



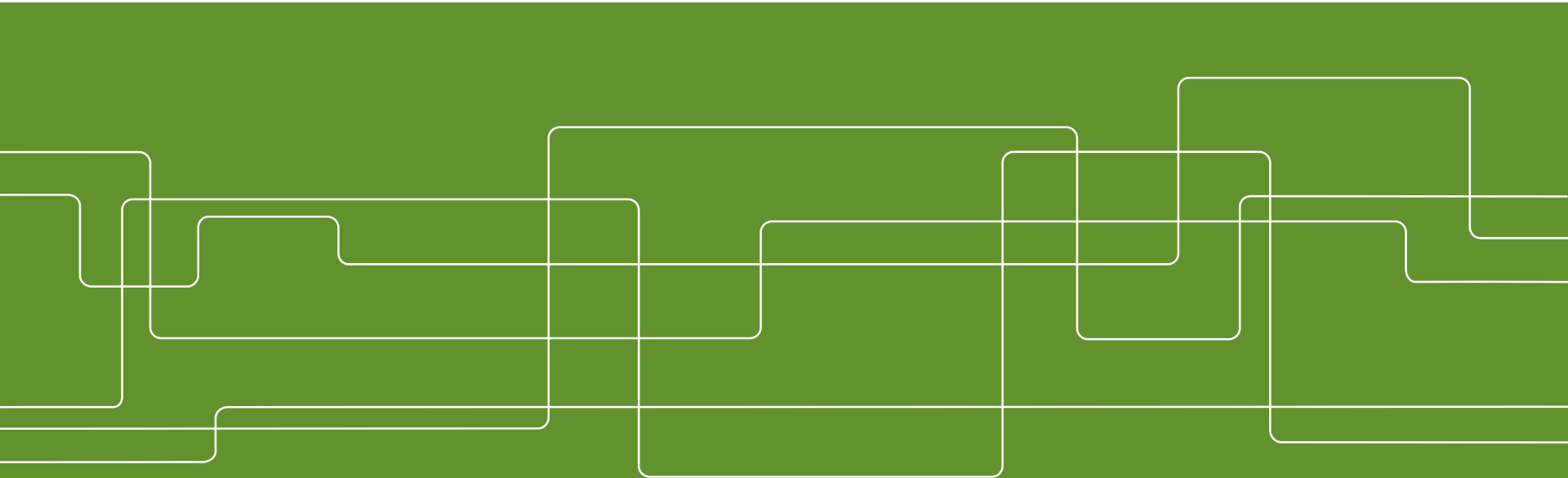
Att dimensionera ett elsystem

Energiforsk

11 november 2021

Lennart Söder
Professor Elektriska Energisystem, KTH

<https://www.kth.se/profile/lod>, lsod@kth.se





Ny rapport: Okt-21

Om ”*Systemkostnad*” och ”*Integrationskostnad*”

Definitioner och analys:

- Total ”*systemkostnad*”
- ”*Värdefaktor*”
- ”*Integrationskostnad*”
- ”*Vad är med i dagens marknad ?*”

Av: Lennart Söder

SYSTEM AND INTEGRATION COSTS IN WIND AND SOLAR ENERGY

REPORT 2021:801



Tillgänglig från

<https://energiforsk.se/program/vindforsk/rapporter/system-and-integration-costs-2021-801/>

Upplägg

1) Vad kostar kraftverk ?



2) Fysik:

- Vad är elektricitet ?
- Hur hålls balansen ?



3) Vad kostar hela elsystemet ?

- Kraftverk, Ledningar
- Balansering



4) Vad är en "integrationskostnad" ?

5) Vem betalar för vad + vad får man betalt för ?

- Elmarknaden

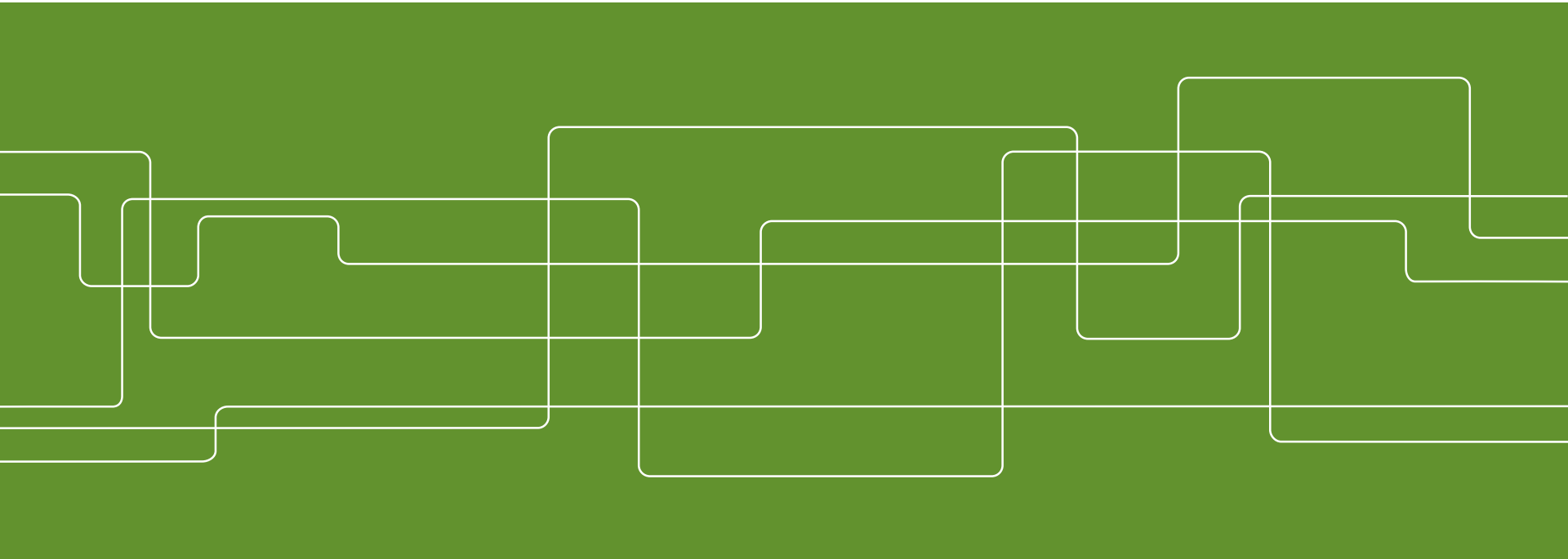


Vad kostar ett kraftverk ?



11 november, 2021

av Lennart Söder
Professor Elkraftsystem, KTH

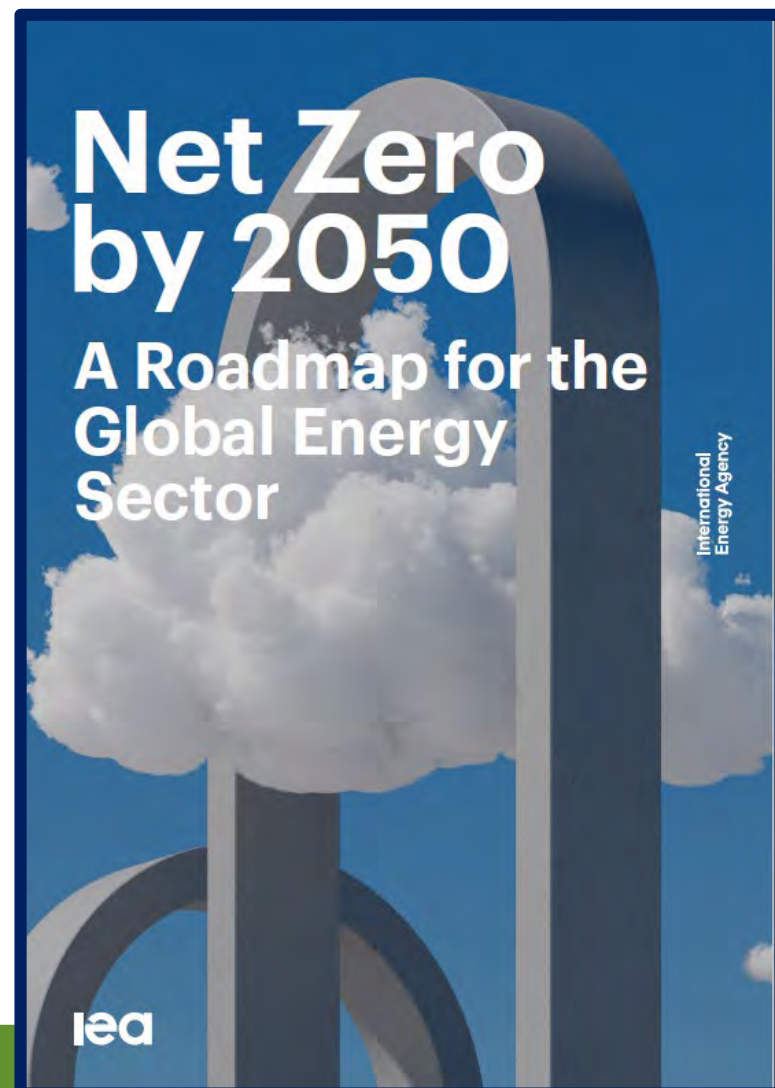


Vad kostar ett kraftverk ?

Svaret blir öre/kWh, EURO/MWh, USD/MWh



Elforsk - 2014



IEA - 2021

Vad kostar ett kraftverk ?

Svaret blir öre/kWh, EURO/MWh, USD/MWh



Vindkraft

Kärnkraft



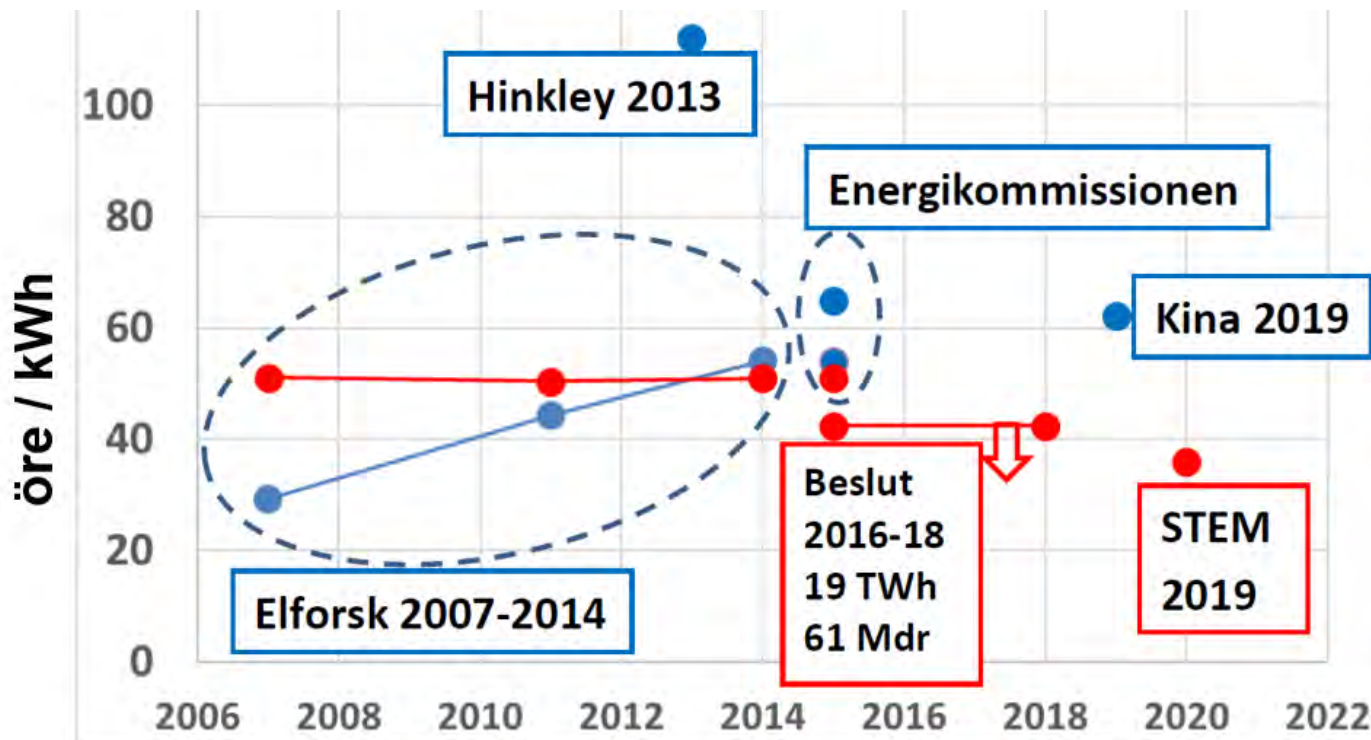
El från nya och framtida
anläggningar 2014

Elforsk rapport 14:40



Ingrid Nohlgren, Solveig Herstad Svård, Marcus Jansson, Jennie Rodin
Oktober 2014

ELFORSK



Vad kostar ett kraftverk ?

