Västerbergslagens ingenjörsklubb
Ludvika 4 april 2016

Stora mängder förnybar produktion i elsystemet – hur kommer det att fungera ?

Sture Larsson

F.d. teknisk direktör och stf generaldirektör
Svenska Kraftnät

Vision

”Sverige ska ha ett 100 procent förnybart elsystem om 20 år”

Ibrahim Baylan (s) och Lise Nordin (mp)

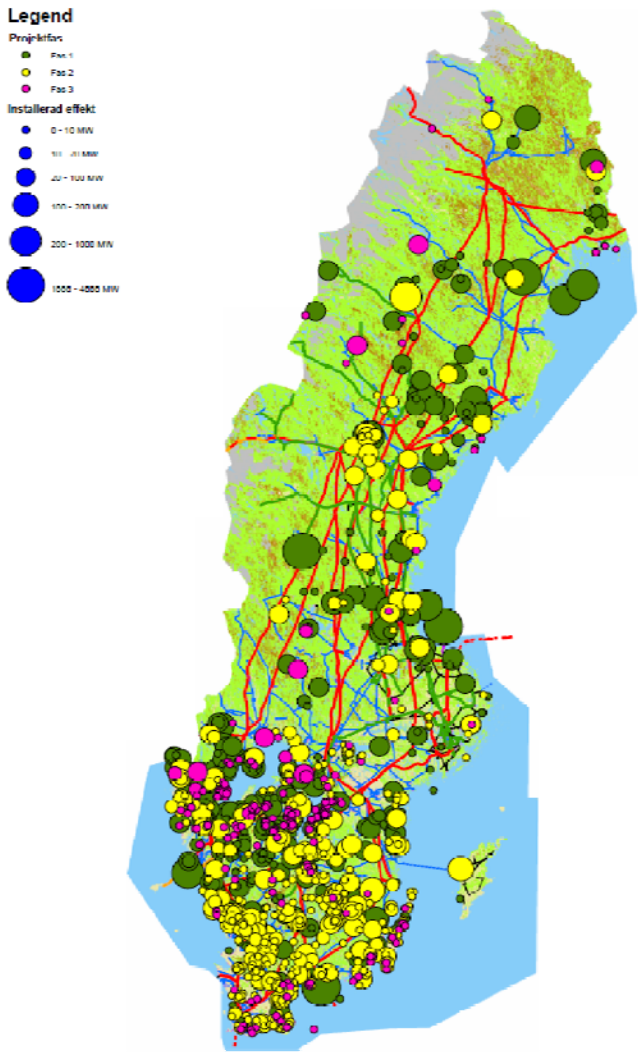
DN-debatt 27 mars 2016

Möjlig utveckling av förnybar elproduktion i Sverige

- Summering av alla registrerade vindkraftprojekt:
  ca **45 000 MW** **(Hypotetiskt ca 100 TWh)**

- Solkraft, 10 TWh, ca **10 000 MW**

- Installerad kapacitet:
  Vattenkraft **16 200 MW**
  Kärnkraft **9 400 MW**



En paradox i utvecklingen av elsystemet

•En omfattande utbyggnad av förnybar, icke styrbar elproduktion ställer krav på egenskaper i elsystemet som finns hos befintlig styrbar produktion.

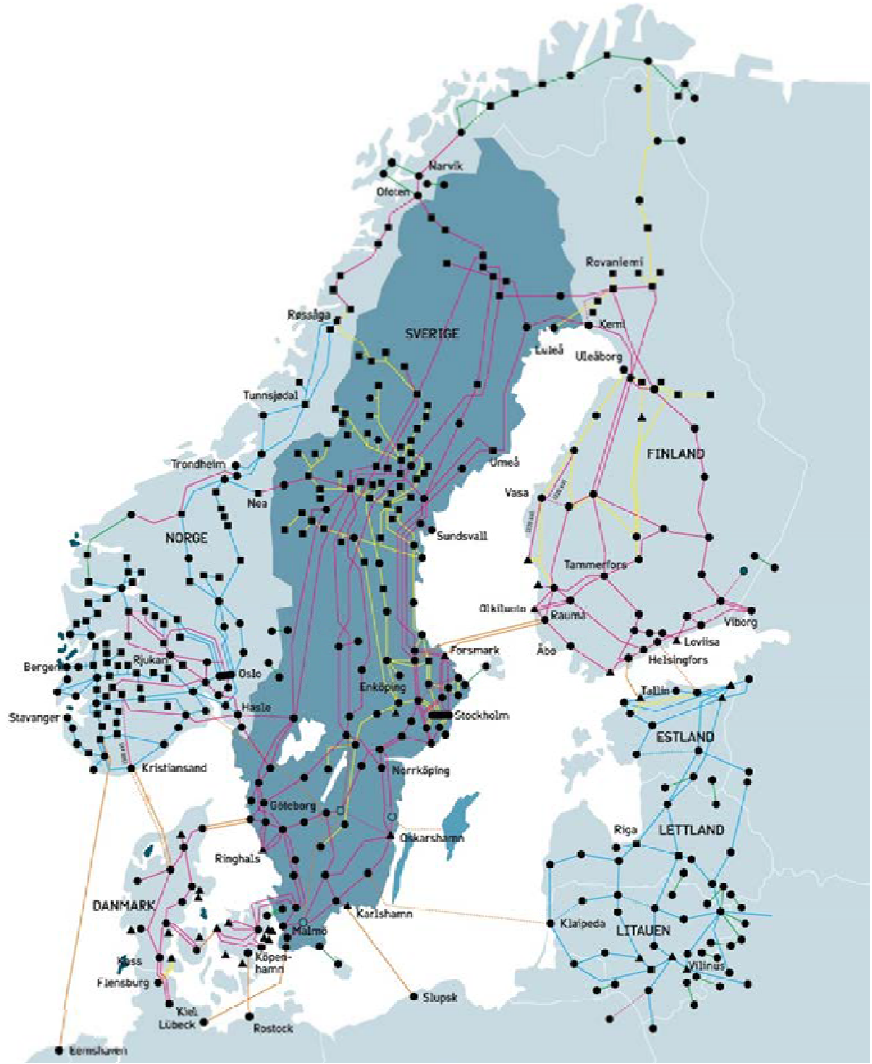
•Om den tillkommande förnybara produktionen ska uppnå sina förväntade årsenergier så måste den kunna utnyttjas maximalt under tider med hög tillgång på vind och sol.

•Under sådana tider kommer det inte att finnas utrymme i kraftbalansen för den styrbara elproduktion som behövs för att hantera den icke styrbara.

Fysiska utmaningar i ett framtida elkraftsystem

- Balansering, tillräcklighet
- Överföringsförmåga
- Störningstålighet

Det nordiska elkraft-systemet



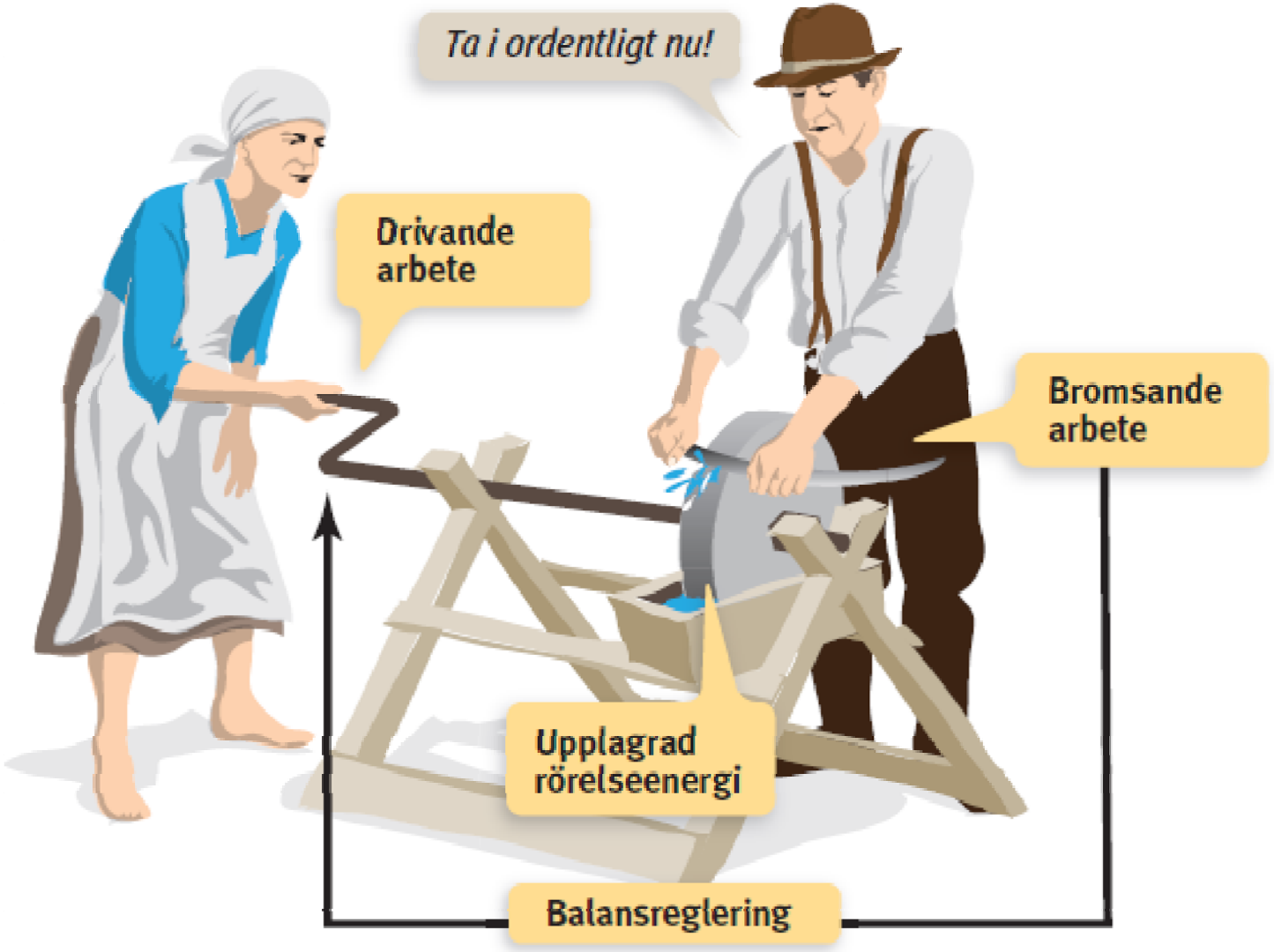
Fysiska grundförutsättningar i ett elkraftsystem

Den elektriska produktionen måste alltid vara lika med förbrukningen

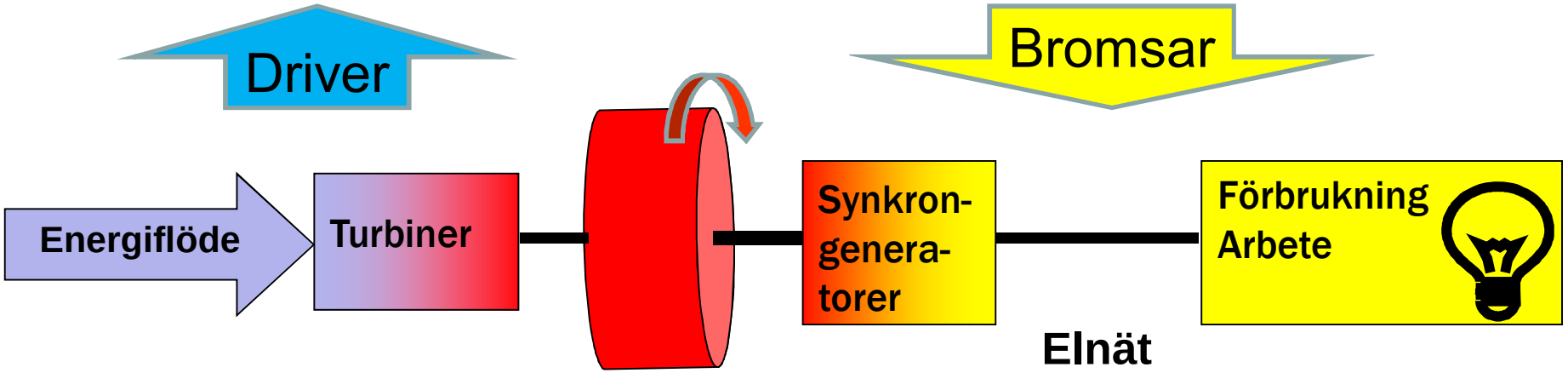
....i varje ögonblick !

…om inte elsystemet är i balans så kollapsar det !

