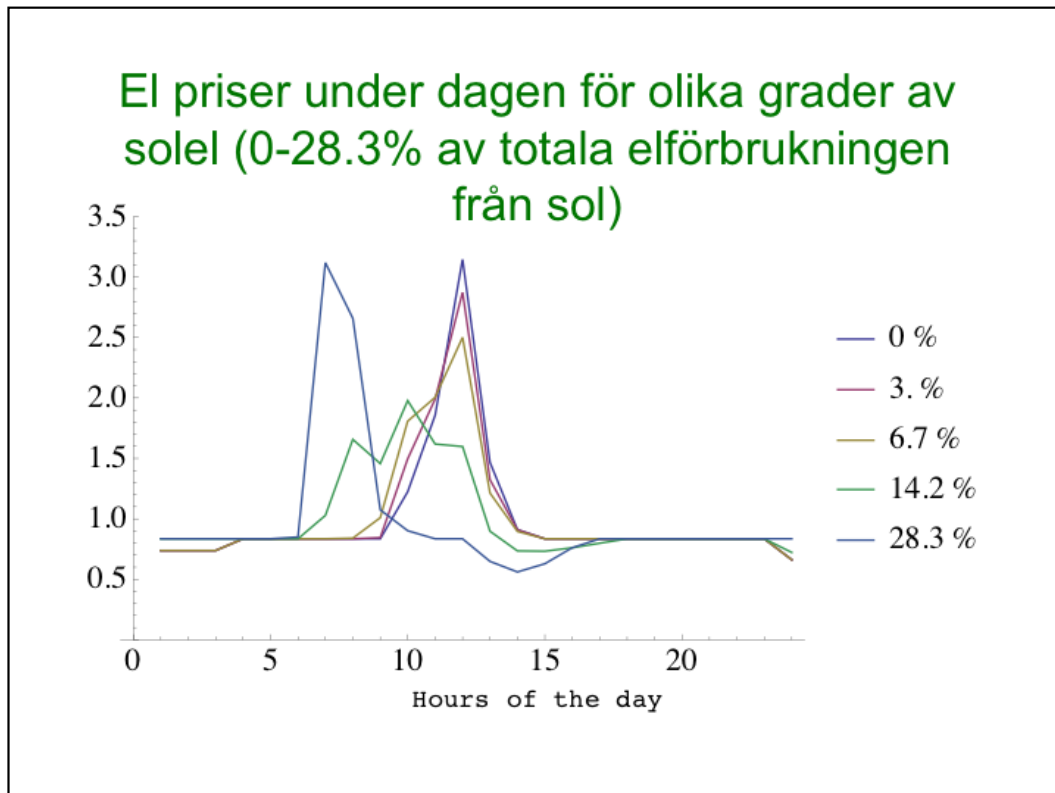
Gicks inte igenom på föreläsningen och kommer inte komma på duggan. Kan dock vara användbart koncept för en fråga på en fråga som finns på vissa av inlämningarna.

“The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany”, Frank Sensfuß a., Mario Ragwitz a, Massimo Genoes, 2008 Energy Policy
 “In the case of the year 2006, the volume of the merit-order effect exceeds the volume of the net support payments for renewable electricity generation which have to be paid by consumers.”

Elpriser i Europa kan bli negativa

		Sat, 12/22	Sun, 12/23	Mon, 12/24	Tue, 12/25	Wed, 12/26	Thu, 12/27	Fri, 12/28	
-01	€/MWh	34.01	10.11	7.23	-0.01	-0.01	7.15	17.96	1
-02	€/MWh	27.64	8.03	-0.01	-5.09	-20.10	1.79	13.94	1
-03	€/MWh	22.41	-0.01	-0.01	-200.01	-156.95	0.00	13.50	1
-04	€/MWh	20.91	-0.01	-0.07	-215.96	-200.00	-1.97	11.11	1
-05	€/MWh	19.08	-0.01	-0.01	-208.94	-188.91	-5.09	10.94	1
-06	€/MWh	20.43	-0.01	-0.01	-208.94	-99.91	-1.95	17.10	1
-07	€/MWh	22.08	-0.04	6.80	-200.01	-45.22	5.16	19.98	1
-08	€/MWh	31.27	0.00	12.35	-473.82	-0.01	10.46	32.91	1
-09	€/MWh	34.57	0.00	14.90	-1.49	4.77	14.66	37.06	1
-10	€/MWh	41.79	11.82	17.50	0.00	10.10	16.24	38.78	1
-11	€/MWh	42.03	14.54	17.44	0.20	13.37	17.83	38.69	1
-12	€/MWh	40.02	16.30	17.90	11.14	15.03	18.69	37.94	1
-13	€/MWh	37.83	16.86	17.66	11.98	15.08	24.26	37.03	1
-14	€/MWh	34.56	14.28	14.38	9.50	11.07	24.13	35.28	1
-15	€/MWh	37.08	11.48	12.75	4.40	9.50	23.84	33.98	1
-16	€/MWh	38.02	11.47	11.73	1.95	9.49	24.43	33.43	1
-17	€/MWh	35.44	13.46	13.63	3.63	11.06	26.04	34.77	1

<http://www.statnett.no/Drift-og-marked/Data-fra-kraftsystemet/Nordisk-kraftflyt/>



Gicks inte igenom på föreläsningen och kommer inte komma på duggan. Kan dock vara användbart koncept för en fråga som finns på vissa av inlämningarna.

European utilities

How to lose half a trillion euros

Europe's electricity providers face an existential threat

Oct 12th 2013 | From the print edition

Timekeeper

Like 8.2k

Tweet 1,047



Source: <http://www.economist.com/news/briefing/21587782-europes-electricity-providers-face-existential-threat-how-lose-half-trillion>

Fossila kraftverk går back eftersom sol och vind pressar ner elpriserna.

Kommer ni ihåg (1) – Vindkraft

- Stor potential
- Intermittent
- Kräver stora areor – ändrar landskapsbilden
 - Arean kan dock användas till annat också
- NIMBY – Not In My Back Yard
- Snabbt växande
- Billig

Kommer ni ihåg (2) – Solenergi

- Enorm potential
 - 10000 ggr mer solinstrålning än global energikonsumtion
- Intermittent
- 3 olika typer av kraftverk
 - Solpaneler – producerar värme
 - Termiska solkraftverk
 - Solceller
- Höga kostnader
 - Men snabbt sjunkande
- Mycket hög tillväxt, men från en låg nivå



<https://www.youtube.com/watch?v=INRWxN7jKII&feature=youtu.be&list=WL&t=2164>