Svaret blir öre/kWh, EURO/MWh, USD/MWh

Table B.1 ▶ Electricity generation technology costs by selected region in the NZE

	Financing rate (%)	Capital costs (\$/kW)			Capacity factor (%)			Fuel, CO ₂ and O&M (\$/MWh)			LCOE (\$/MWh)		
	All	2020	2030	2050	2020	2030	2050	2020	2030	2050	2020	2030	2050
European Union													
Nuclear	8.0	6 600	5 100		70	35	35	35	150	120	115		
Coal	8.0	2 000	2 000		n.a.	120	205	275	250	n.a.	n.a.		
Gas CCGT	8.0	1 000	1 000	1 000	40	20	n.a.	65	95	120	100	150	n.a.
Solar PV	3.2	790	460		14	10	10	10	55	35	25		
Wind onshore	3.2	1 540	1 420		31	15	15	15	55	45	40		
Wind offshore	4.0	3 600	2 020		59	15	10	5	75	40	25		

2030 (8.6 \$/SEK)

Kärnkraft: 120 \$/MWh ≈ **103** öre/kWh

Vindkraft-land: 45 \$/MWh ≈ **39** öre/kWh

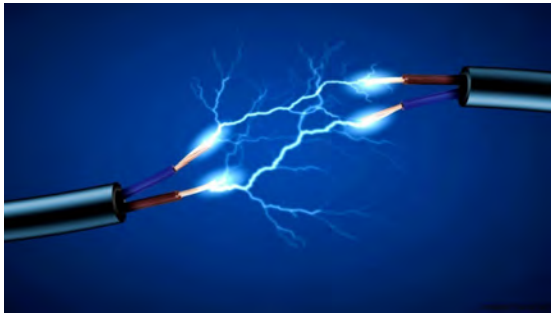


Vad kostar ett kraftverk ?

Svaret blir **öre/kWh, EURO/MWh, USD/MWh**

Viktiga antaganden inkluderar:

- Investeringskostnad (**kr/kW**)
- "**Läro-kurvor**": Vad kostar kraftverk i framtiden
- **Ränta**: IEA antar olika för olika kraftslag baserat på faktiska data
- **Byggränta och byggtid** för kärnkraft
- Driftstid (**Energi per kW**):

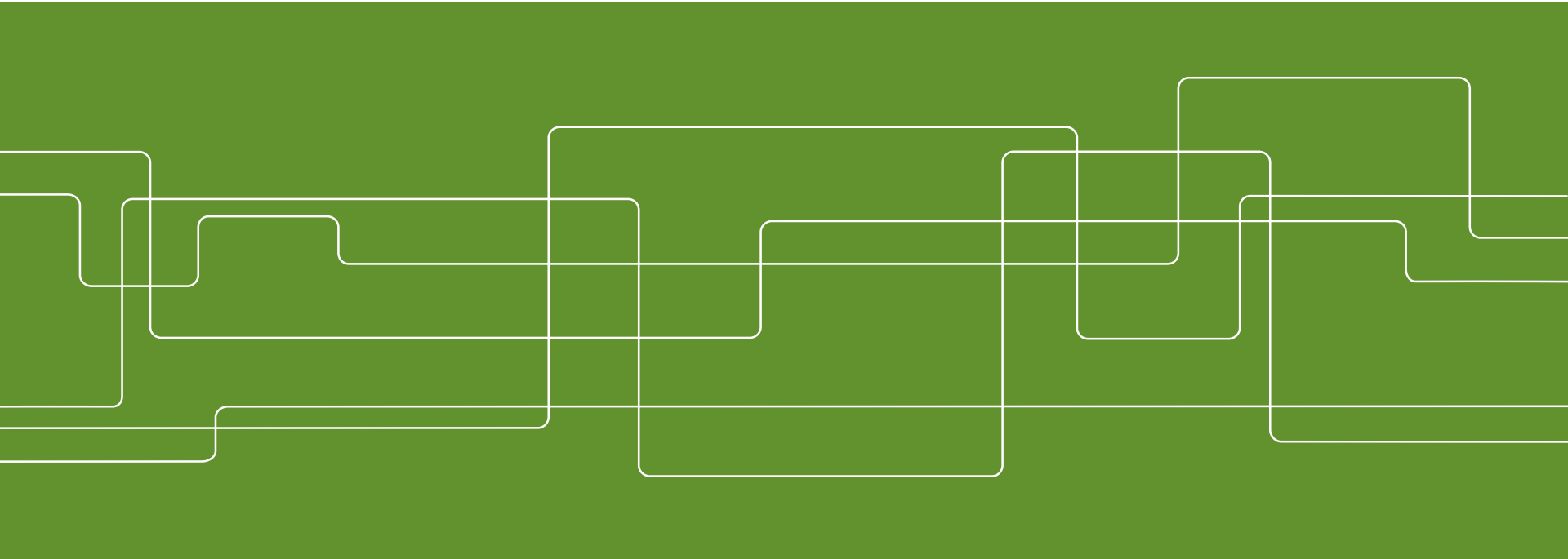


Elektricitet

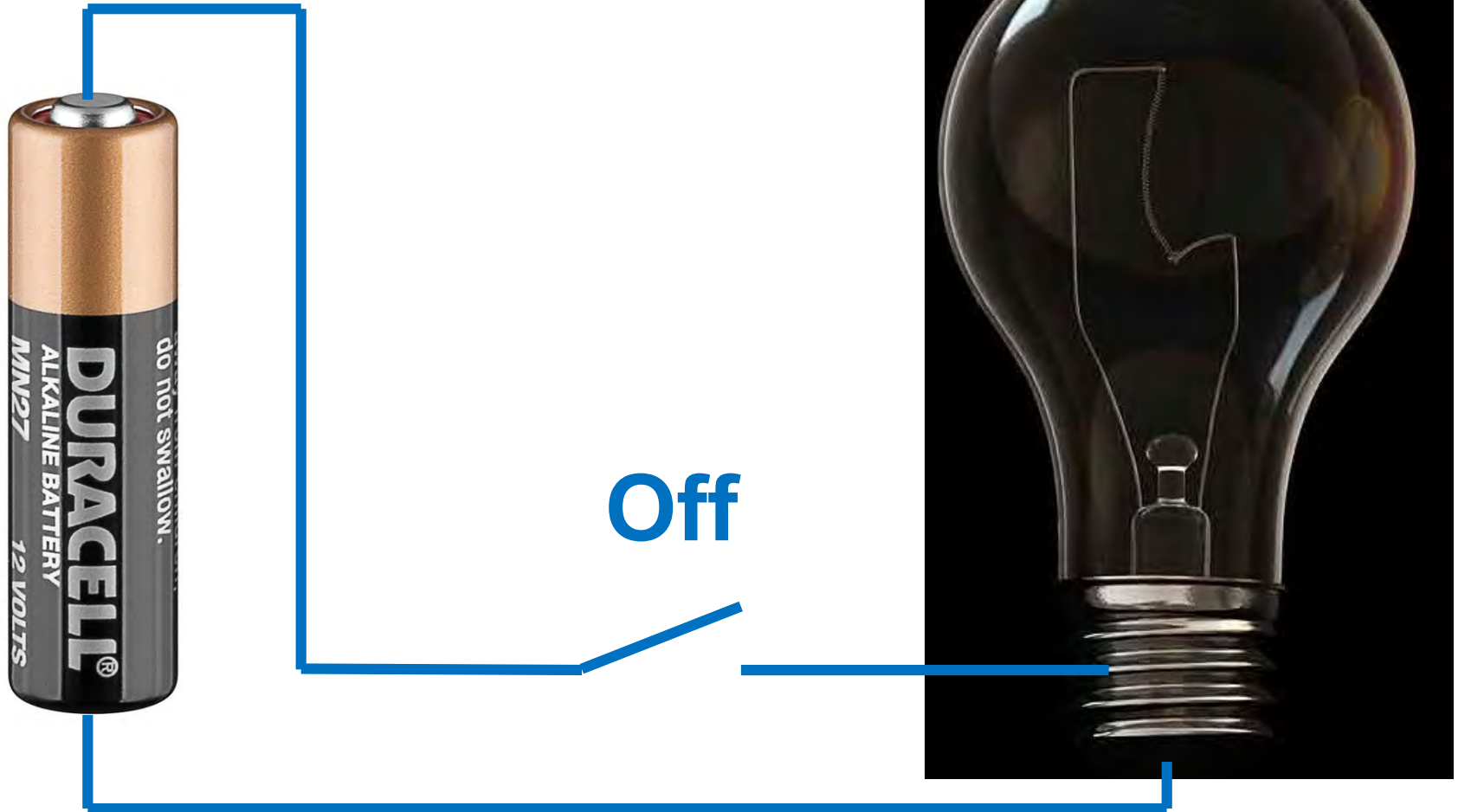
11 november, 2021



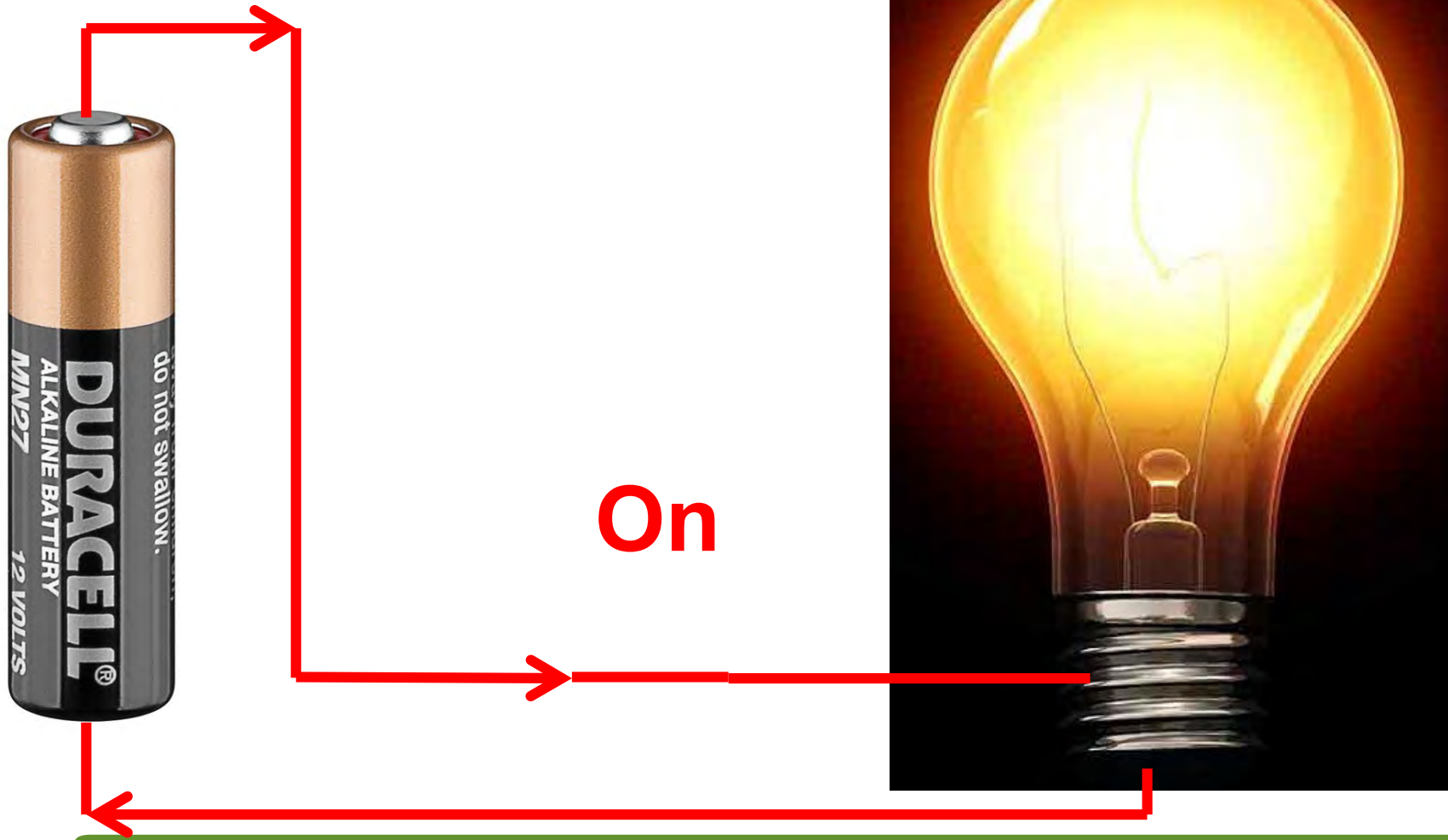
av Lennart Söder
Professor Elkraftsystem, KTH