Mekaniskt energisystem i balans



Balans i ett synkront elkraftsystem



Hydrologisk balans

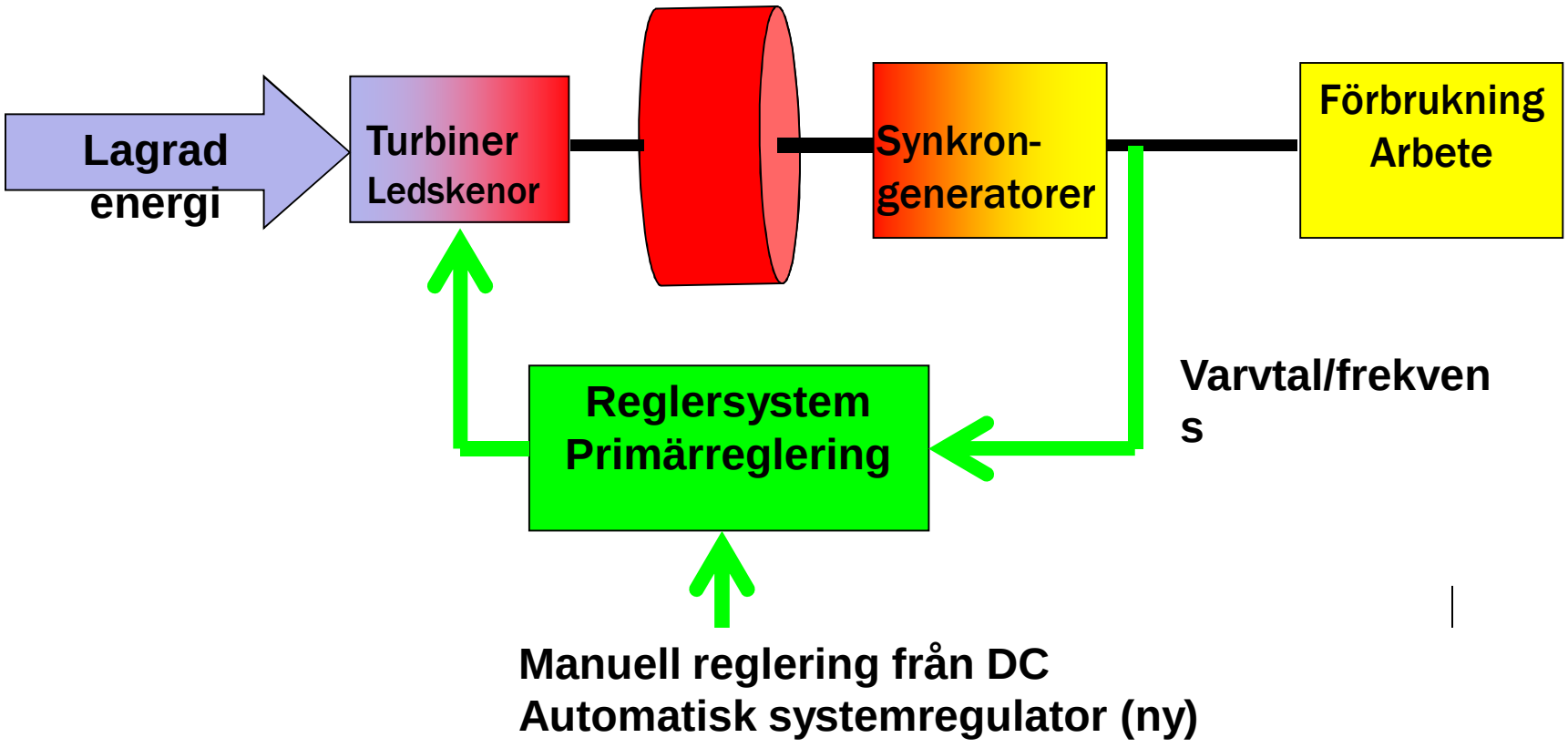
Mekanisk effektbalans

Termodynamisk balans

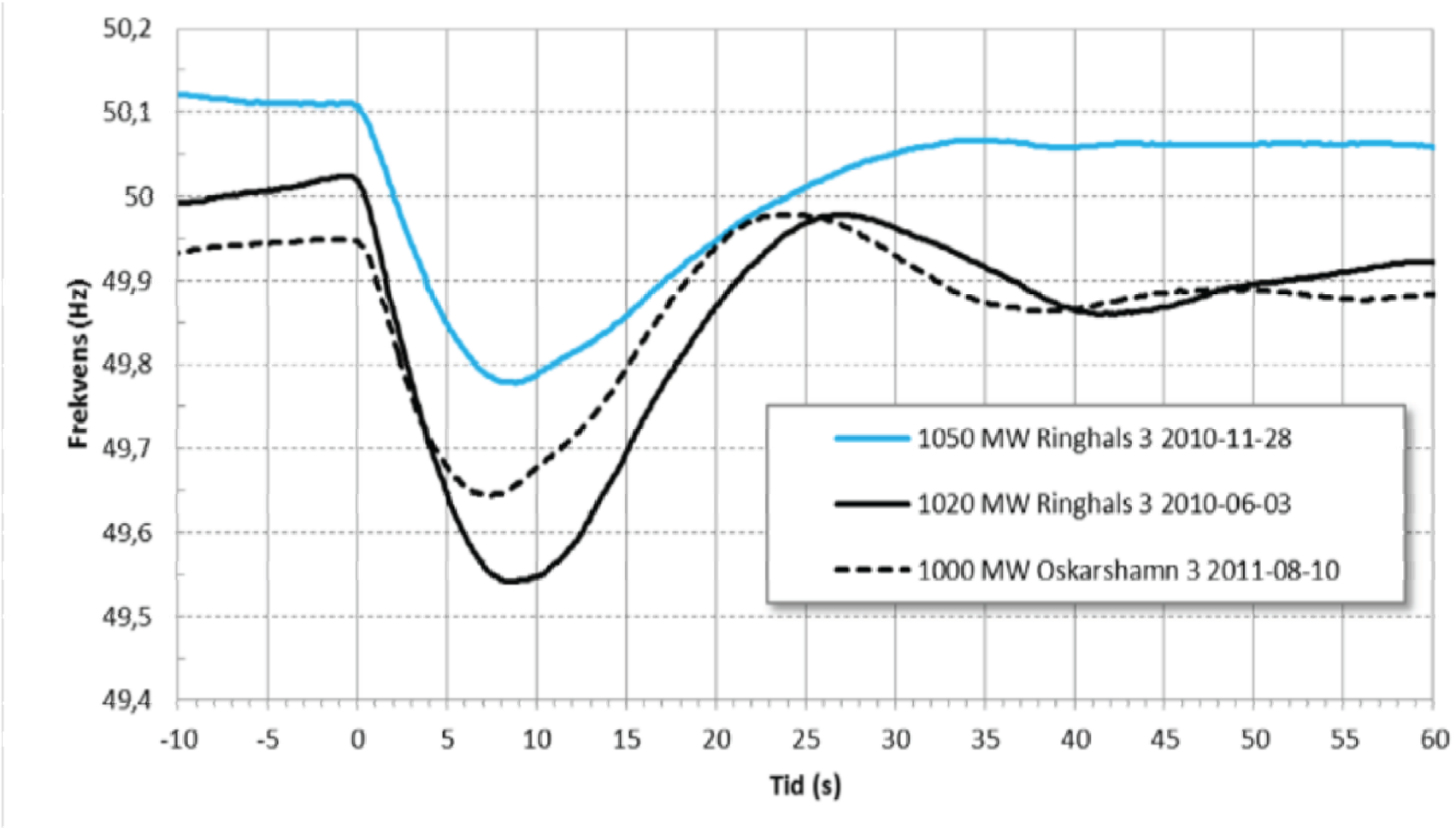
Bränsle-tillförsel

Elektrisk effektbalans

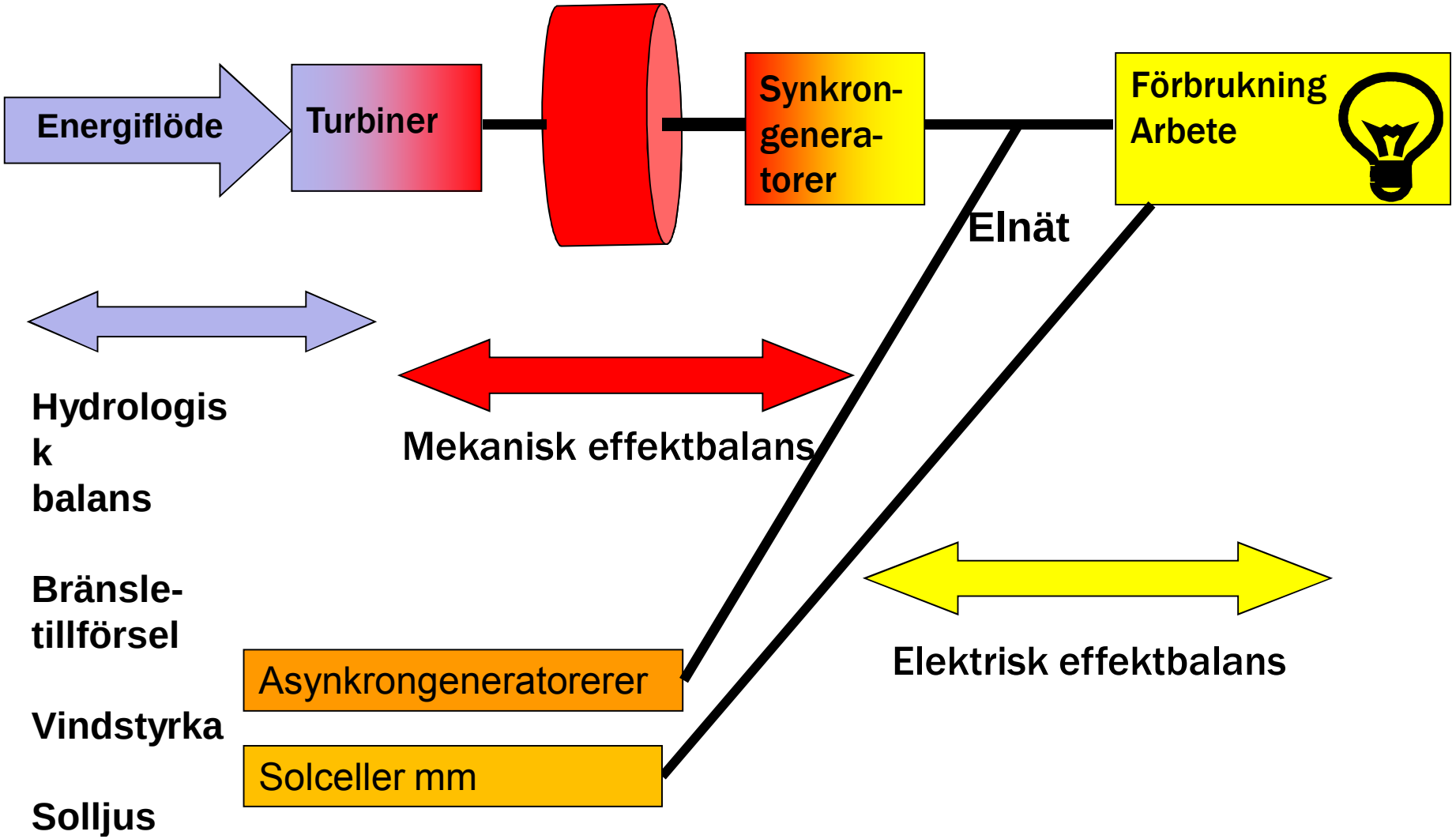
Effektbalans i elkraftsystemet



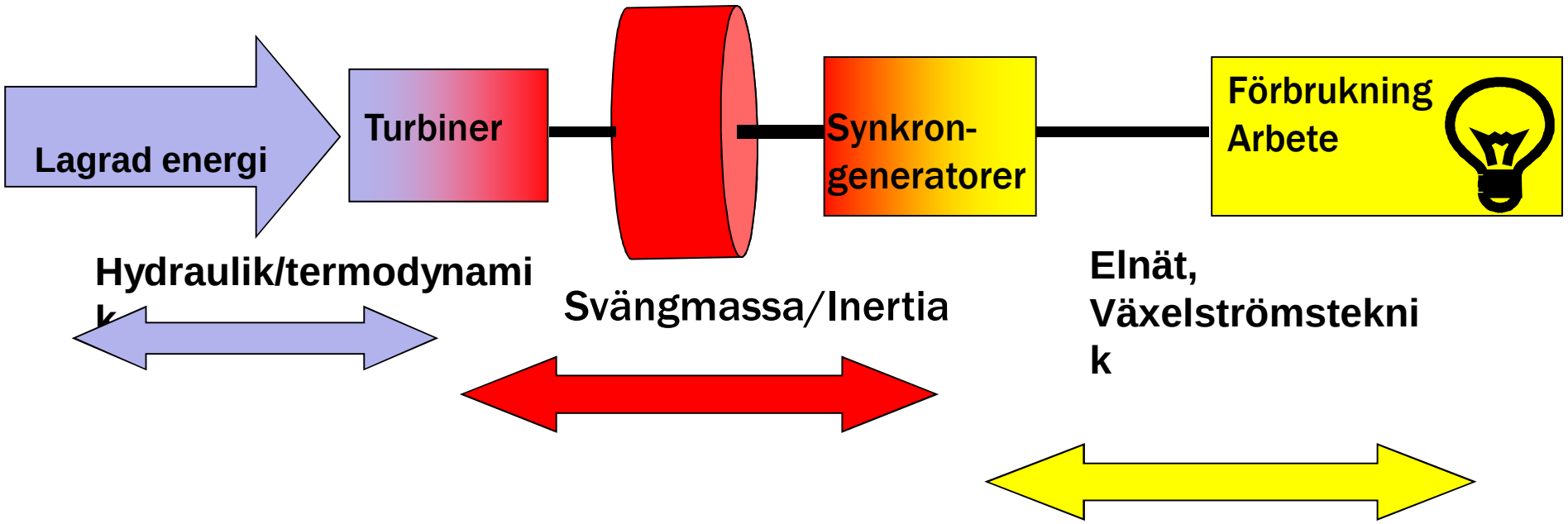
Frekvensfall vid olika nivå på svängmassa/inertia



Balans i ett elkraftsystem med synkron och icke synkron produktion



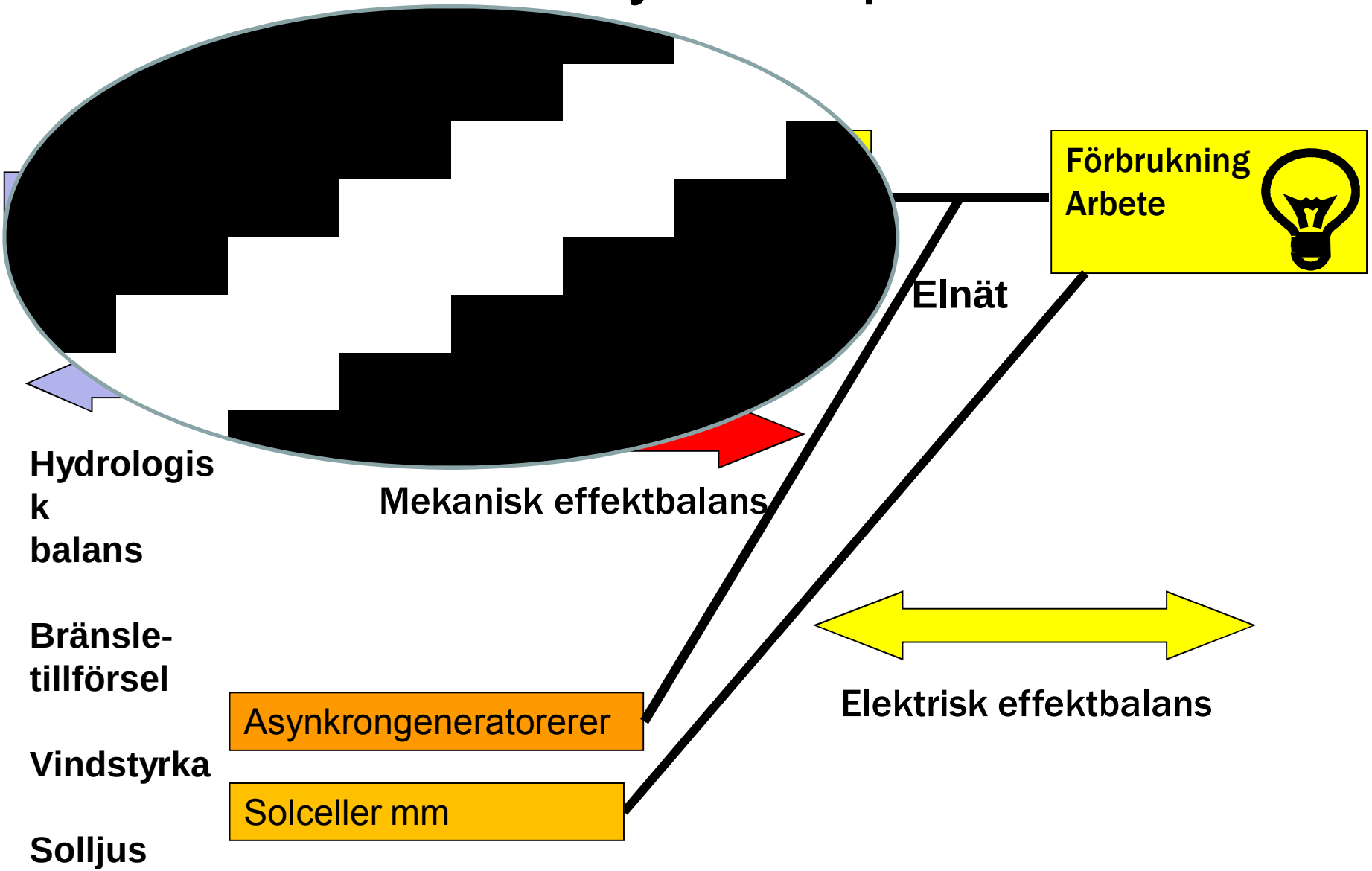
Svängmassans betydelse



Risk för otillräcklig svängmassa:

- Låg förbrukning
- Stor andel förnybar elproduktion
- Liten andel produktion i synkrona generatorer

Balans i ett elkraftsystem med endast icke synkron produktion



Konsekvenser av otillräcklig mekanisk svängmassa, inertia

- Oroligt och svårbalanserat system
- Stora frekvensavvikelser vid balansstörningar

- Avhjälpande möjligheter:
  - Driva synkrongeneratorer infasade med liten eller ingen produktion
  - Bygga synkronkompensatorer med stor roterande massa
  - Skapa syntetisk svängmassa genom mycket snabb (<1s) aktivering av andra former av upplagrad energi
    - Strömriktaransluten vindkraft, HVDC VSC
    - Nya former av ellagring

Balansreglering i vattenkraft

Förutsättningar:

- Inbyggd reglerförmåga i vattenvägar, svallgallerier, regulatorer mm
- Vattenhushållningsbestämmelser miljö(vatten)domar

✓Magasinsnivåer, övre och nedre möh

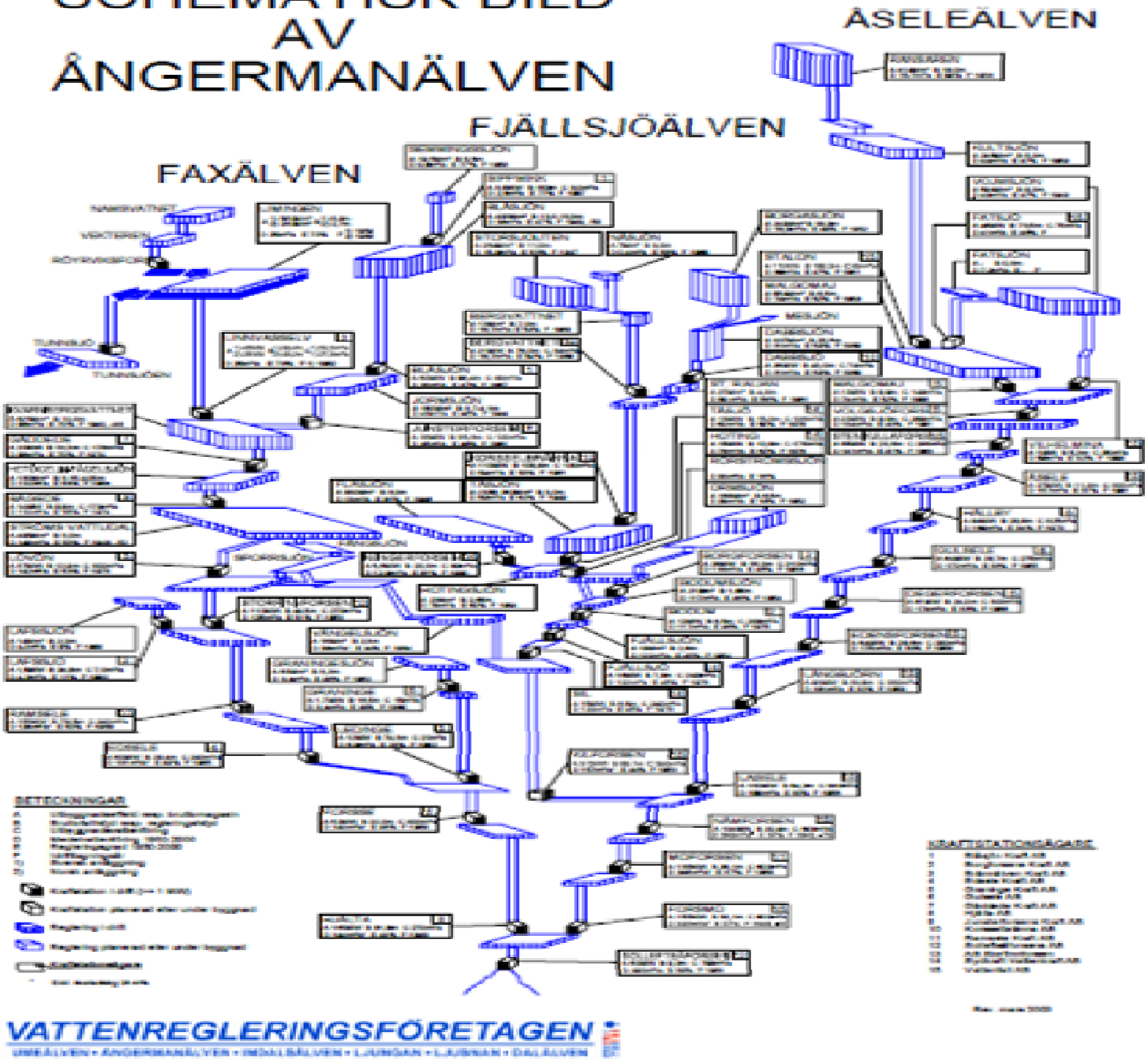
✓Flödesbegränsningar Qmax, Qmin m^3/s

✓Flödesändringar max $Q\Delta$ m^3/s, h

Kräver:

Löpande planering på av den hydrologiska balansen på systemnivå mht magasinsvolymer, gångtider mm

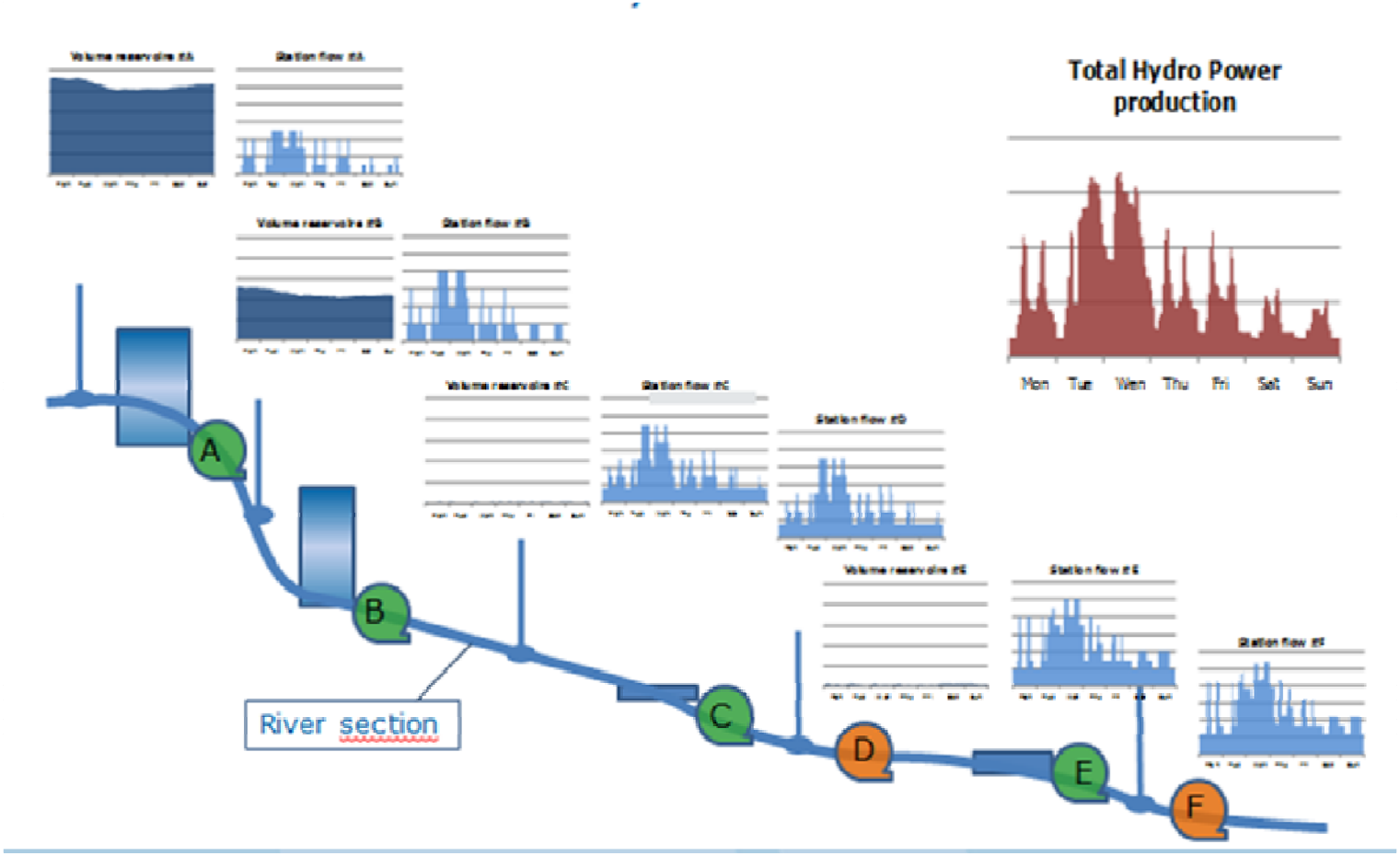
SCHEMATISK BILD AV ÅNGERMANÄLVEN



Vattenkraftens reglerskeden

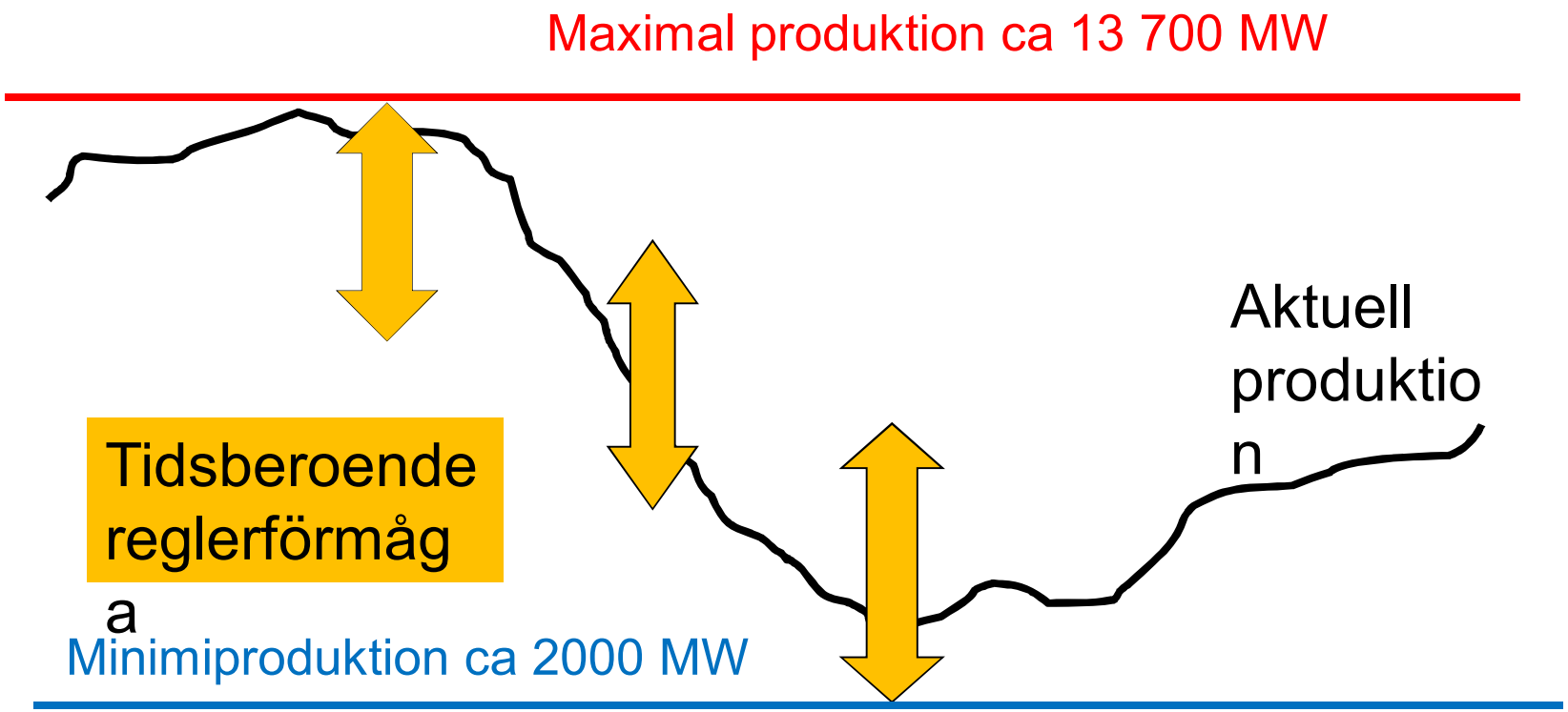
- Årsreglering
  - flera år, årstider, veckor
- Korttidsreglering
  - veckor, dygn, timmar
- Balans- och störningshantering
  - minuter, sekunder

Exempel på vattenregleringen i en älvsträcka under en vecka

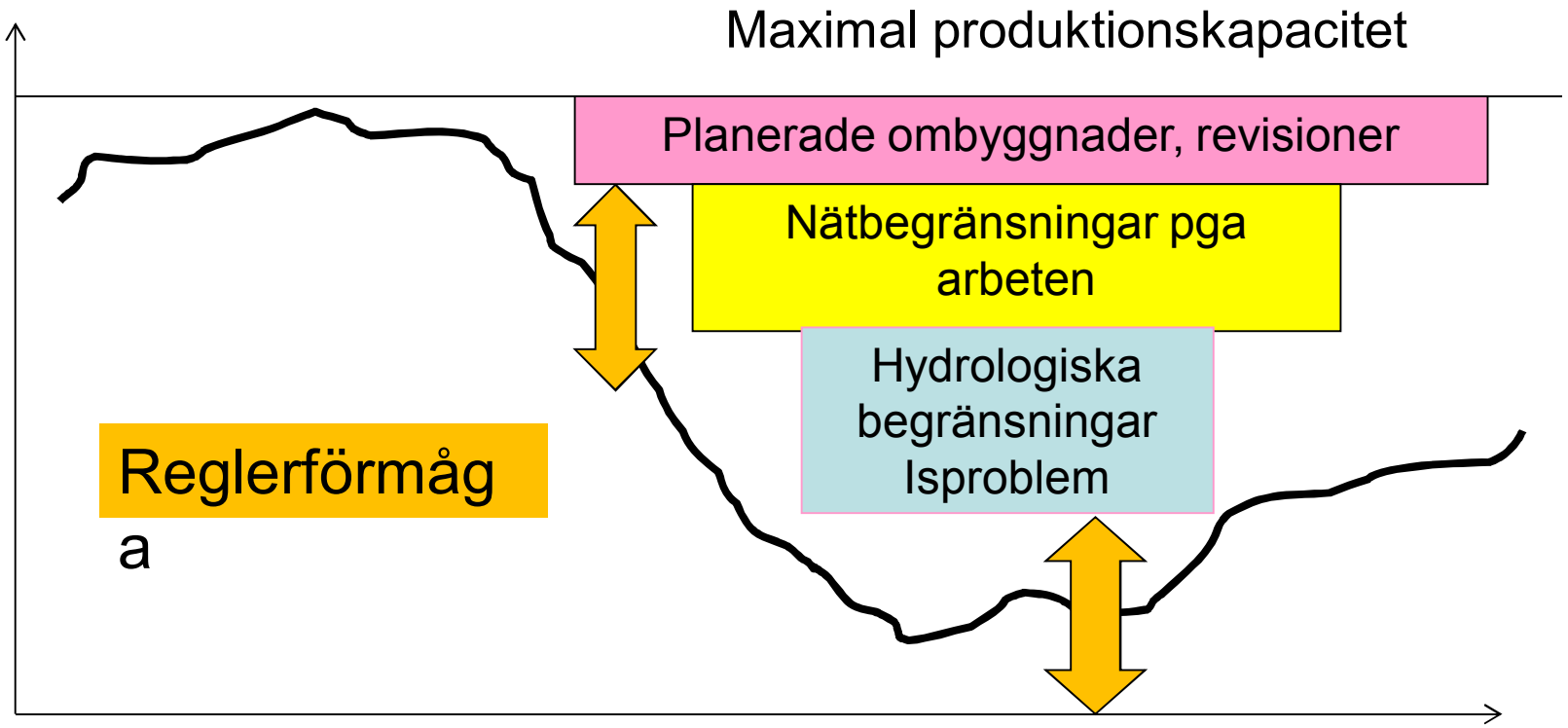


Källa: Svensk Energi

Vattenkraftens reglerförmåga



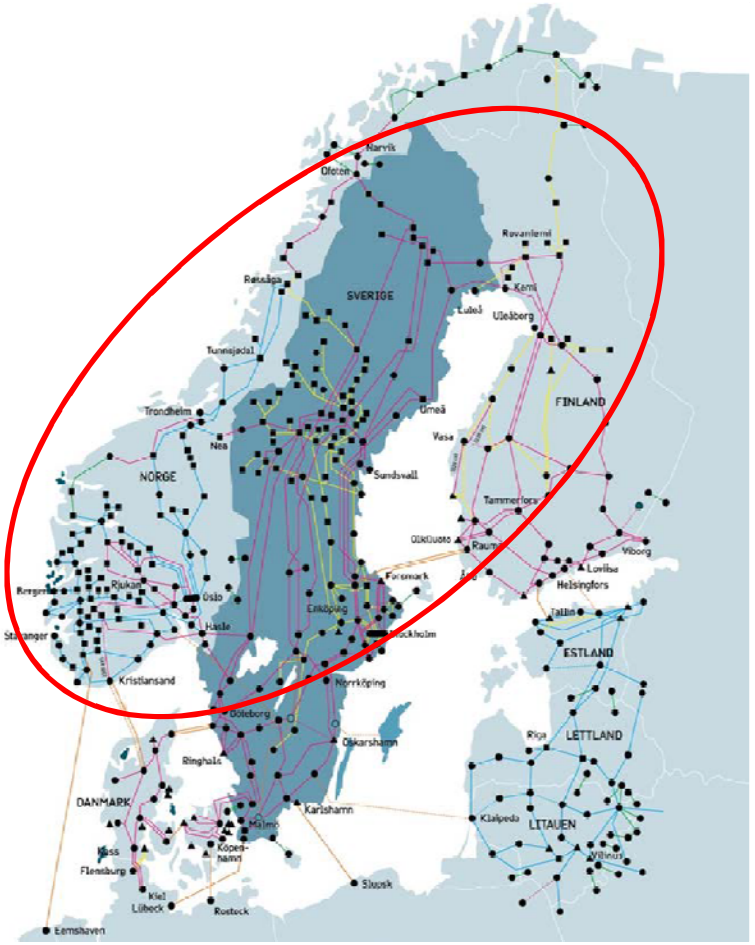
Begränsningar av reglerförmågan



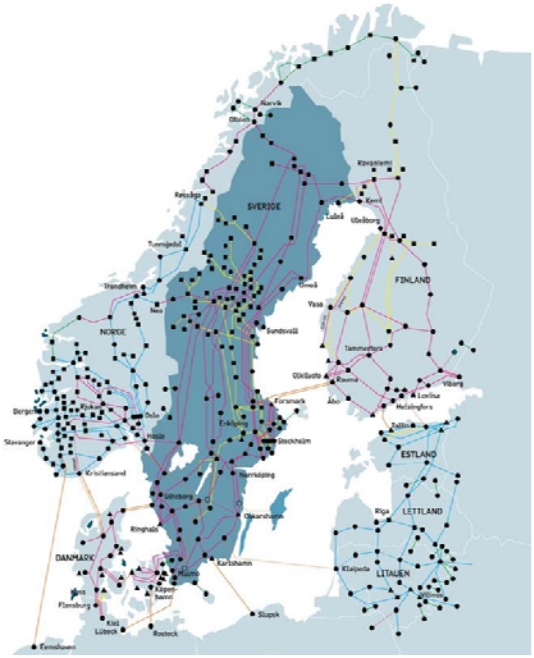
Nordiska vattenkraftresurser

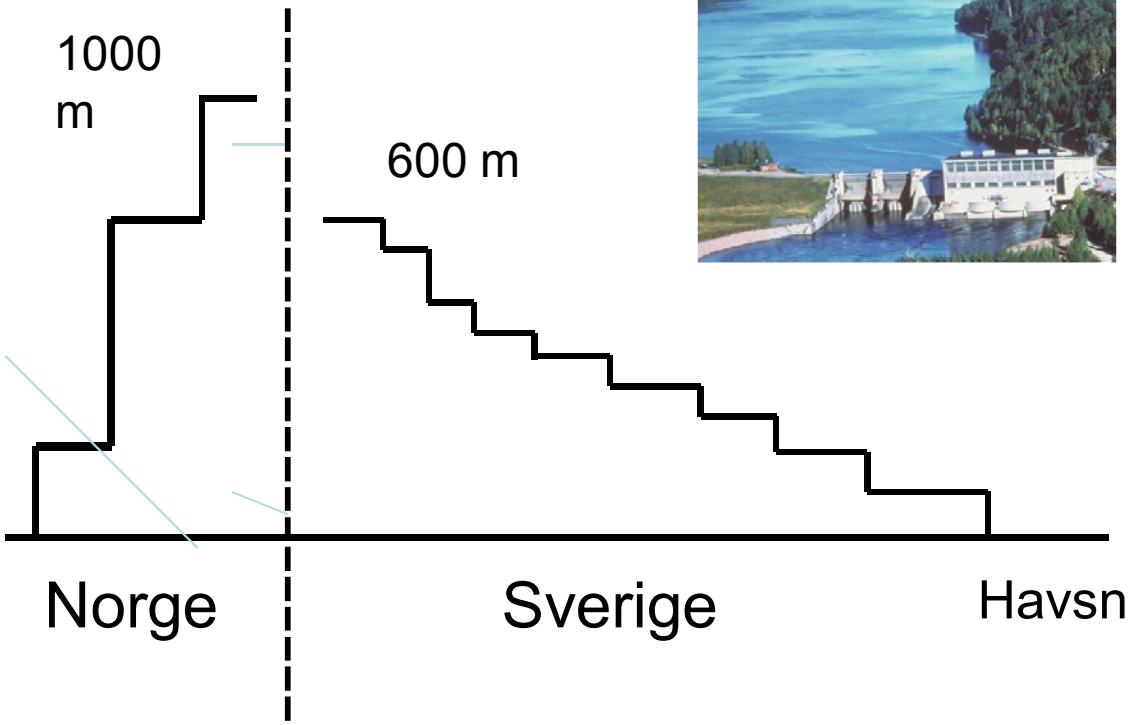
Installerad effekt:

- Norge 30 000 MW, 125 TWh
- Sverige 16 000 MW, 65 TWh
- Finland 3 000 MW, 15 TWh



Principiell skillnad mellan norsk och svensk vattenkraft





Nationsgränsen följer vattendelaren mellan flöden till Atlanten/Nordsjön och Bottenhavet/Östersjön

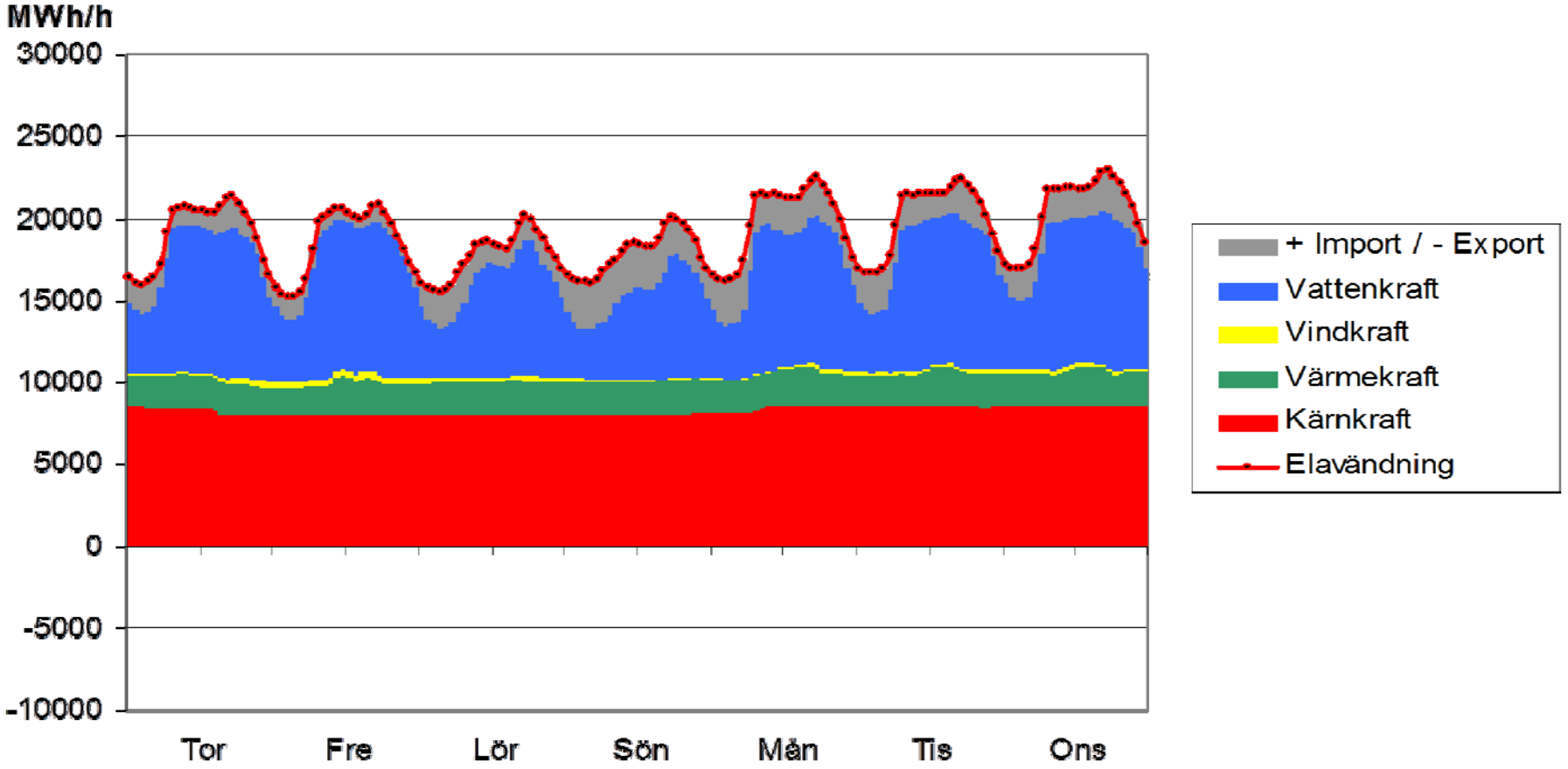
Marknadsmekanismer för balansregleringen

	Tidskrav:
•NordPool Spot, timhandel för 24 timmar dygnet före (day ahead)	Avslut kl 12.00 dagen före
•NordPool Spot Elbas timvis justeringsmarknad under innevarande dygn (intra day)	Avslut 2h före drifttimmen
•Reglermarknaden, de systemansvariga i Norden köper reglertjänster under drifttimmen	Minuter
•Primärreglering, de systemansvariga upphandlar automatiska reglertjänster	Sekunder

Krav: Balansansvariga företag är skyldiga att se till att timvis balansera produktion och inköp gentemot försäljning.