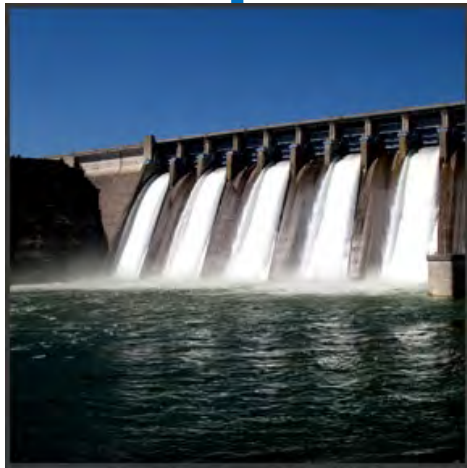
Elektricitet färdas med ljushastigheten



Elektricitet färdas med ljushastigheten



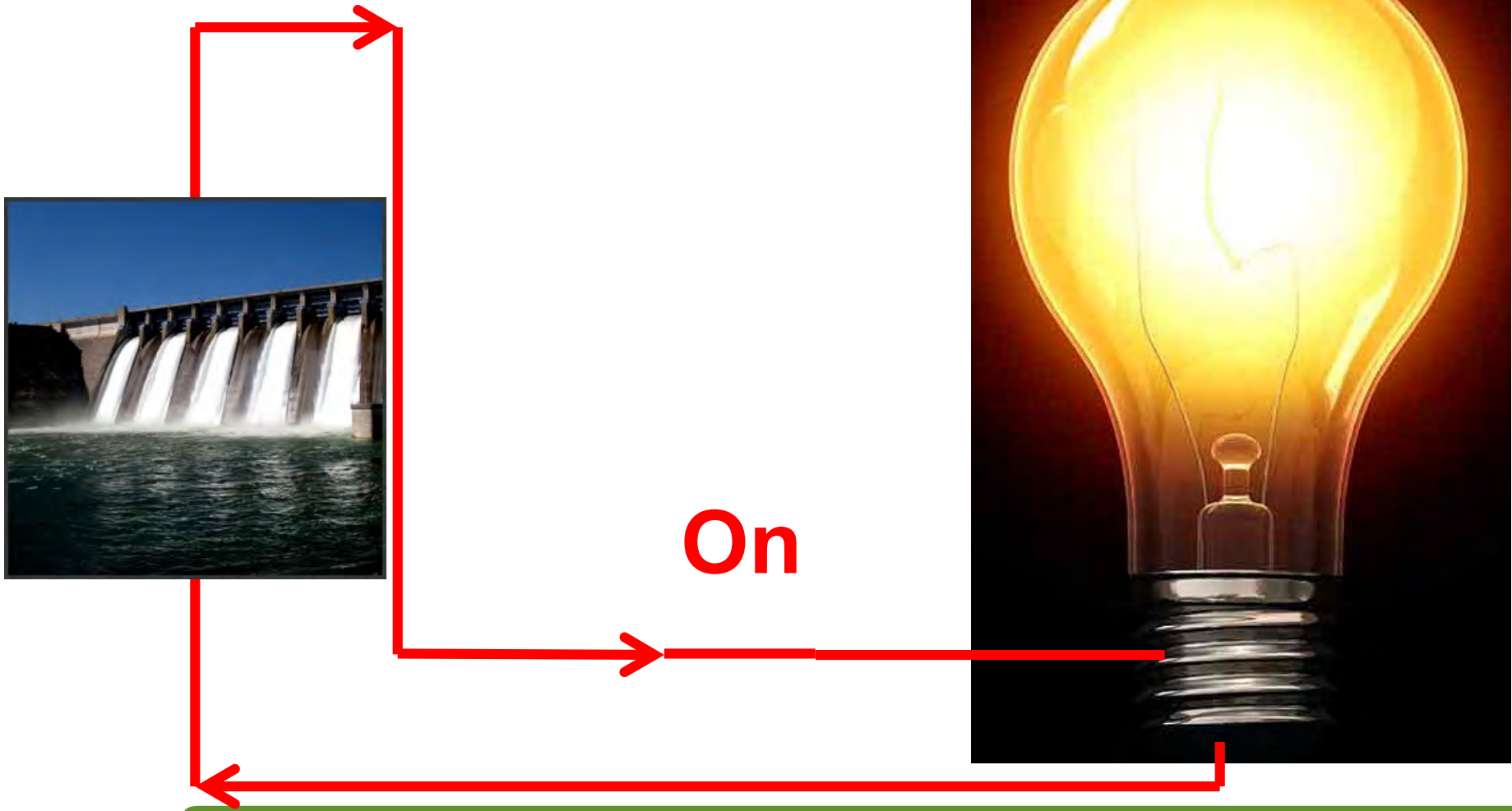
Elektricitet färdas med ljushastigheten



Off



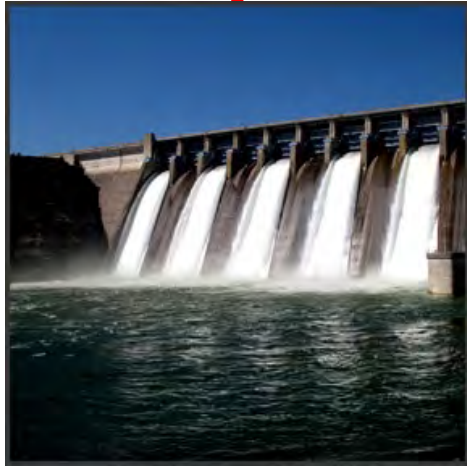
Elektricitet färdas med ljushastigheten



Elektricitet färdas med ljushastigheten

Under 1/100 sekund

- **Ljus** färdas 3000 km = Stockholm – Madrid
- **Ljud** färdas 3 m.



On



Elektricitet färdas med ljushastigheten

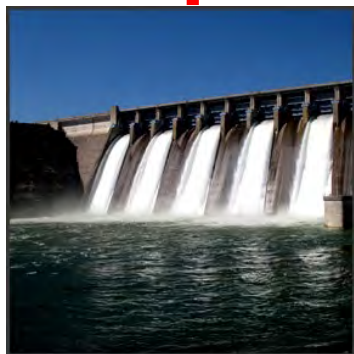


Off



Elektricitet färdas med ljushastigheten

Från norra Sverige



On



Elektricitet färdas med ljushastigheten

Eller från Norge?

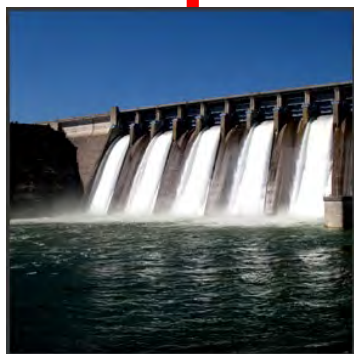
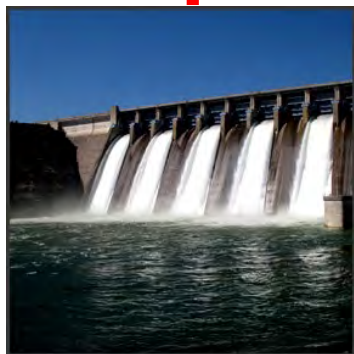


On



Elektricitet färdas med ljushastigheten

Eller Sverige + Norge?



On



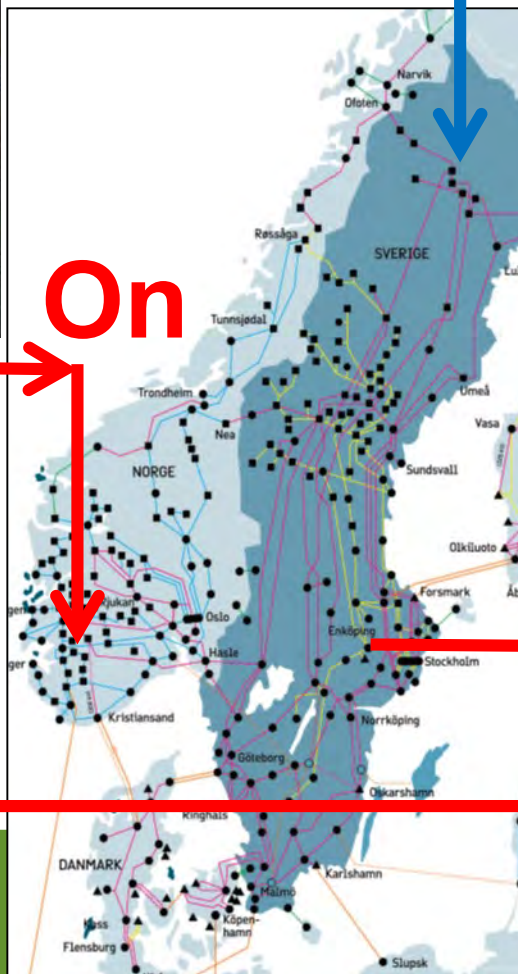
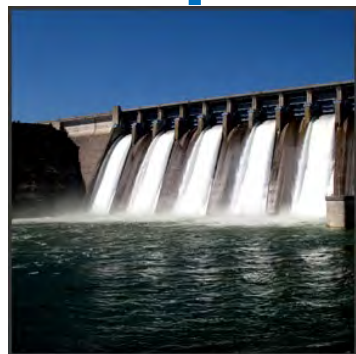
Elektricitet färdas med ljushastigheten

Eller med vindkraft?

Off

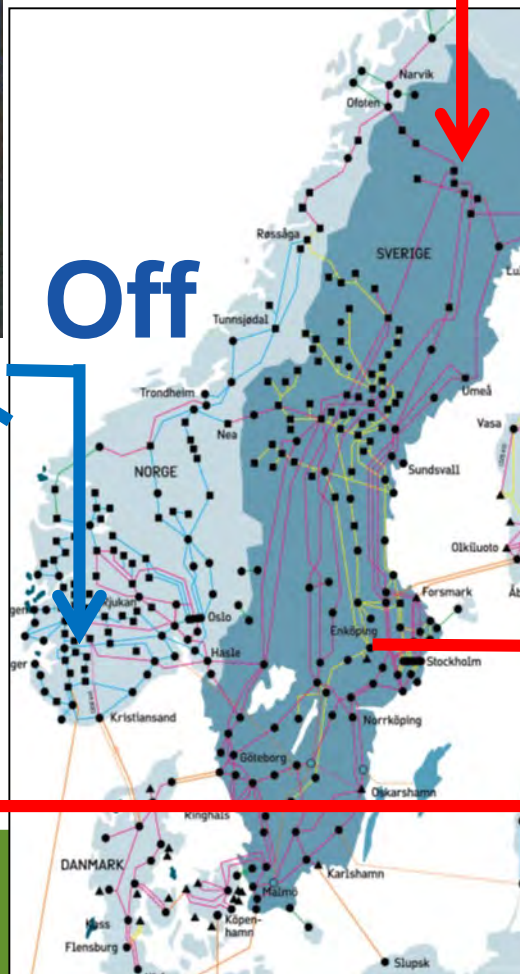
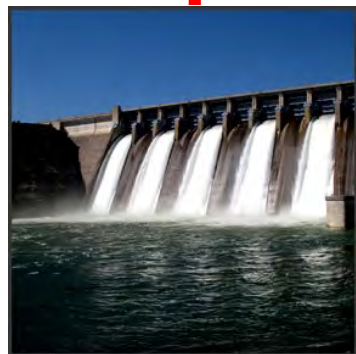
On

On



Elektricitet färdas med ljushastigheten

Eller när det inte blåser?



On

Off

On



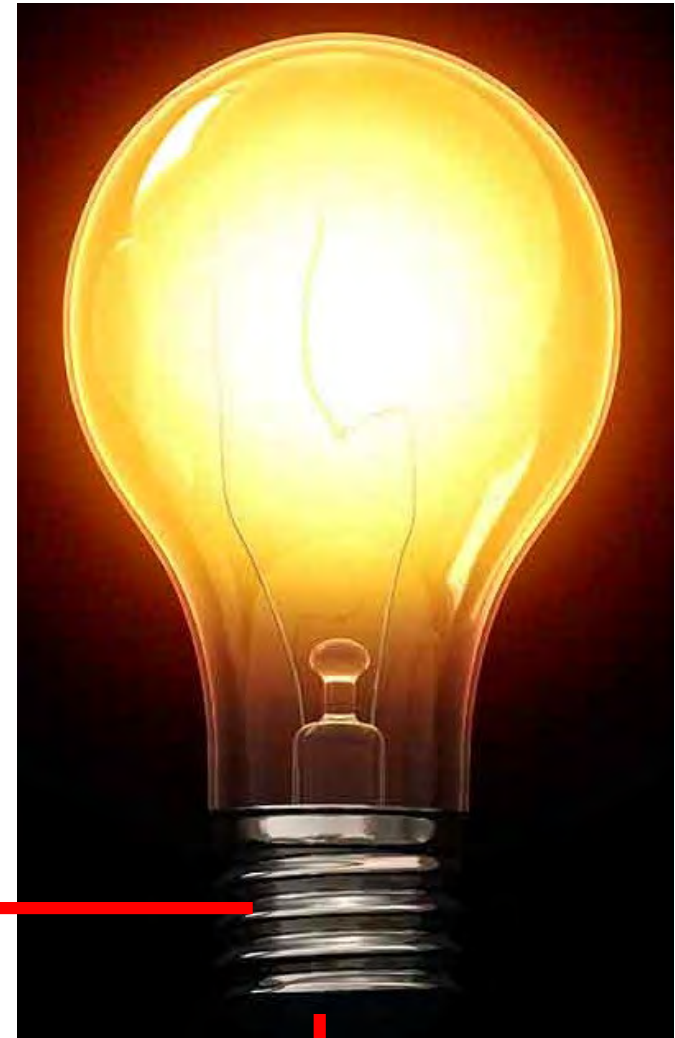
Elektricitet färdas med ljushastigheten

Antag import från UK
North Sea Link 1400 MW

Off

On

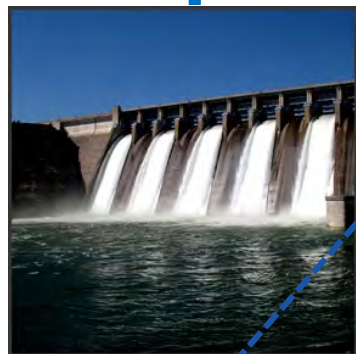
On



Elektricitet färdas med ljushastigheten

Antag **plötsligt fel** på
import från UK

Off



On



Off



On



Elektricitet färdas med ljushastigheten

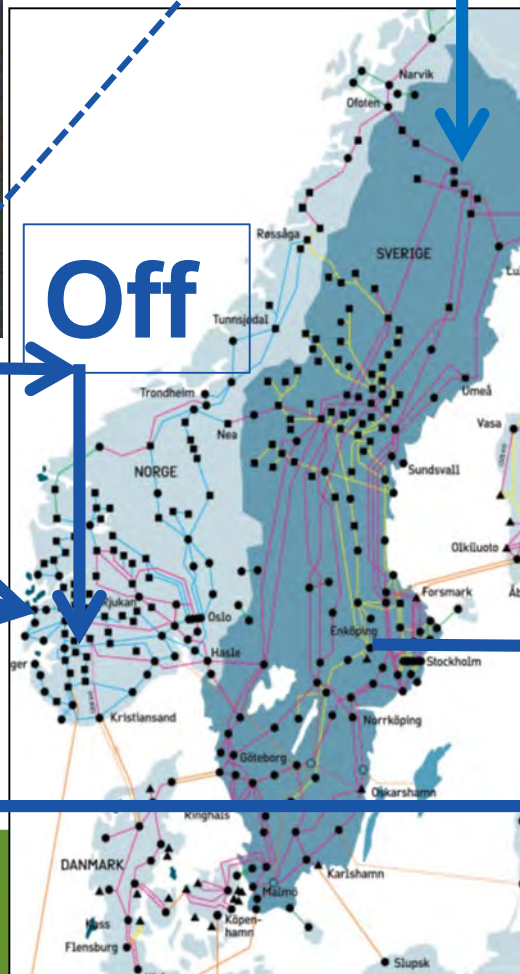
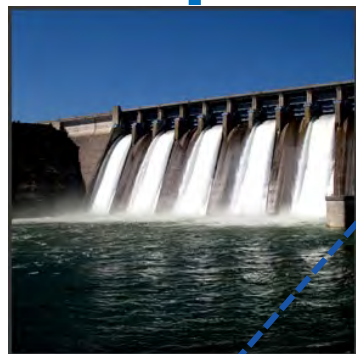
Antag **plötsligt fel** på
import från UK

Off

Off

Off

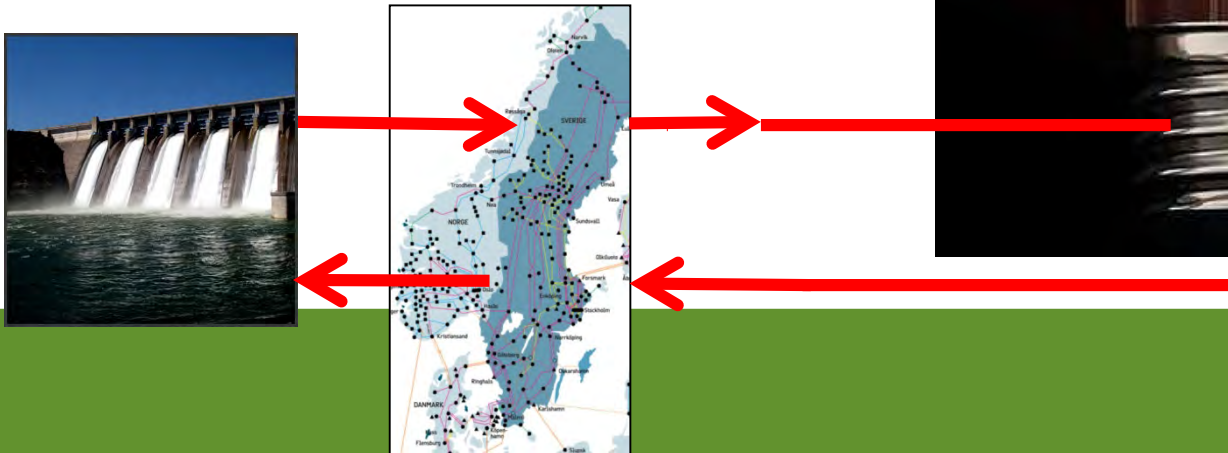
Vi vill inte
att detta
ska hända



Elektricitet färdas med ljushastigheten

Sammanfattning:

- **"El" är ett momentant transport-system (med vissa förluster)**
- **"El" är INTE en "energikälla"**
- **"Elkonsumtion" måste därmed, för varje sekund, mötas med "Elproduktion"**
- **Elnät gör att man inte måste ha lokal elproduktion**



Var kommer elen från till elbilen ?



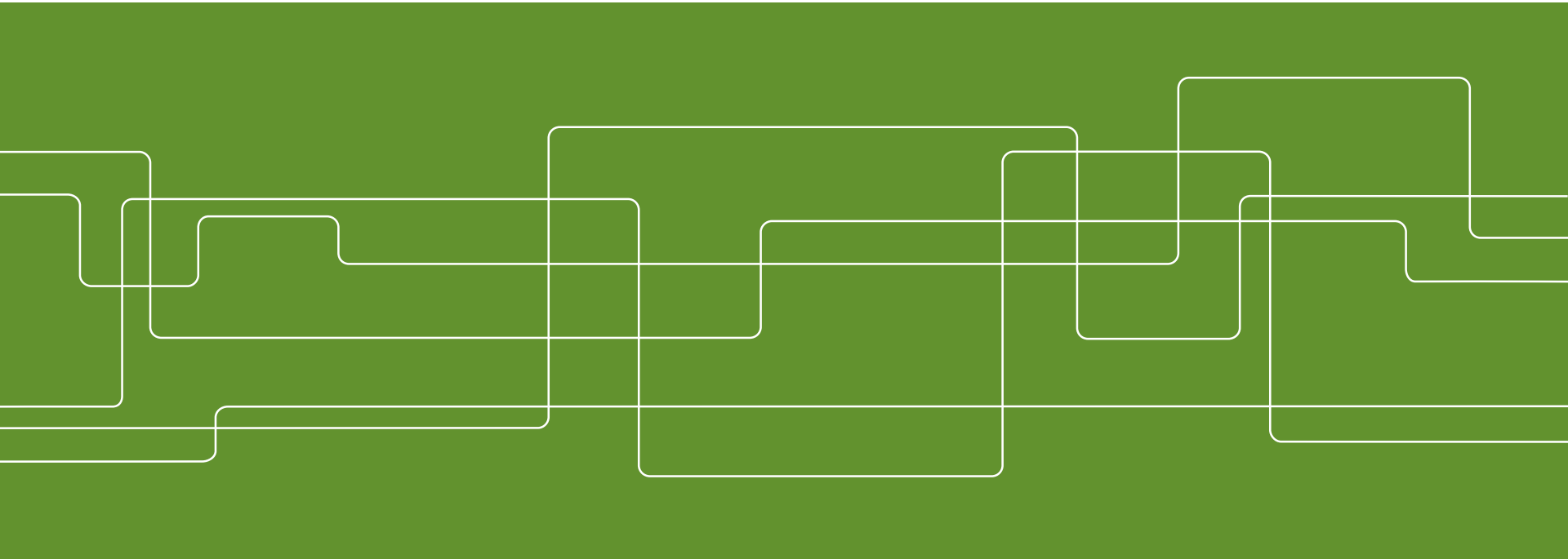
Var kommer elen från till elbilen ?



Svar: Från ett kraftverk



Hur hålls ”kraft-balansen” i praktiken?