Kraftbalansen under en vecka

Nivåskillnad dag/natt 5000 – 6000 MW





Balansering med stora mängder vind- och solkraft

Förbrukningens variationer

Vindkraftens variationer

Solkraftens variationer

Reglerbehov

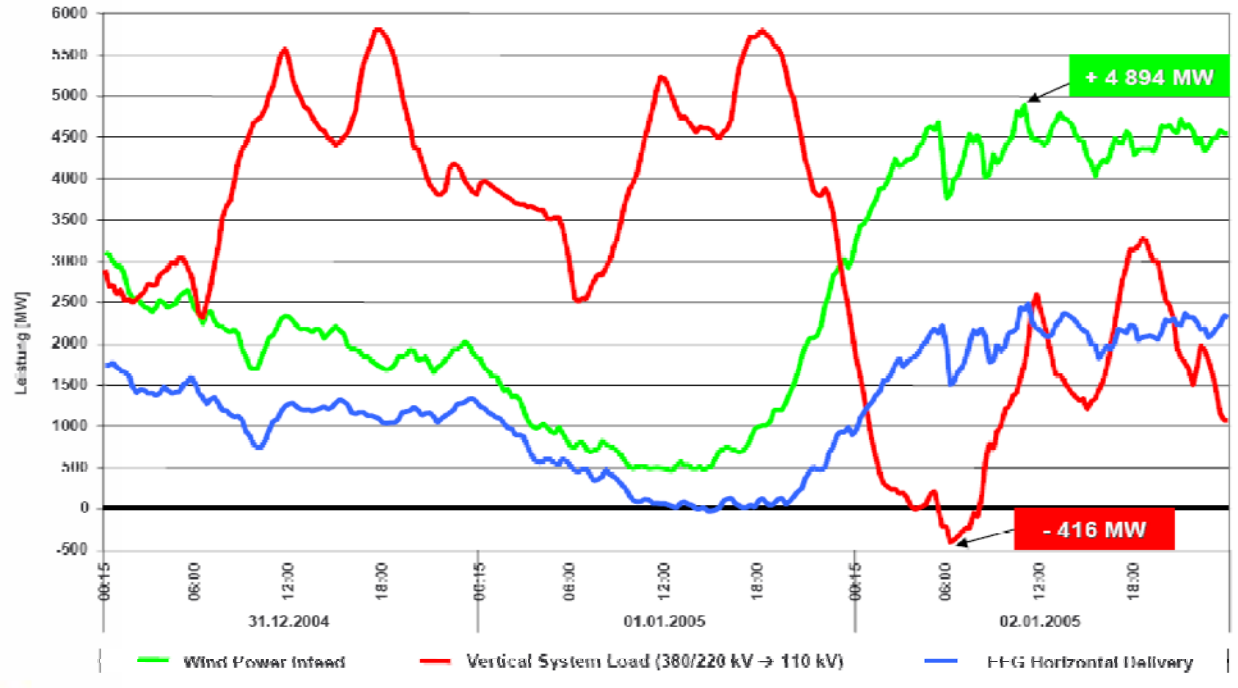
Förutsättningarna för att reglera lika stora variationer i förbrukning och vindkraft är **inte lika**

- Förbrukningens stora variationer är väl förutsägbara
- Vindkraftens variationer uppträder helt oregelbundet
- Innebär helt olika strategier för korttidsregleringen av vattenmagasinen
- Extrema situationer med stora reglerbehov i samma riktning måste kunna hanteras

Simulering med historiska vindserier avbildar inte prognososäkerheten vid verklig drift

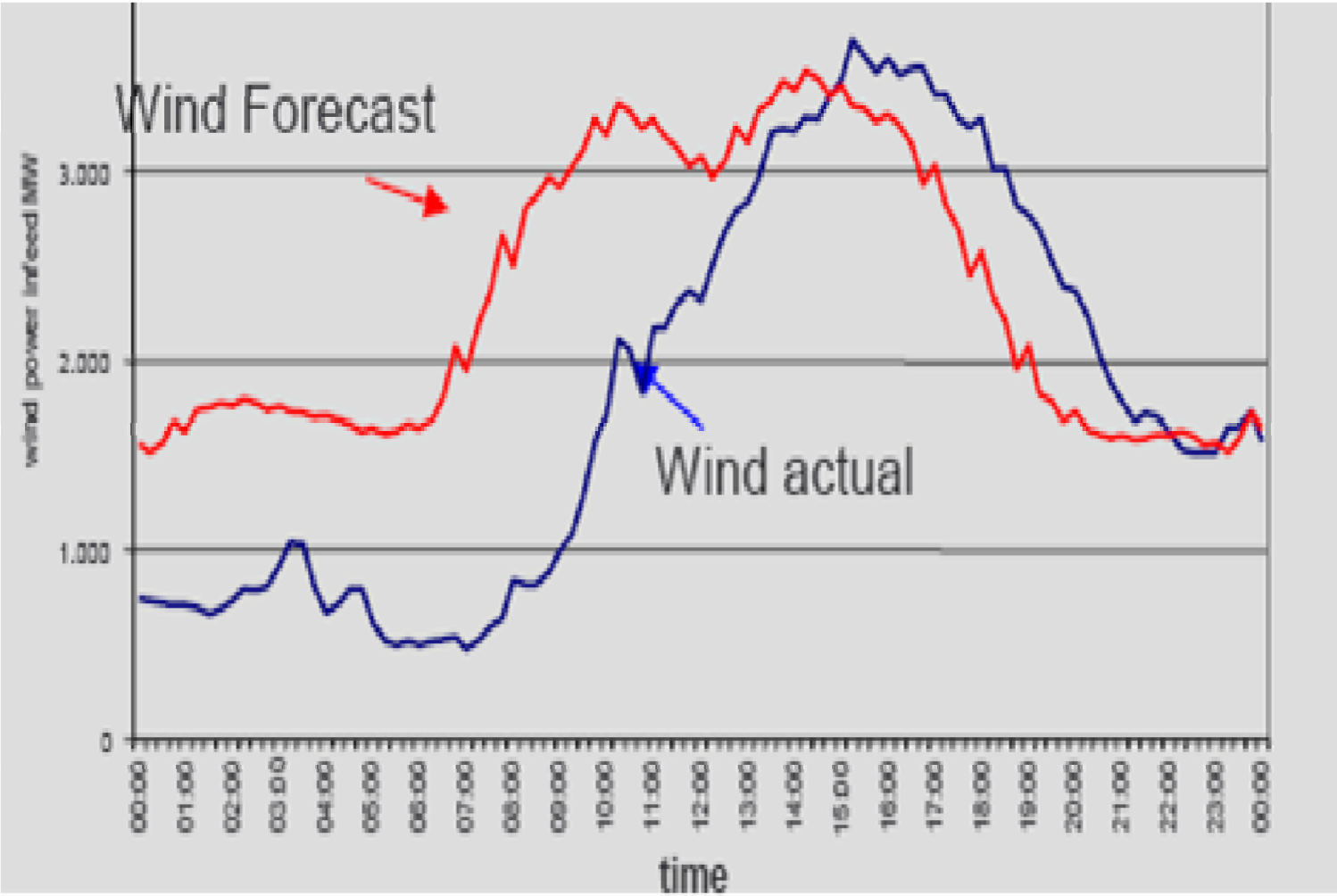
Sammanlagring/pålagring av variationer i vindkraft och förbrukning

Exempel från Tyskland vid ca 20 000 MW installerad vindkraft

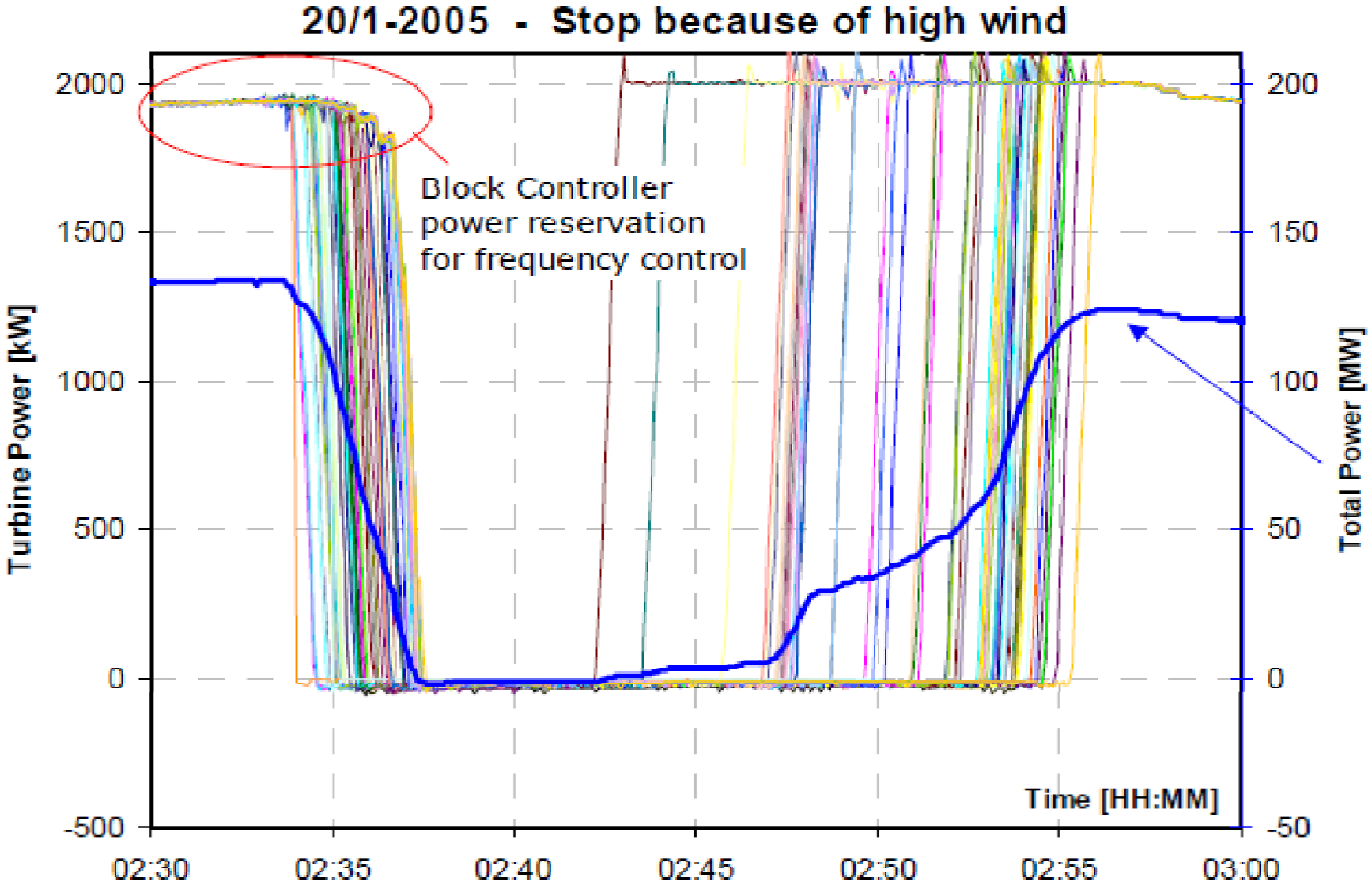


Ökning av vindkraft ca 4400 MW
Minskning av förbrukning ca 6000 MW
Reglerbehov ca 10 000 MW under 4 timmar