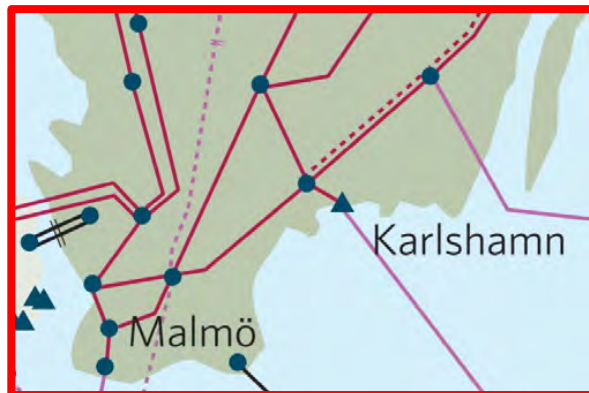


I alla areor gäller ALLTID (t ex per sekund)

Produktion = konsumtion

Import + Produktion = konsumtion + Export

Norden



SE4



Nätområden i SE4



I alla areor gäller ALLTID (t ex per sekund)

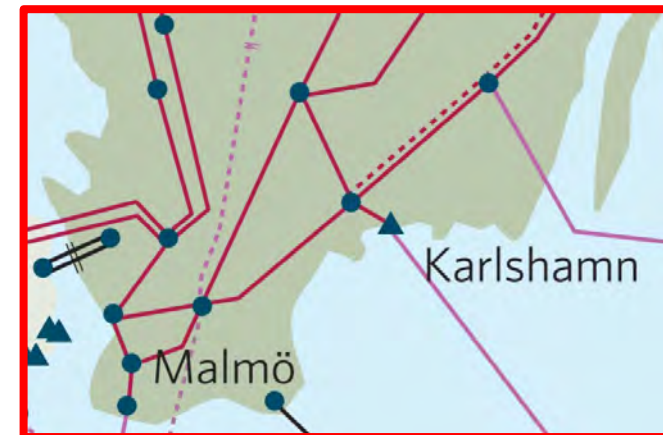
Produktion = konsumtion

Import + Produktion = konsumtion + Export

Att tänka på:

- 1) Konsumtion, sol, vind **varierar**
- 2) Kraftverk och ledningar **havererar**
- 3) **Överföring** mellan areor **varierar**,
t ex, underhåll etc.

→ Man måste ha **marginaler** om
man inte vill koppla bort kunder
(producenter eller konsumenter)



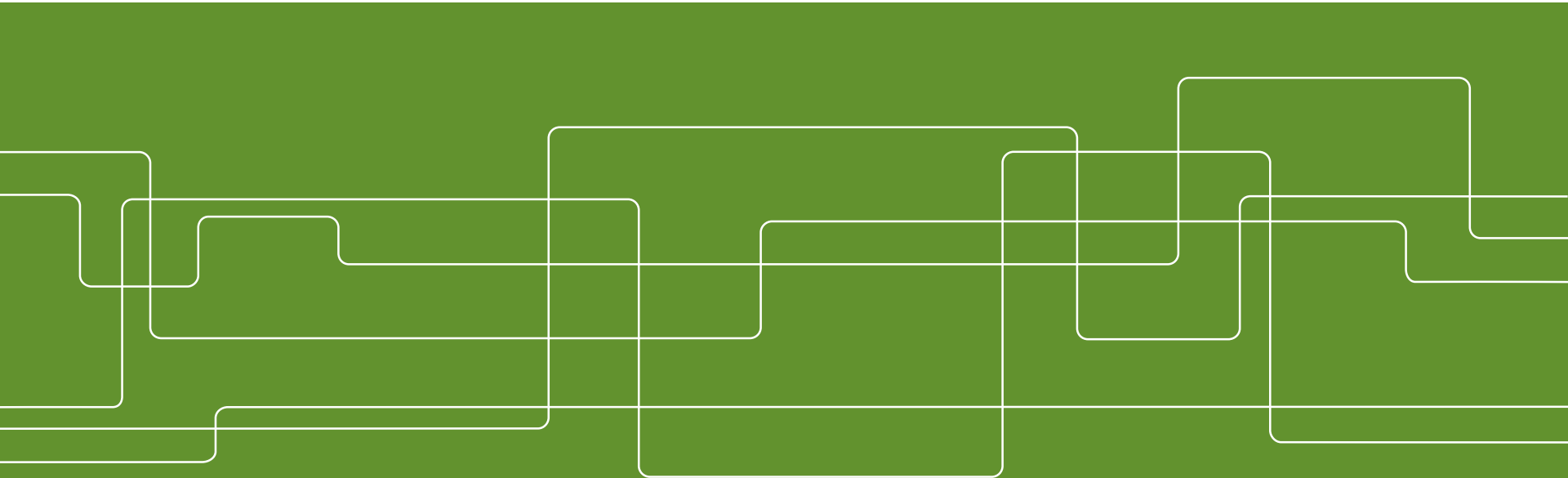
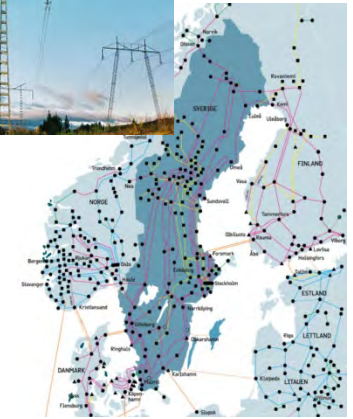
SE4



Vad kostar hela elsystemet ?

11 november, 2021

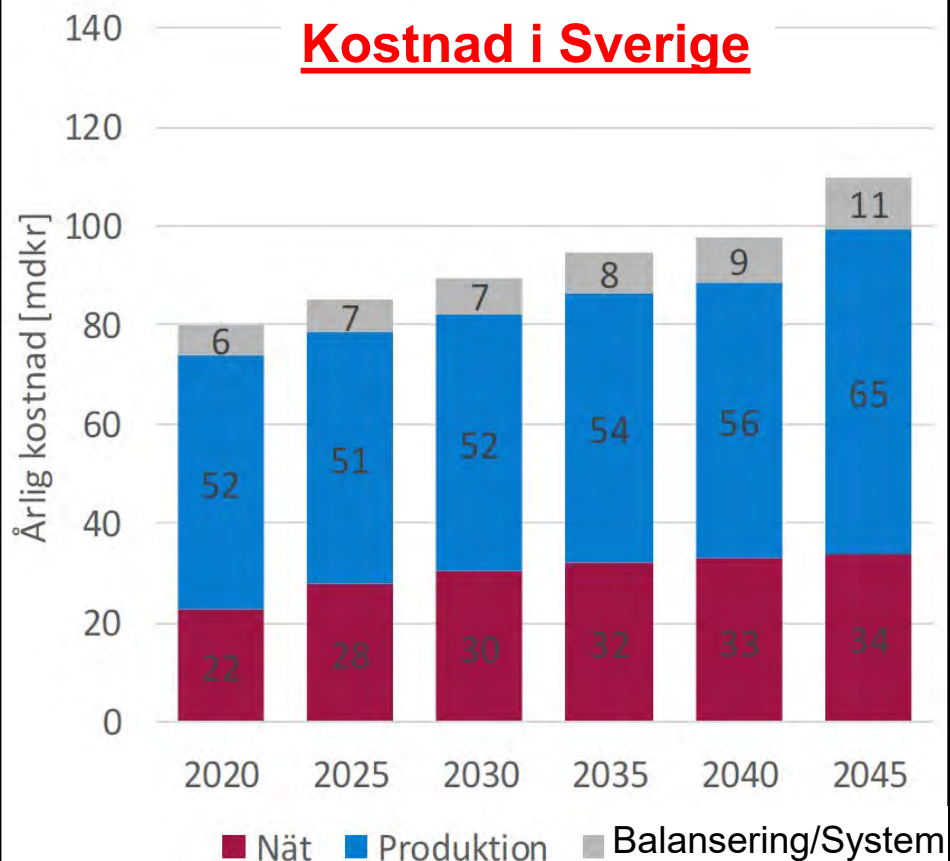
av Lennart Söder
Professor Elkraftsystem, KTH



Vad kostar hela elsystemet ?

Förnybart och kärnkraft

Kostnad i Sverige



nepp

Färdplan fossilfri el – analysunderlag

- En analys av scenarier med en kraftigt ökad elanvändning

Augusti 2019

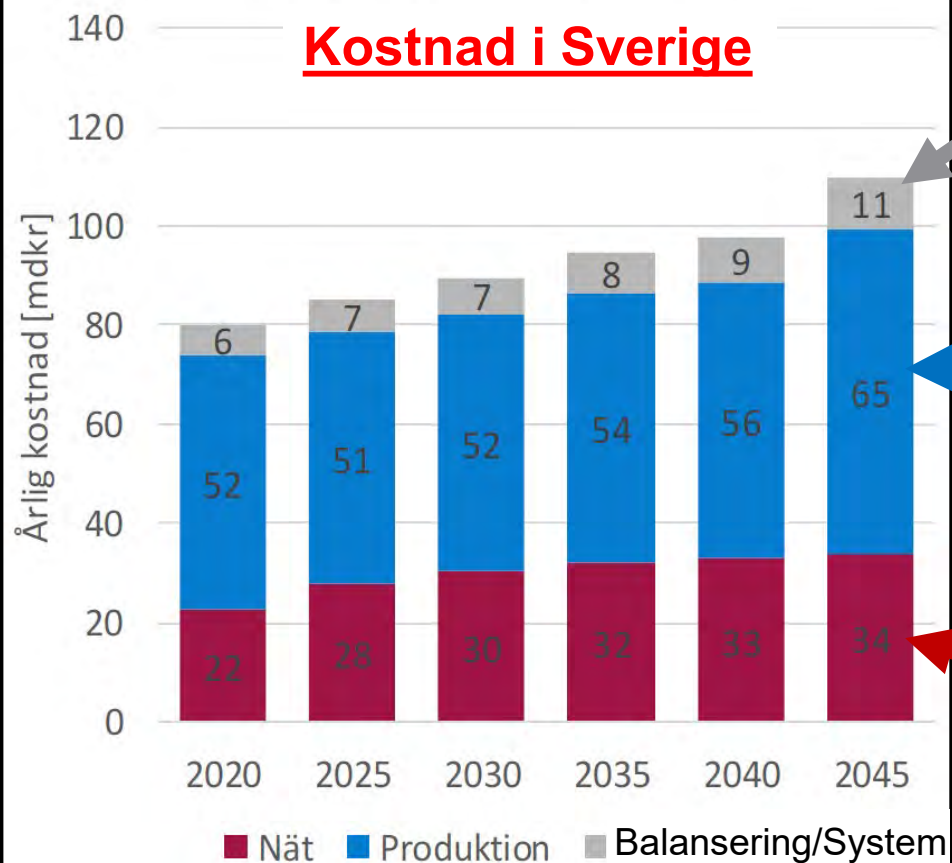
Johan Bruce, Frank Krönert, Fredrik Obel, Katarina Yuen, Emma Wiesner, Linda Dyab, Kajsa Greger och Erica Lidström, Sweco. Håkan Sköldberg, Bo Rydén och Thomas Unger, Profu. Jenny Gode och Johanna Nilsson, IVL.



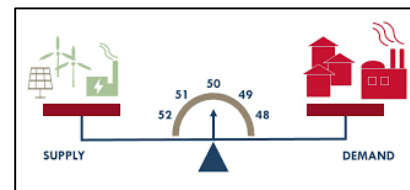
Vad kostar hela elsystemet ?