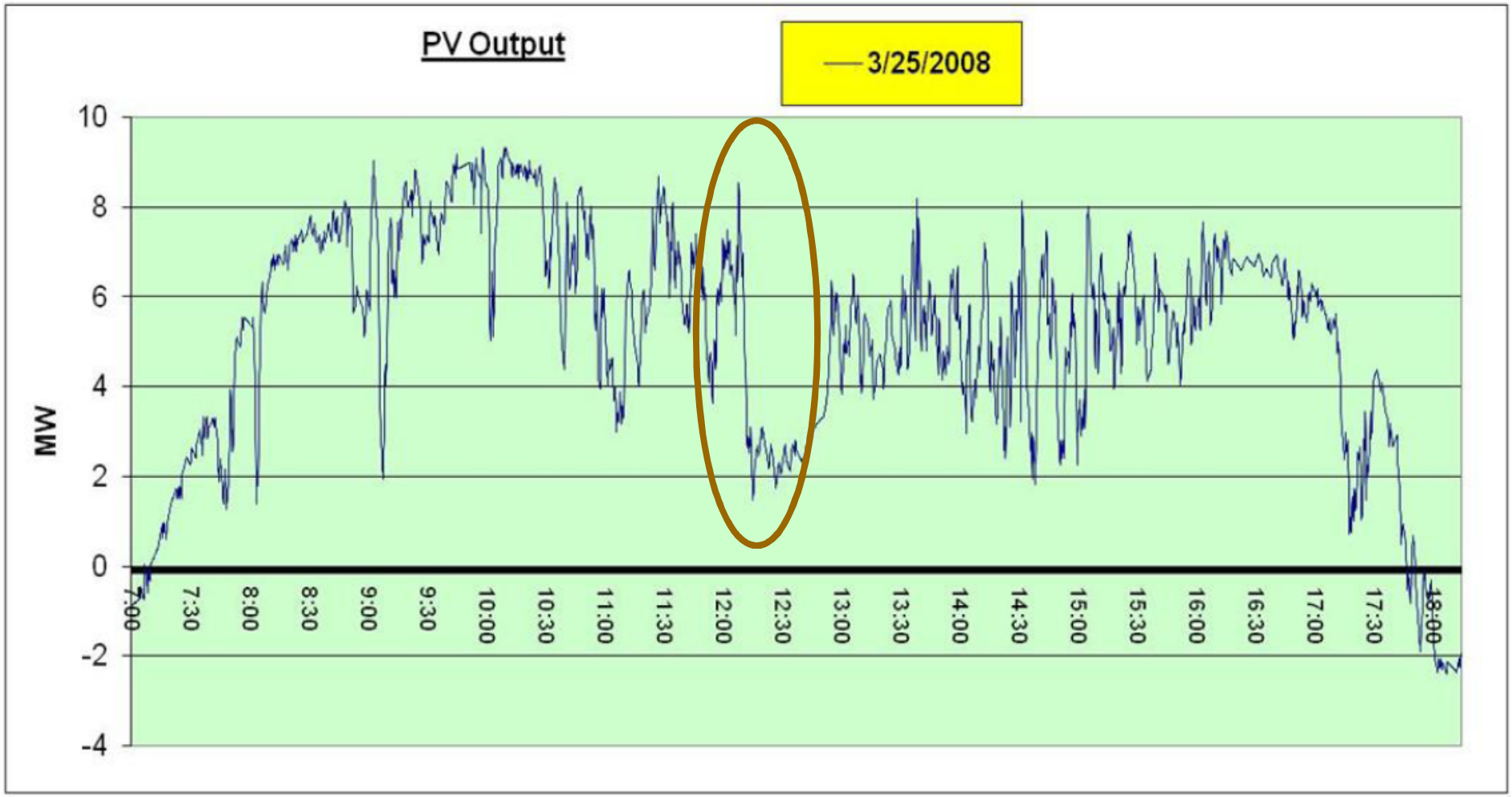
Vindkraften är svårprognoserad i tiden



Extreme Wind Shut Down



Cloudy Weather Ramping

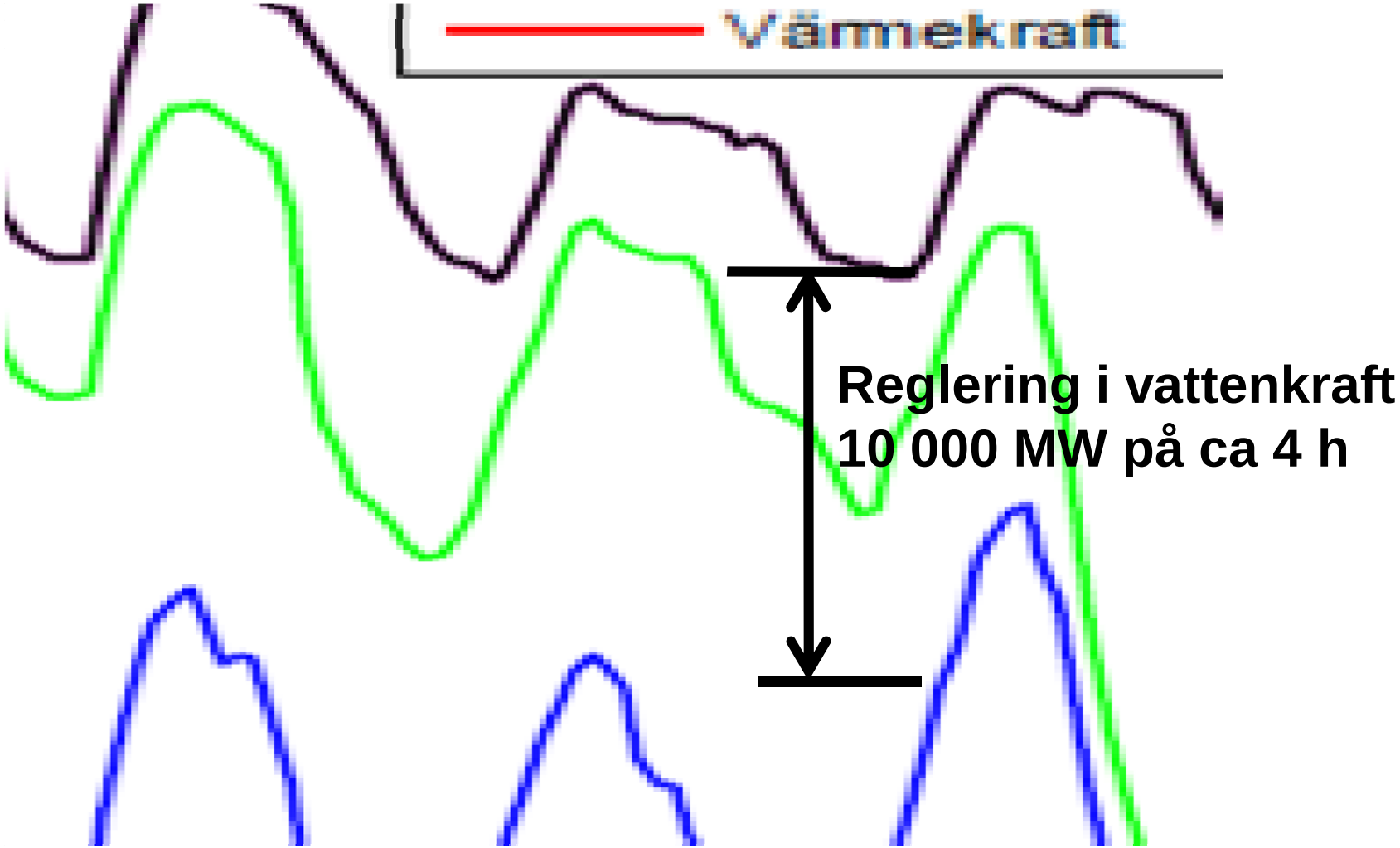


PV Plant output on a partly-cloudy day (Sampling time 10 seconds)

KTH studie med 60 TWh/år vind-och solkraft

”På väg mot en elförsörjning baserad på enbart förnybar el i Sverige version 3.0”

Orealistiskt forcerad reglering av vattenkraften



Balansreglering vid mycket höga nivåer av vind och solkraft

- En hårt forcerad utnyttjning av vattenkraftens reglerförmåga

- Konflikt med vattenekologiska hänsyn

- Begränsningar av reglerförmågan genom implementeringen av EU:s vattendirektiv

Konsekvenser om vattenkraftens kapacitet och reglerförmåga inte räcker till

- Fossileldad produktion i Sverige eller i övriga Europa, (gas, olja, kol)
- Spill av förnybar energi (vatten, vind, sol)
- Tvingande frånkoppling av förbrukning

En KTH-studie visar att vid 55-60 TWh vind och sol kan spill- eller bristsituationer uppstå under ca 20% av årets timmar.

Vattenkraftens reglerförmåga

Motstående miljöhänsyn:

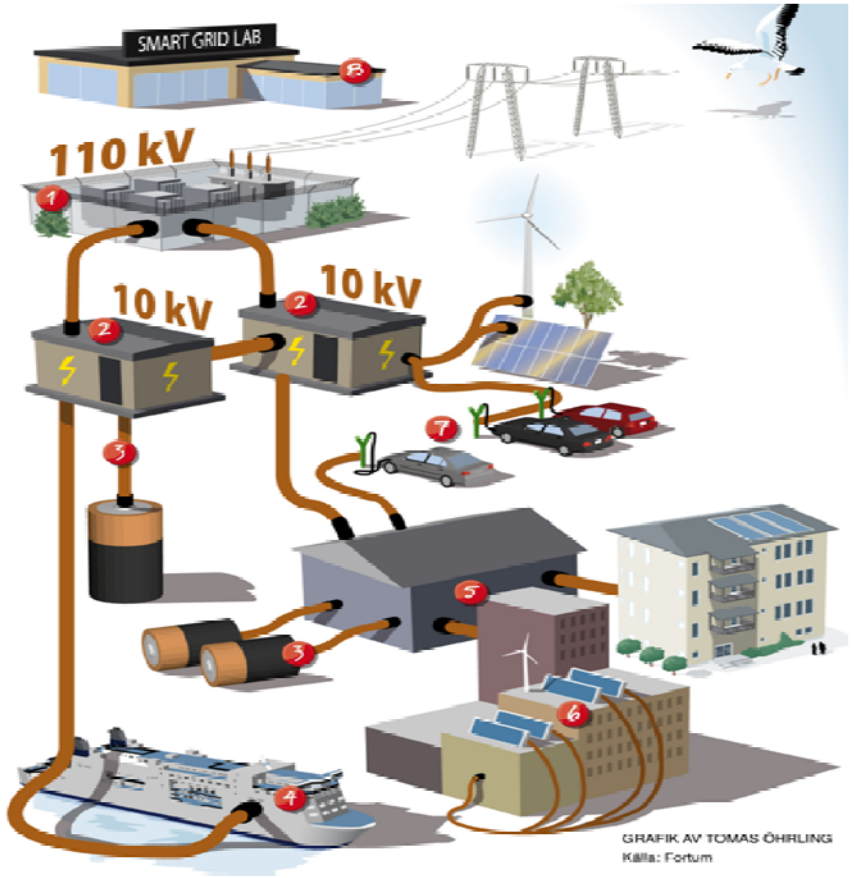
- Det globala miljövärdet av att möjliggöra stora mängder förnybar elproduktion

- Begränsning av miljöpåfrestningarna i vattendragen

Alternativa reglerresurser

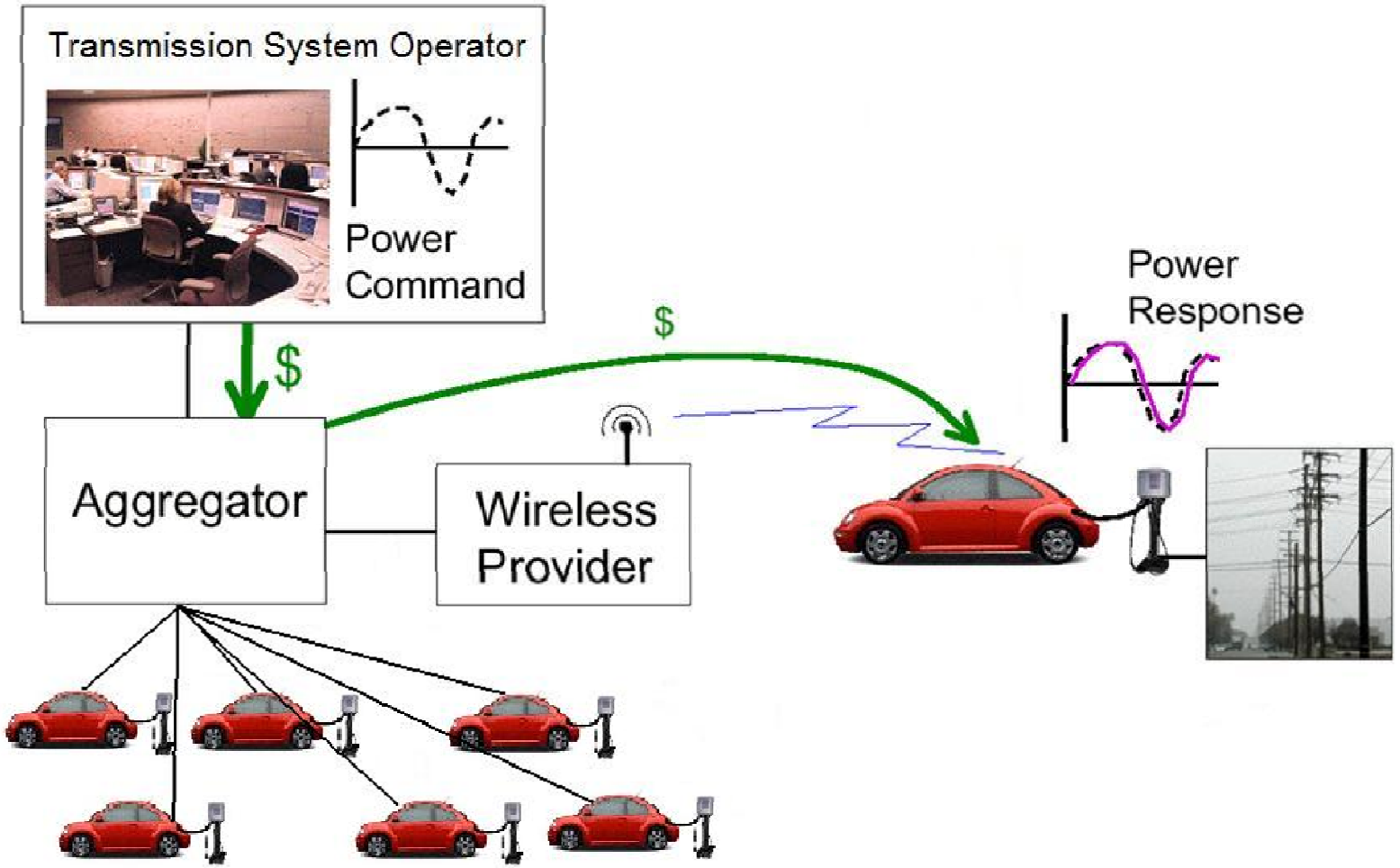
- Flexibilitet i
- elförbrukningen

- 'Smart Grids'