Förnybart och kärnkraft

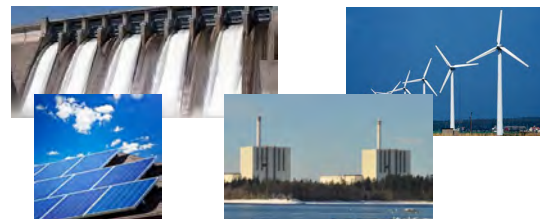
Kostnad i Sverige



Balans



Produktion



Elnät



Balans

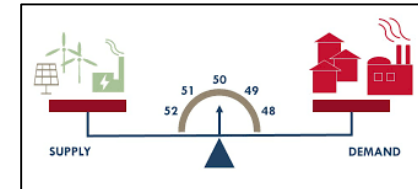


Vad kostar hela elsystemet ?

Kostnad/nytta: inte bara i Sverige

- 1) "Balans-kostnader" är egentligen kostnader för "Produktion", möjligen "Elnät"
- 2) Export minskar kostnader i andra länder.
- 3) Antagen CO2-kostnad har stor betydelse
- 4) Andra länders nätkostnader beror på vad som händer i Sverige

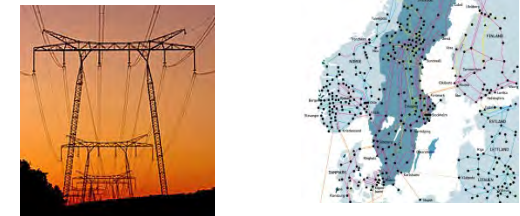
Balans



Produktion

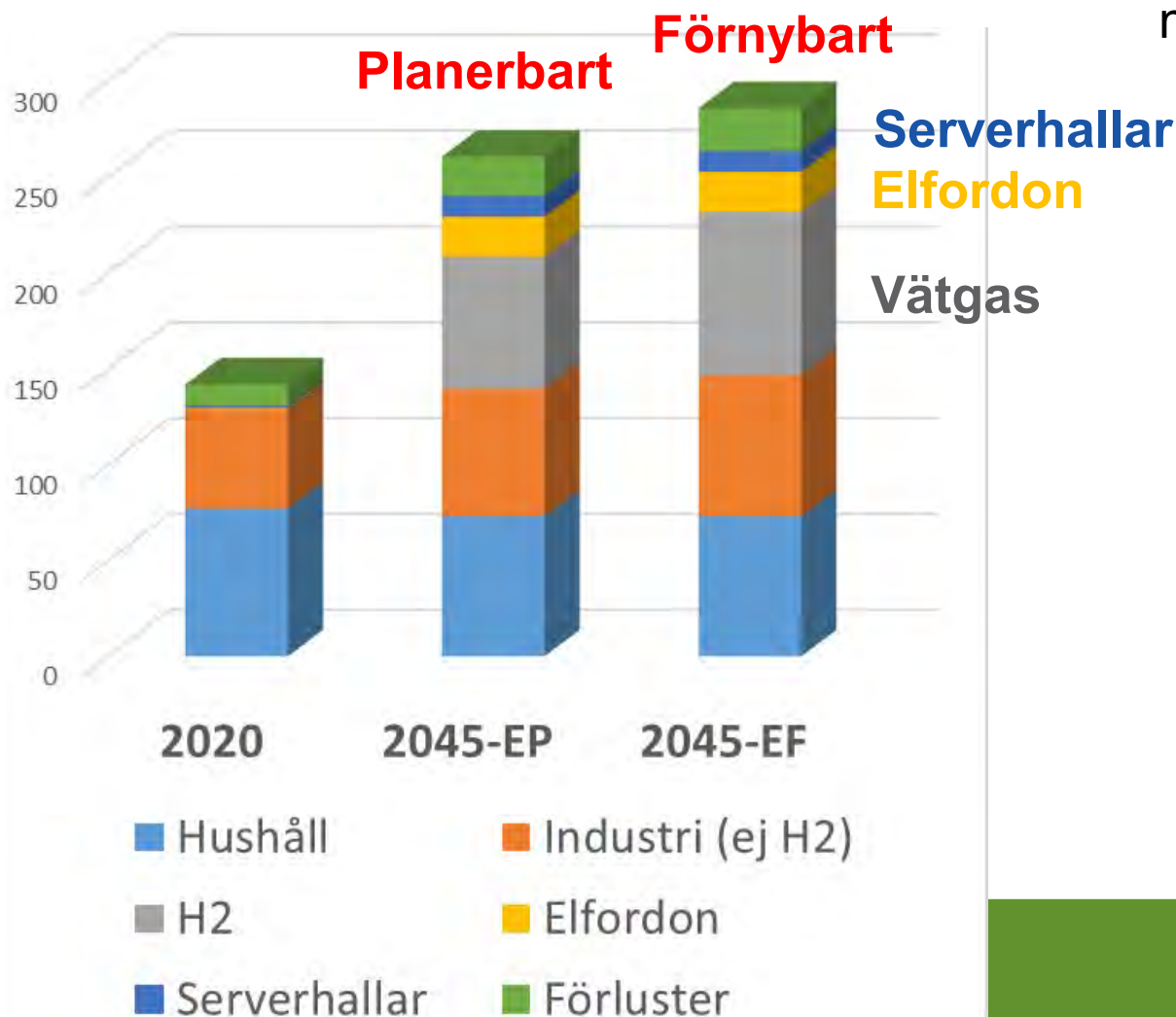


Elnät

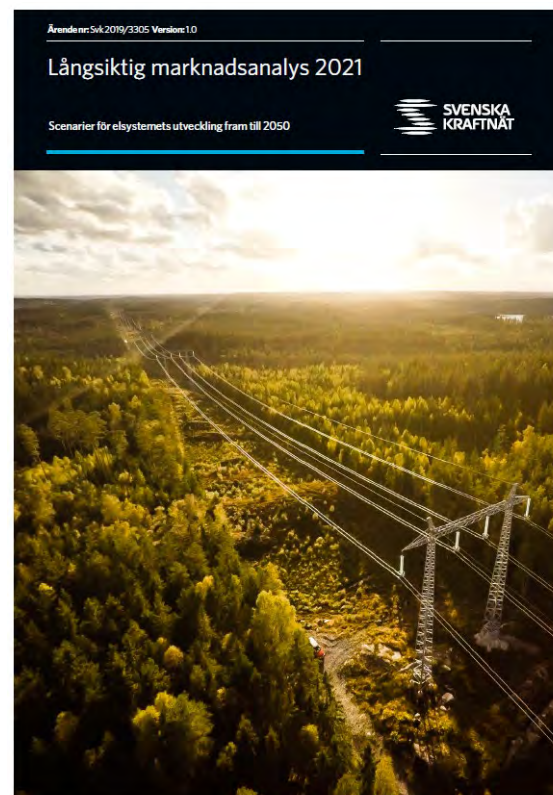


Två scenarier för framtiden: Elektrifiering

Antagen konsumtion

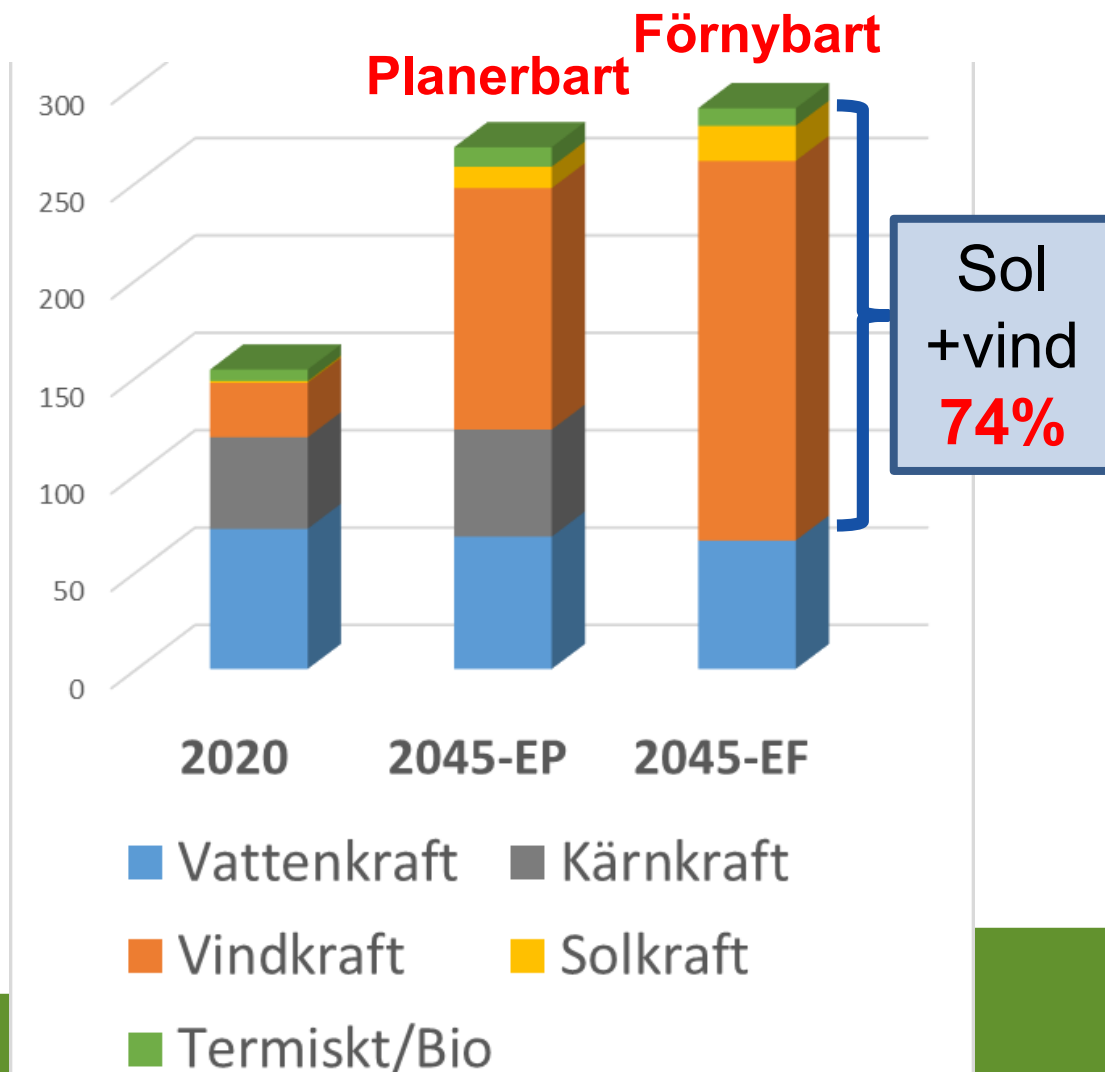


”Långsiktig marknadsanalys”, maj 2021



Två scenarier för framtiden: Elektrifiering

Produktion resultat/antaganden

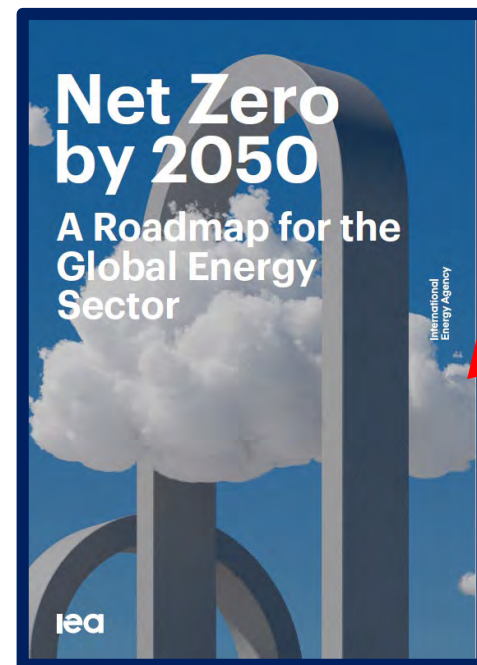
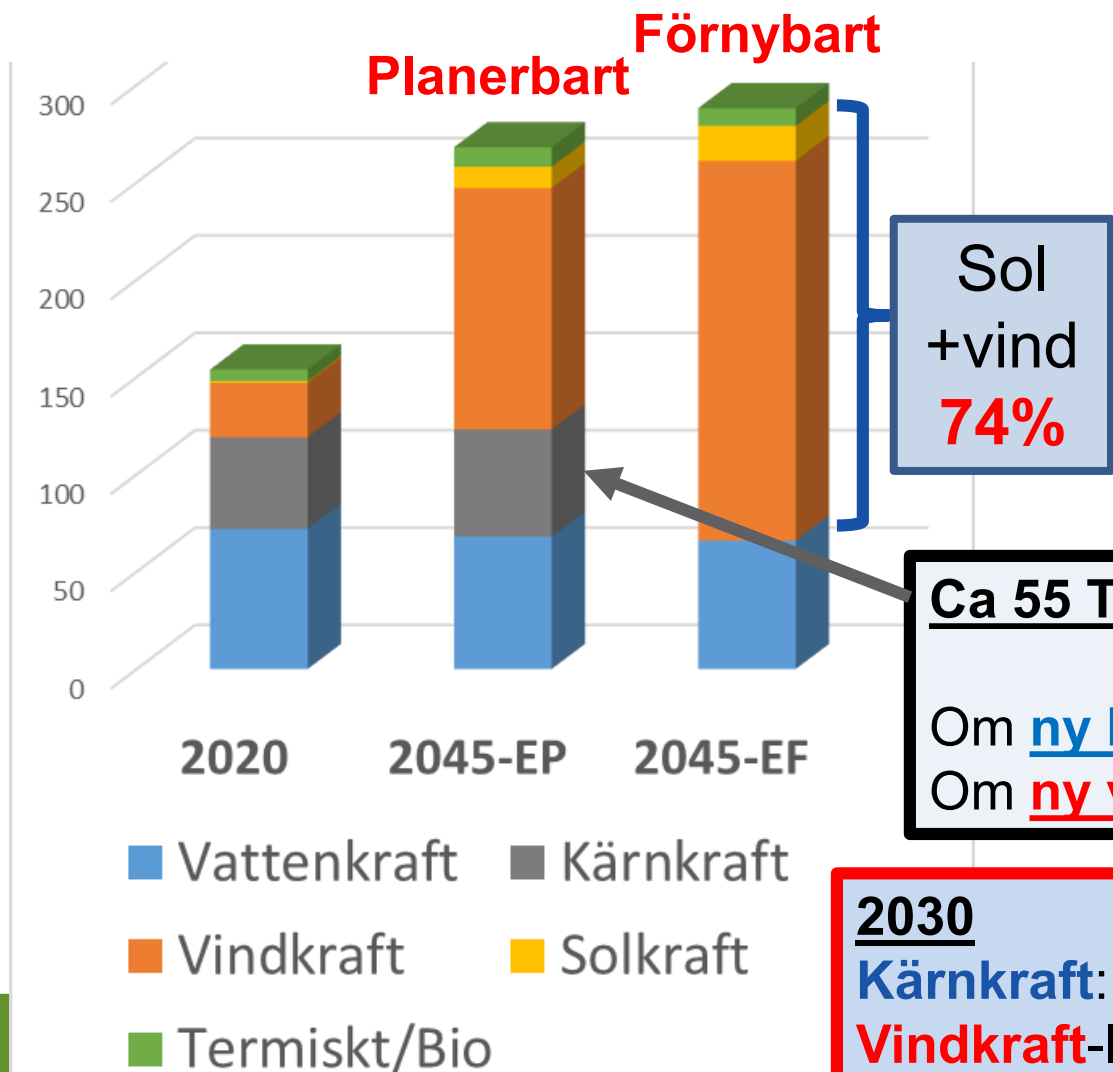


”Långsiktig marknadsanalys”, maj 2021



Två scenarier för framtiden: Elektrifiering

Produktion resultat/antaganden



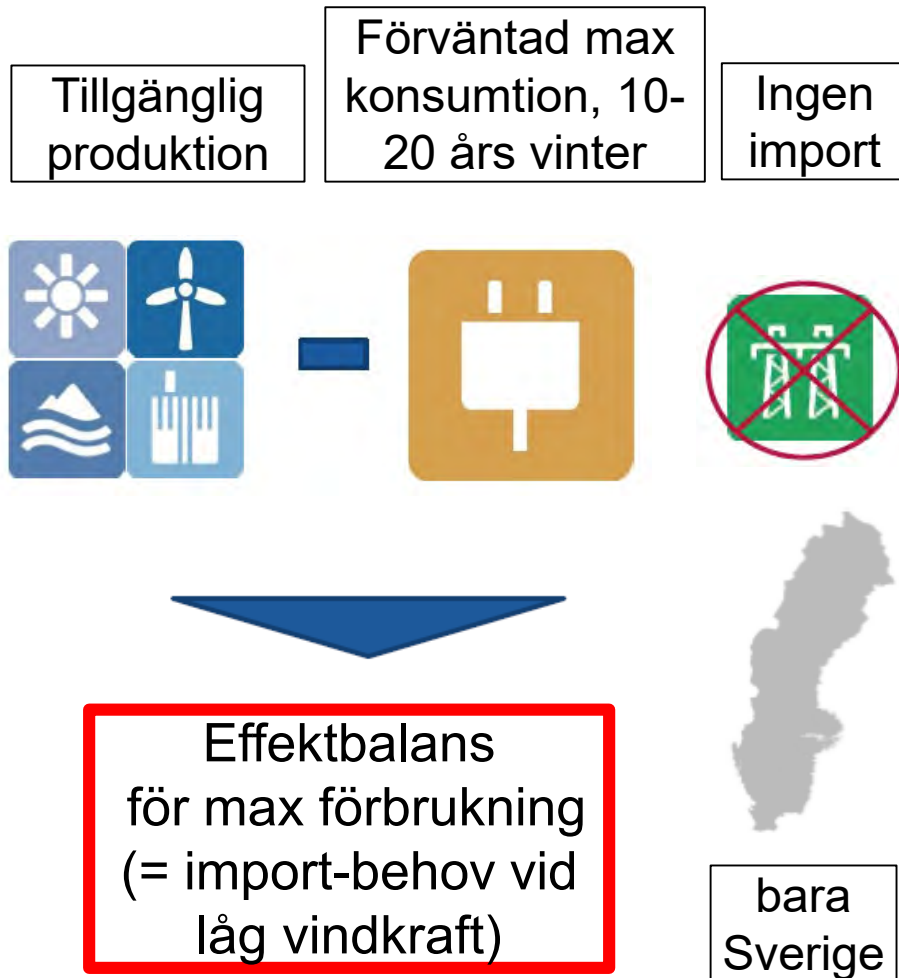
2030

Kärnkraft: 120 \$/MWh ≈ **103** öre/kWh

Vindkraft-land: 45 \$/MWh ≈ **39** öre/kWh

Om leveranssäkerhet för Sverige

Statisk metod



Stokastisk metod



Leveranssäkerhet med stokastisk metod

	2021	2045 Planerbart	2045 Förnybart
LOLE: Antal timmar per år utan tillräcklig kapacitet någonstans	0,2 h/år	0,0 h/år	0,5 h/år

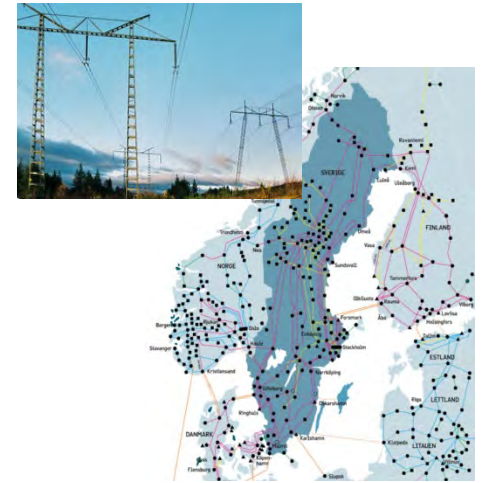
Antagen flexibilitet

- 40% av elfordonen är flexibla