-förutsätter dynamiska (volatila) priser på elmarknaden

Elbilsladdning som reglerresurs

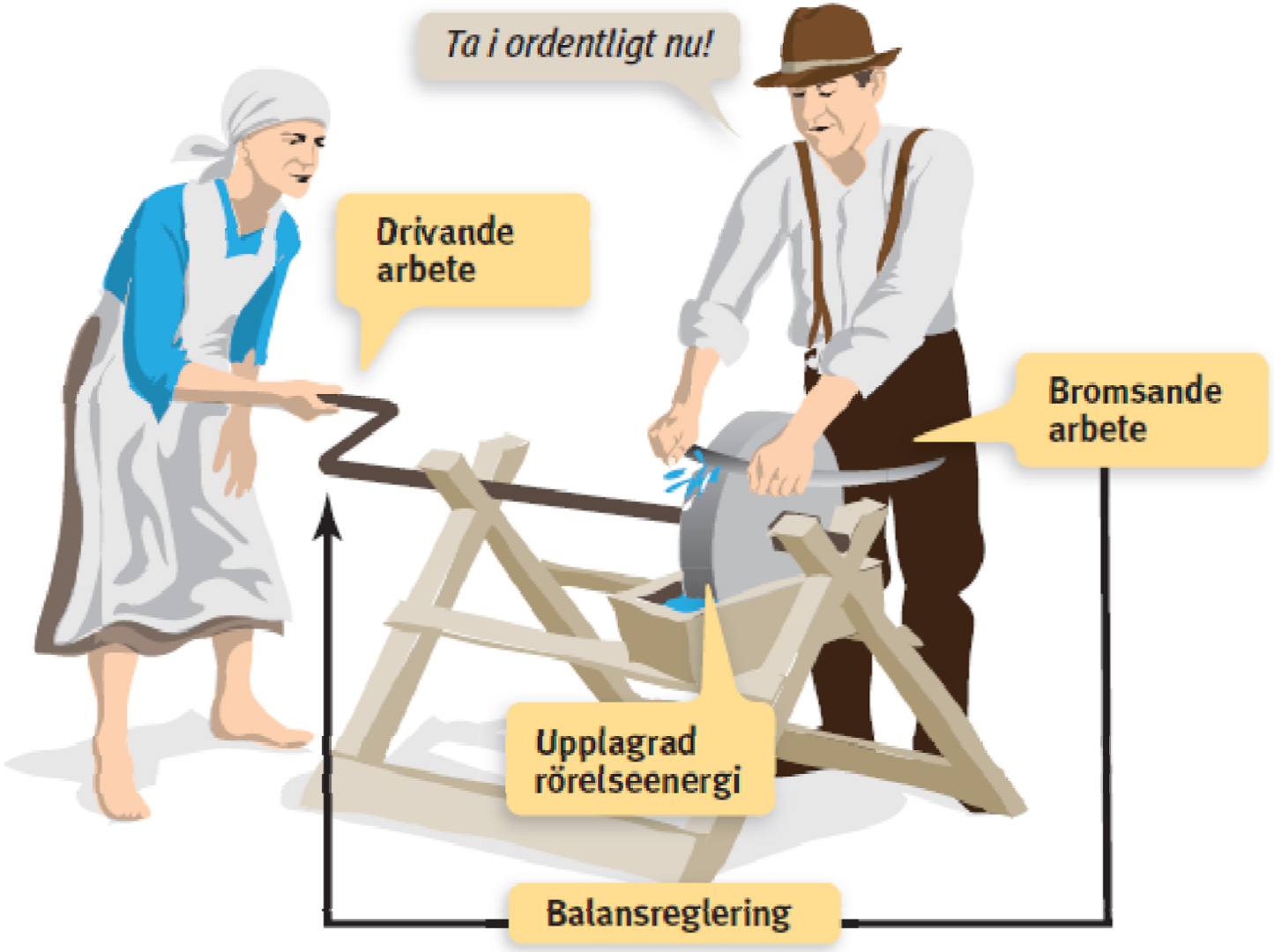


Hög överföringsförmåga behövs för

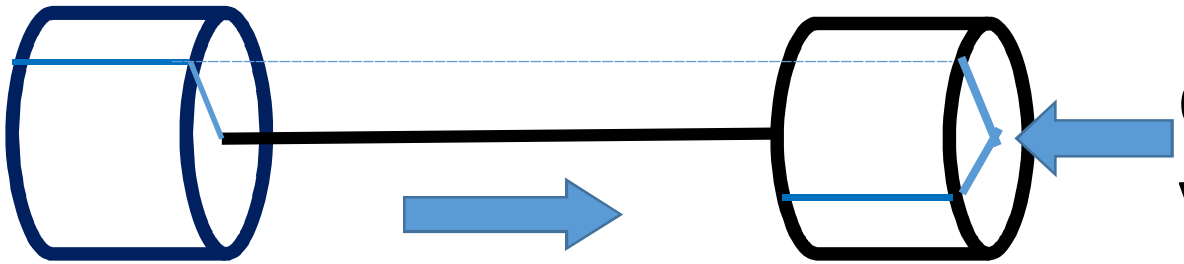
- en tillräcklig leveranssäkerhet
- att utjämna variationer i
- förnybar produktion över
- större områden
- att klara en hög export
- och import