- Vätgas-användning: 7 dagars lager + 100% extra elektrolysörer
- Serverhallar antas ha batterier / back-up kraftverk
- 1000 MW lägre mängd "termisk" kraft i "förnybart" trots högre pris



Vad är en ”integrations- kostnad” ?

11 november, 2021
av Lennart Söder
Professor Elkraftsystem, KTH





Vad är en ”**integrationskostnad**” ?

”**integrations-kostnad**” för en ”åtgärd” = ändring av kostnad i hela systemet som en följd av denna ”åtgärd”

Vad är en ”**integrationskostnad**” ?

”**integrations-kostnad**” för en ”åtgärd” = ändring av kostnad i hela systemet som en följd av denna ”åtgärd”

Exempel 1: **Elbilar**

- Det behövs **elproduktion**, energi (kWh)
- Det behövs **laddstolpar**
- Det behövs tillräckligt med **effekt** (kW) om alla laddar samtidigt

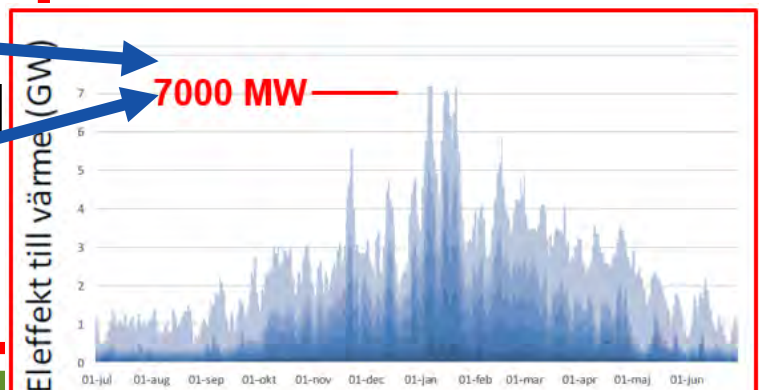


Vad är en "integrationskostnad" ?

"**integrations-kostnad**" för en "åtgärd" = ändring av kostnad i hela systemet som en följd av denna "åtgärd"

Exempel 2: Elvärme

- Det behövs elproduktion, energi (kWh)
- Det behövs elnät
- Det behövs tillräckligt med effekt (kW) för max konsumtion



Det timvisa svenska effektbehovet för vintern 15/16

Vad är en "integrationskostnad" ?

"**integrations-kostnad**" för en "åtgärd" = ändring av kostnad i hela systemet som en följd av denna "åtgärd"

Exempel 3: Kärnkraft

- Det behövs elnät, MW
- Det behövs backup
- Det behövs svängmassa



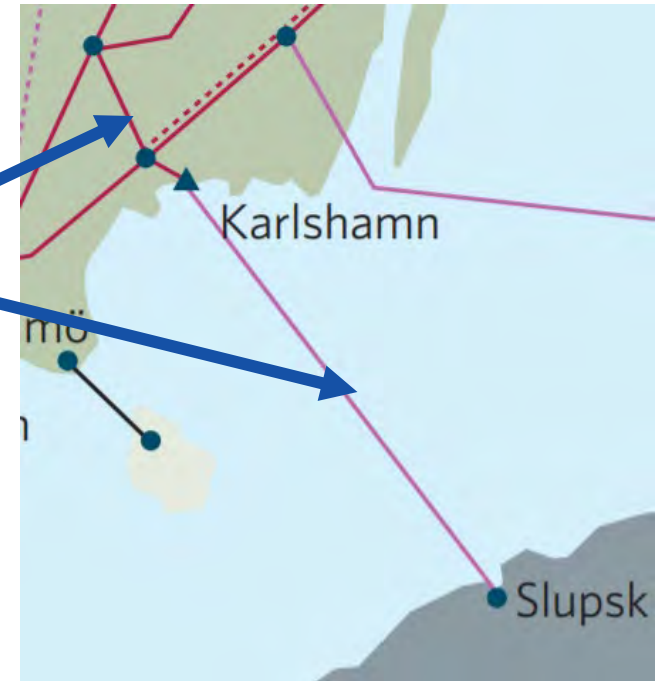
Driftår	Snitt	Förändring, MW	Total MW	Information/Namn
2022	SE1→FI	-300	1 200	I och med idrifttagning Olkiluoto 3

Vad är en "integrationskostnad" ?

"**integrations-kostnad**" för en "åtgärd" = ändring av kostnad i hela systemet som en följd av denna "åtgärd"

Exempel 4: Nya kablar

- När Polen-kabeln installerades
- Behövdes fler förstärkningar i elnätet
- Nya kabeln Norge-UK kräver ny systemtjänst.



Vad är en ”**integrationskostnad**” ?

”**integrations-kostnad**” för en ”åtgärd” = ändring av kostnad i hela systemet som en följd av denna ”åtgärd”

Exempel 5: Vindkraft

- Det behövs en kontinuerlig balansering
- Det behövs elnät
- Systemet måste klara av situationer med låg och hög vind



Vad är en ”**integrationskostnad**” ?

”**integrations-kostnad**” för en ”åtgärd” = ändring av kostnad i hela systemet som en följd av denna ”åtgärd”

Verkligheten: **Allt finns samtidigt:**



+



+



+



+



+

Allt annat

Hantering av ”**integrationskostnad**”:

Med en marknad där man får betalt för nyttor och betalar för kostnader så erhålls konkurrens.

Verkligheten: **Allt finns samtidigt:**



+



+



+



+



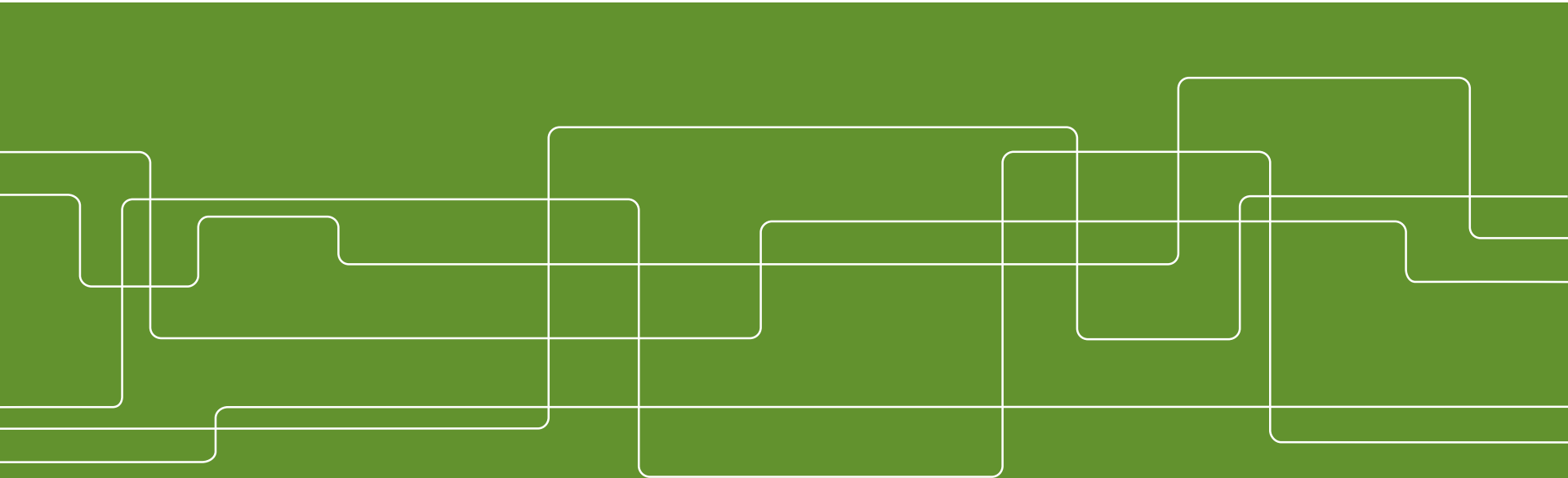
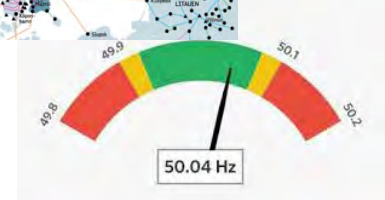
+

Allt annat

Vem betalar för vad + vad får man betalt för ?

11 november, 2021

av Lennart Söder
Professor Elkraftsystem, KTH



Vem betalar för vad + vad får man betalt för ?



Snabbt svar:

- Konsumenter betalar för såväl all kraftproduktion som alla elledningar
- Antingen via elräkningar eller via skatten

Vem betalar för vad + vad får man betalt för ?

Exemplet vindkraft i Sverige:

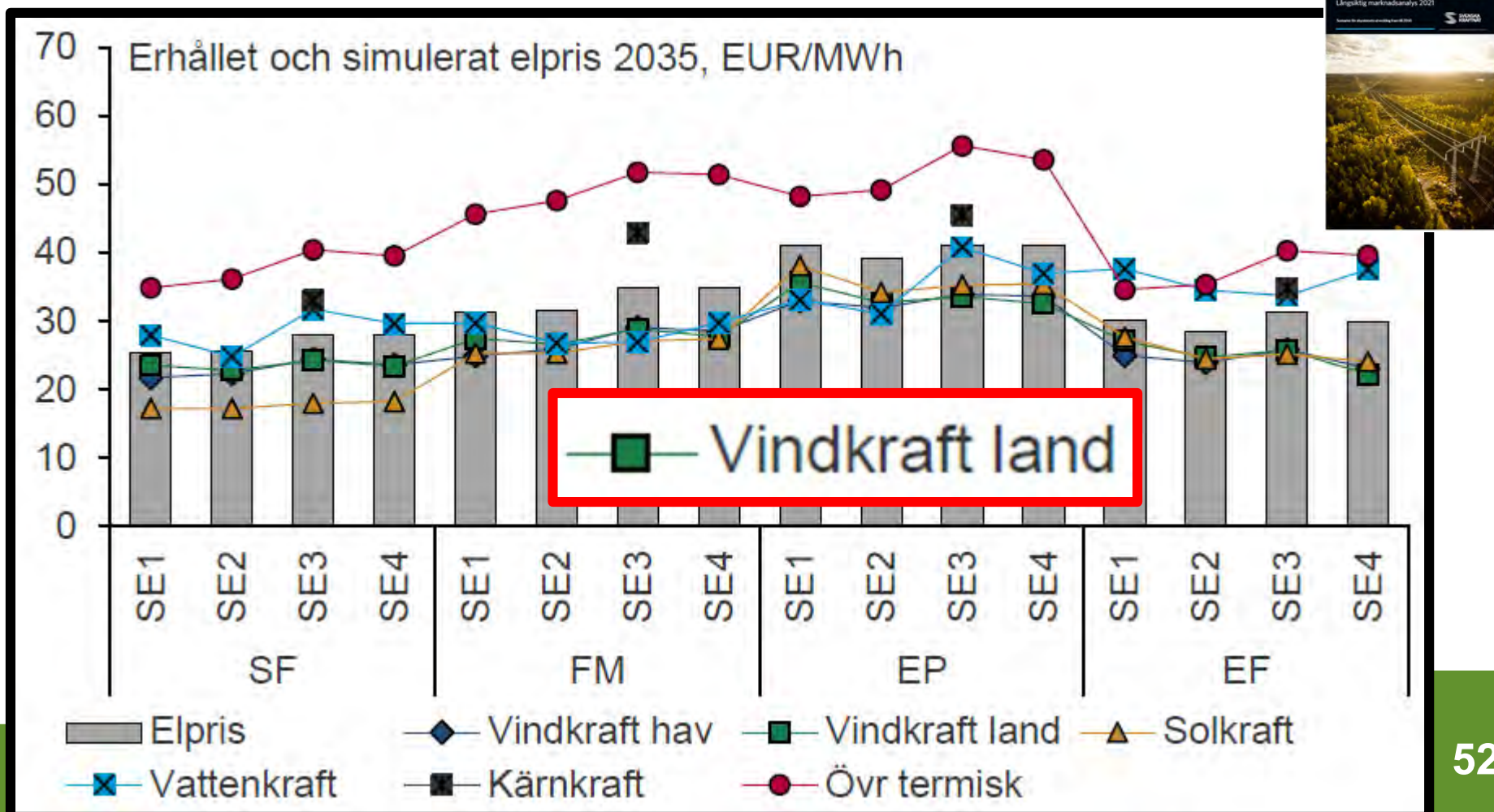
- Värdet på producerad el
- Kostnad för obalanser
- Nätkostnad
- Kostnad för systemtjänster





Vem betalar för vad + vad får man betalt för ?

Exemplet vindkraft i Sverige: Värdet på **producerad el**





Vem betalar för vad + vad får man betalt för ?

Exemplet vindkraft i Sverige: Kostnad för **obalanser**

- Dagen-före marknad: Man **lägger bud** senast 12.00 för kommande dag. T ex "**200 MWh**" kl 13-14.
- Antag att vinden bara "**blåser 180 MWh**"
- → "**obalans om 20 MWh**"
- **Den får vindkraftsägaren betala för.**
- **Extra** "obalansavgift" om 1,15 EUR/MWh $\approx$ **+ 1.15 öre/kWh**



Vem betalar för vad + vad får man betalt för ?

Exemplet vindkraft i Sverige: Kostnad för **elnät**

- Svenska Kraftnät har en "nät-tariff". Olika för olika punkter.

Exempel: **Blåsjön**-inmatning:

Vindkraften betalar:

- **68 kr/kW,år + 7.4%** av kWh
- **Investering i anslutnings-ledning**





Vem betalar för vad + vad får man betalt för ?

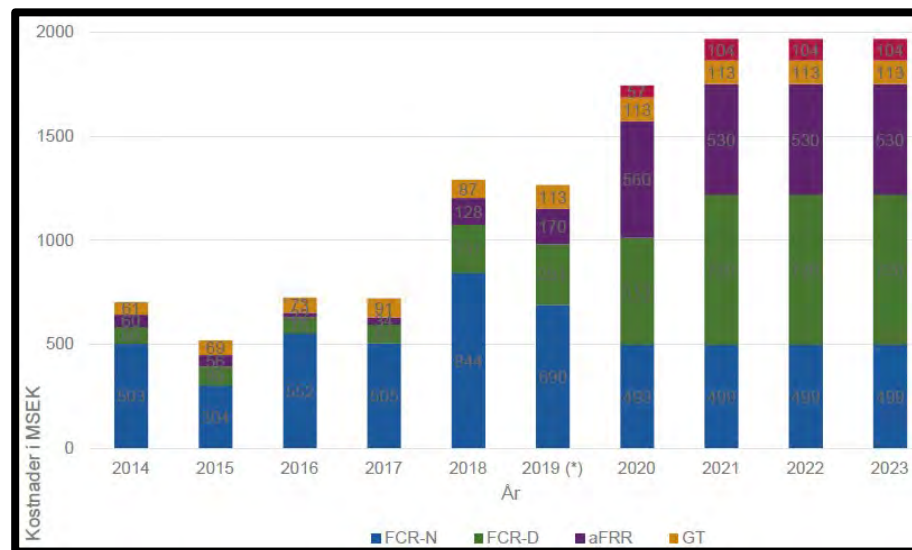
Exemplet vindkraft i Sverige: Kostnad för **systemtjänster**

SvK: har ”**Avgifter för balanskraft och reglerkraft**”. För produktion:

Grundavgift: 0,850

EUR/MWh $\approx$ **0.85 öre/kWh**

Veckoavgift: 30 EUR/vecka



Svenska Kraftnät: Uppskattade systemkostnader $\approx$ 3000 MSEK/år = **2.1 öre/kWh** kons.



Att dimensionera ett elsystem

Energiforsk

11 november 2021

Lennart Söder
Professor Elektriska Energisystem, KTH

<https://www.kth.se/profile/lod>, lsod@kth.se



Frågor?