Kraftöverföring i ett mekaniskt energisystem



Överföring på en växelströmsförbindelse



Överförings-
vinkel Δ

Effekt P

Spänning

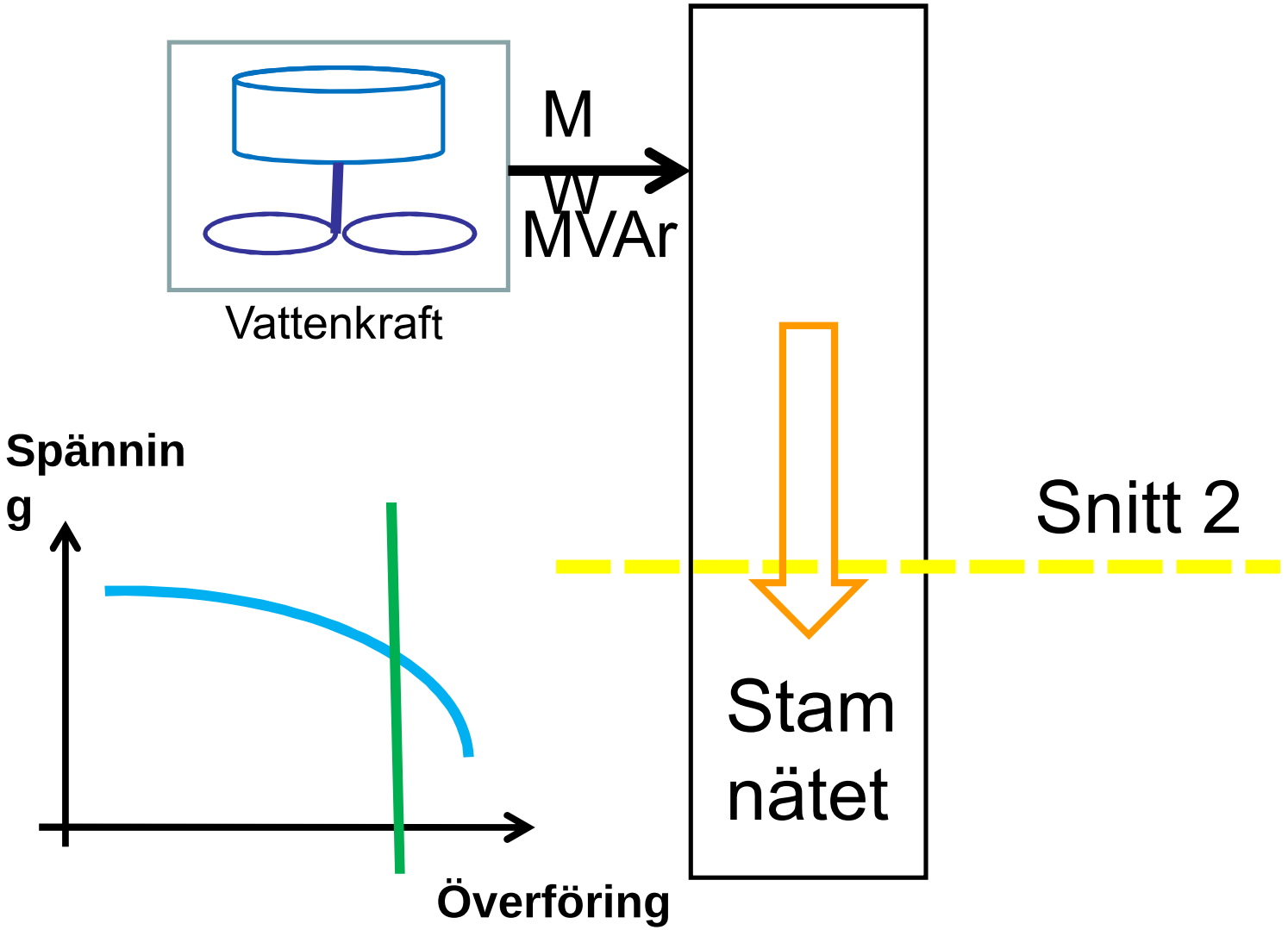
U_1

Växelströmsmotstånd X

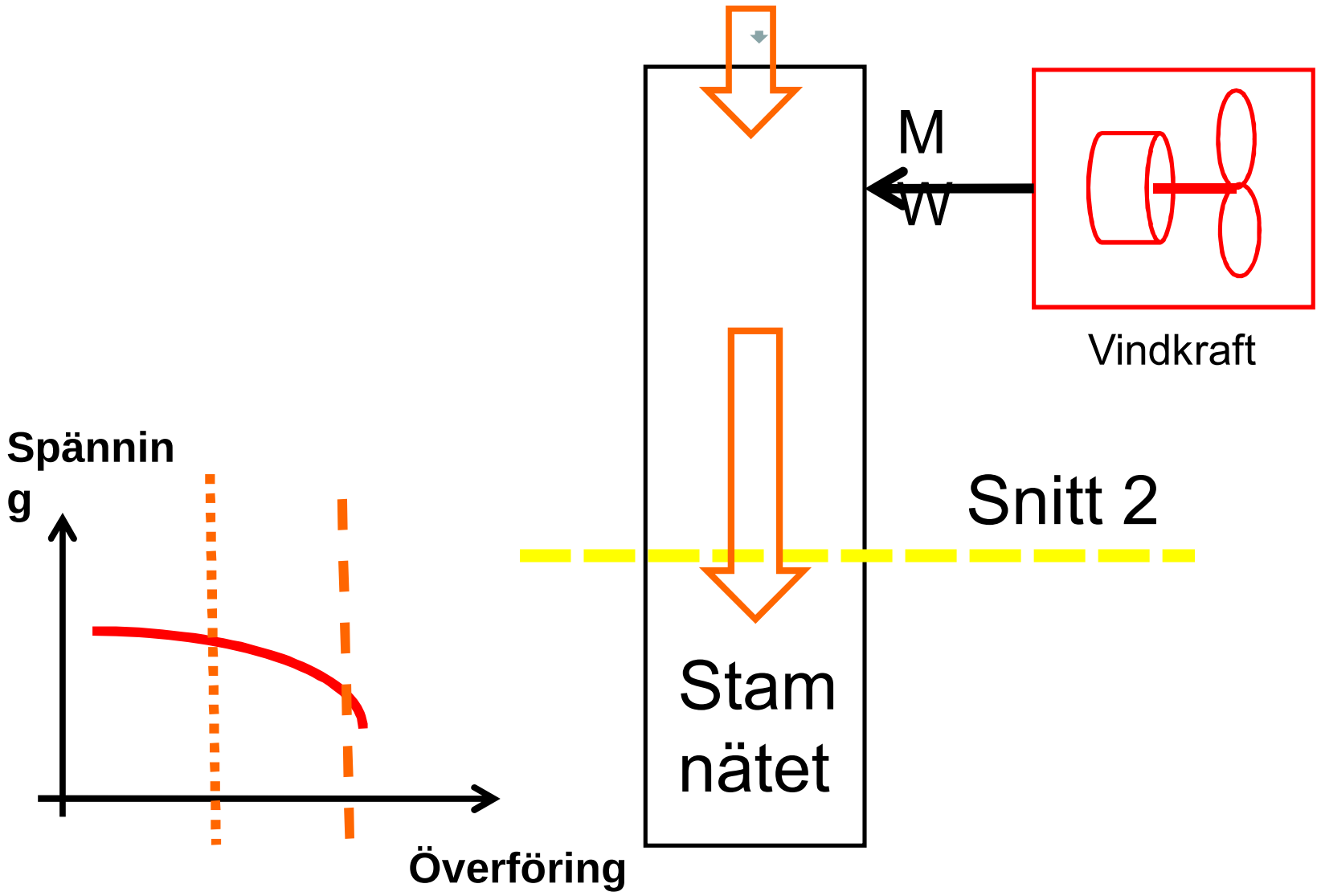
U_2

$$P = \frac{U_1 \times U_2}{X} \times \sin \Delta$$

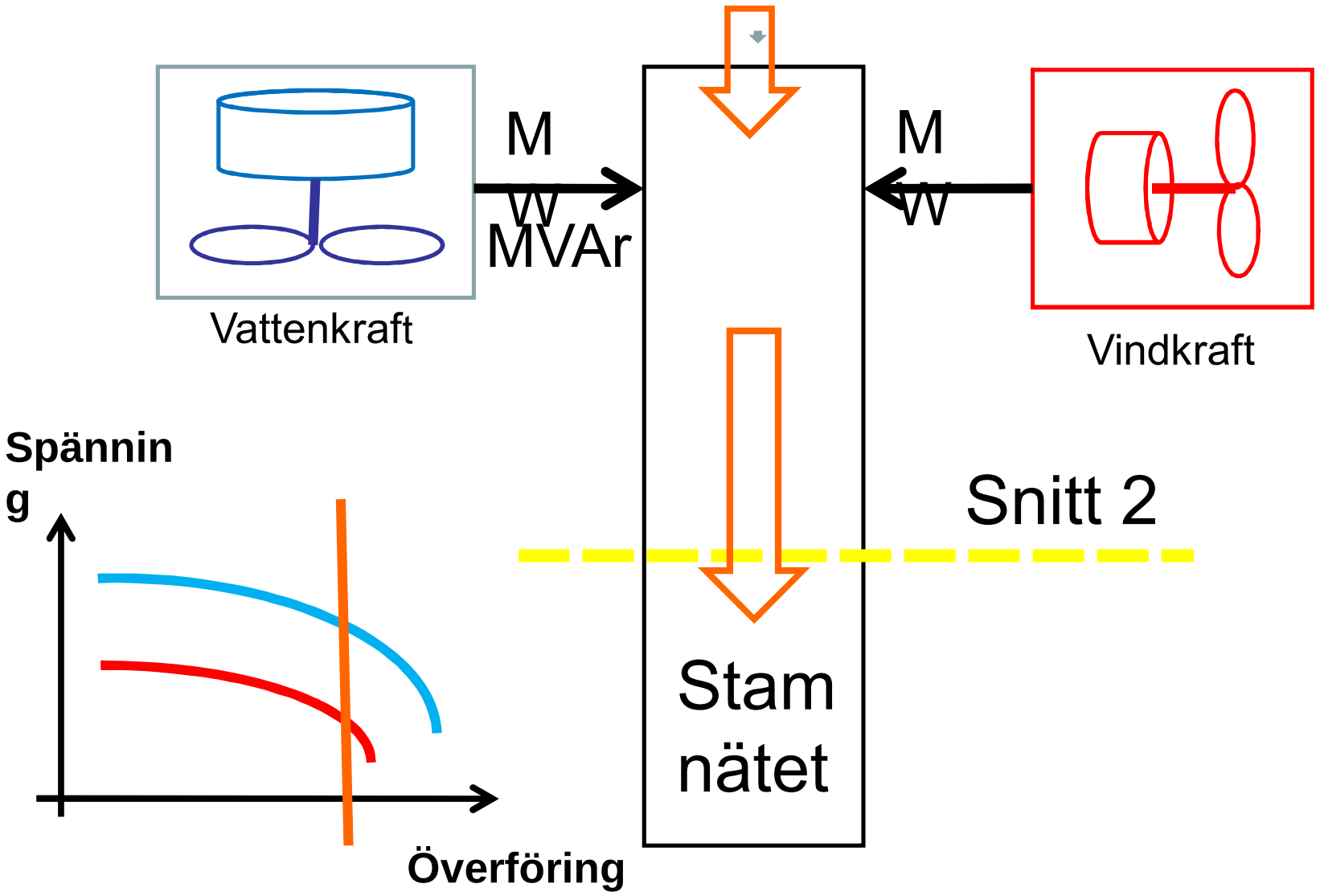
Överföringsförmåga från Norrland



Överföringsförmåga från Norrland



Överföringsförmåga från Norrland



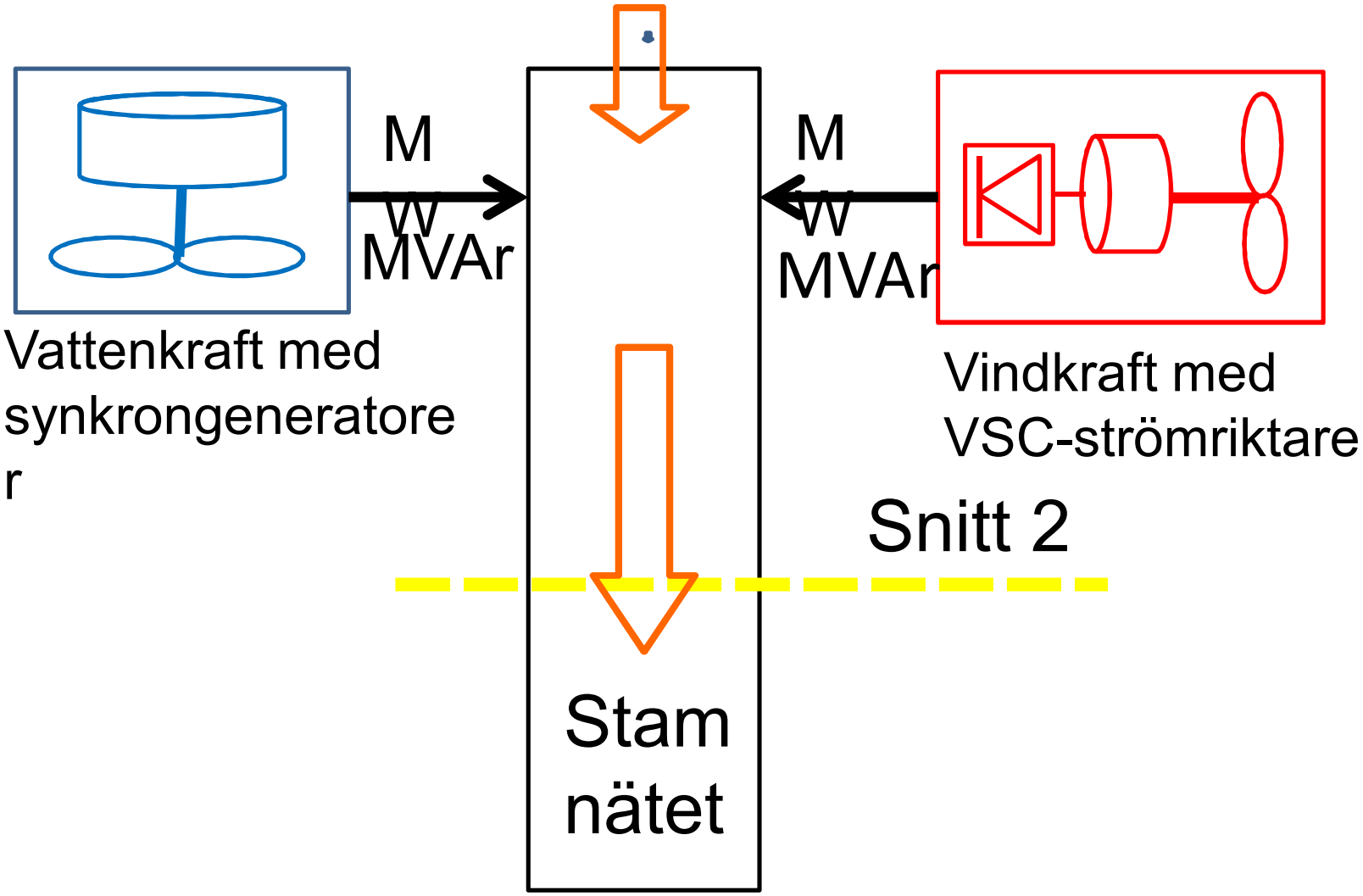
Överföringsförmågan är beroende av reaktiv effekt

- Nuvarande reaktiva kapacitet i synkrona generatorer ca 10 000 MVAr

- Med enbart asynkron generering är överföringsförmågan och förmågan att klara stabiliteten vid störningar mycket låg

Krav på omfattande utbyggnad av nya ledningar (AC eller DC) samt reaktiva kompenseringsanläggningar

Överföringsförmåga från Norrland



Leveranssäkerhet



Överförings-
förmåga

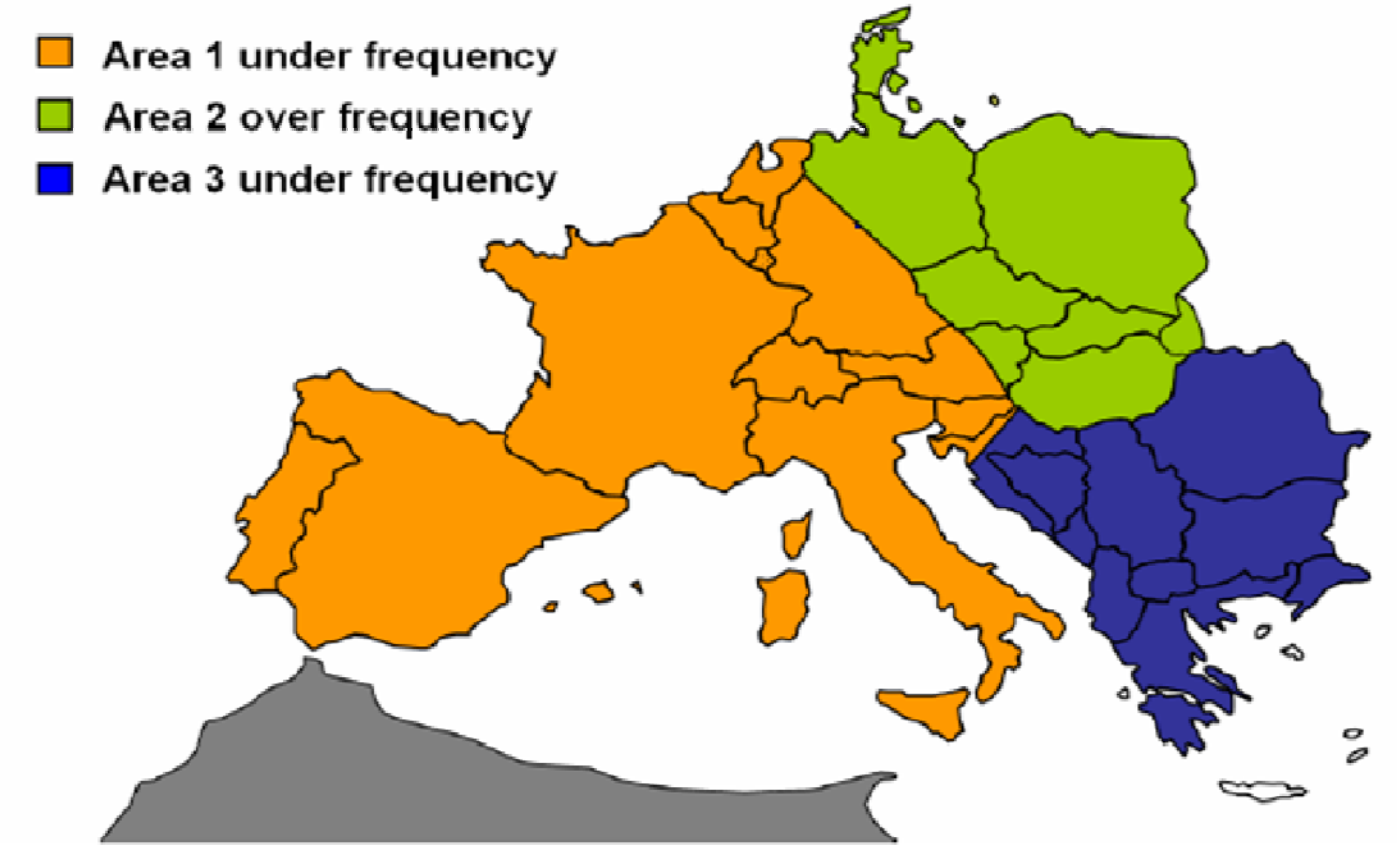
⇔

Störnings-
tålighet

- Synkrongeneratorer
- Reaktiv effektbalans
- Dynamiska egenskaper

- Svängmassa
- Kortslutningseffekt
- Skyddssystem, selektivitet

Störning 4 november 2006
Delning av det kontinentala elsystemet



The first island was formed by the Western part of Germany, the Netherlands, Belgium, France, Spain, Portugal, Switzerland, Italy, a part of Austria and Slovenia. Island 2 was formed by the Eastern part of Germany, Poland, the Czech Republic, the Slovak Republic, Hungary and a part of Austria. Island 3 was formed by the South-East European countries.

Frånkoppling av förbrukning i det västra delsystemet

- Nettoimport till västra
- delsystemet ca 7 000 MW

- Frånkoppling efter
- delningen ca 17 000 MW

- Ca 10 000 MW produktion
- klarade inte av påfrestningarna
- vid delningen

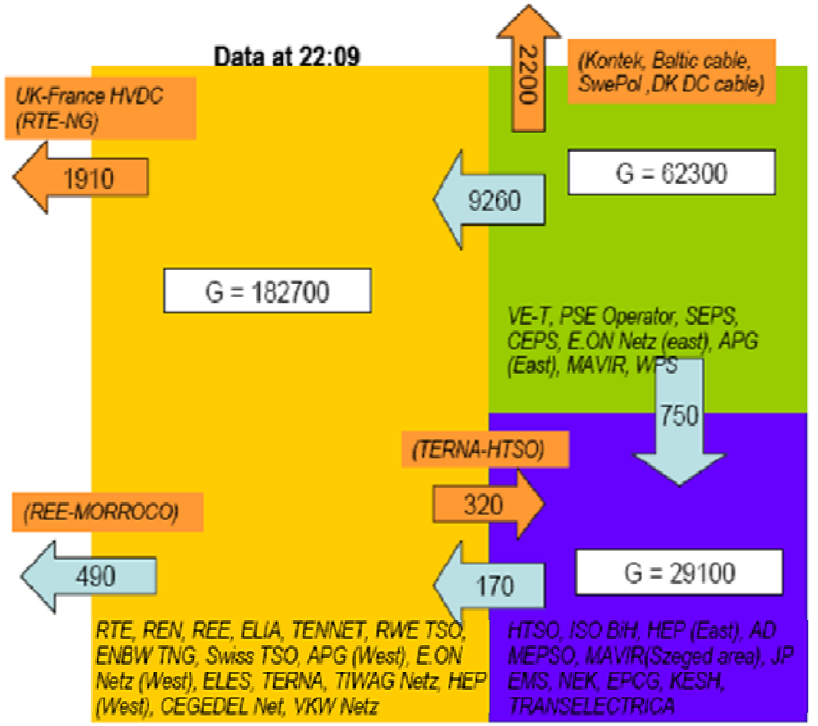
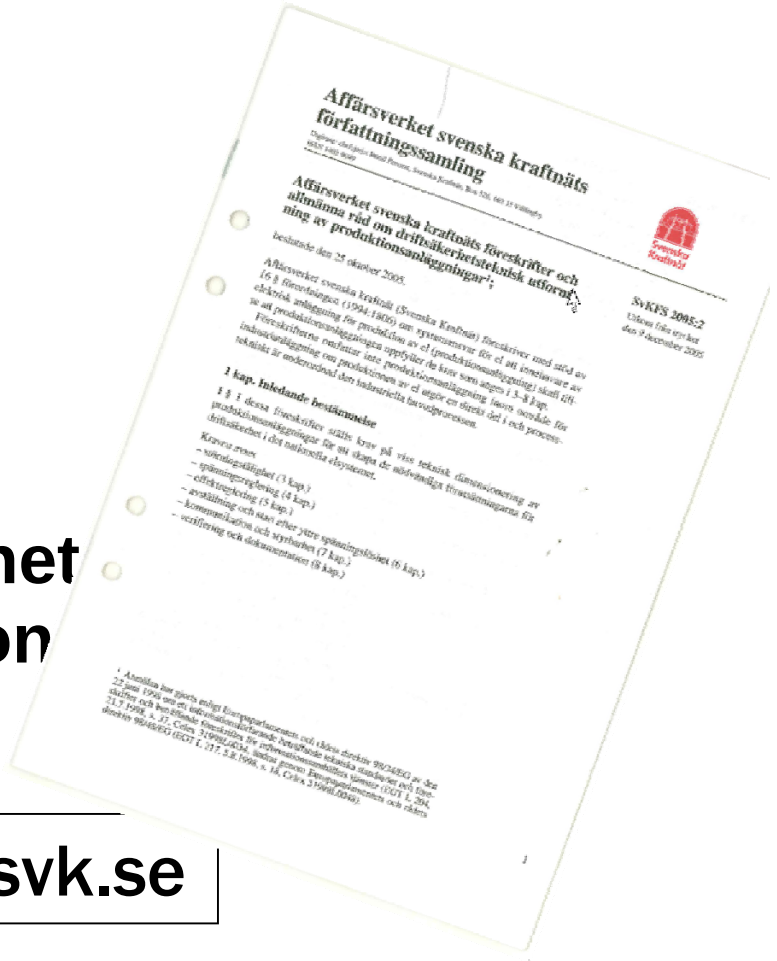


Figure 1: Generation and power flows between the 3 areas just before splitting 4 November 22:09

Föreskrift för produktionsanläggningar (SvKFS 2005:2)

Ställer krav på:

- **Störningstålighet**
- **Spänningsreglering**
- **Effektreglering**
- **Avställning och start**
- **Kommunikation och styrbarhet**
- **Verifiering och dokumentation**


Affärsverket svenska kraftnäts författningssamling

Affärsverket svenska kraftnäts föreskrifter och allmänna råd om driftsäkerhetsteknisk utförande av produktionsanläggningar;

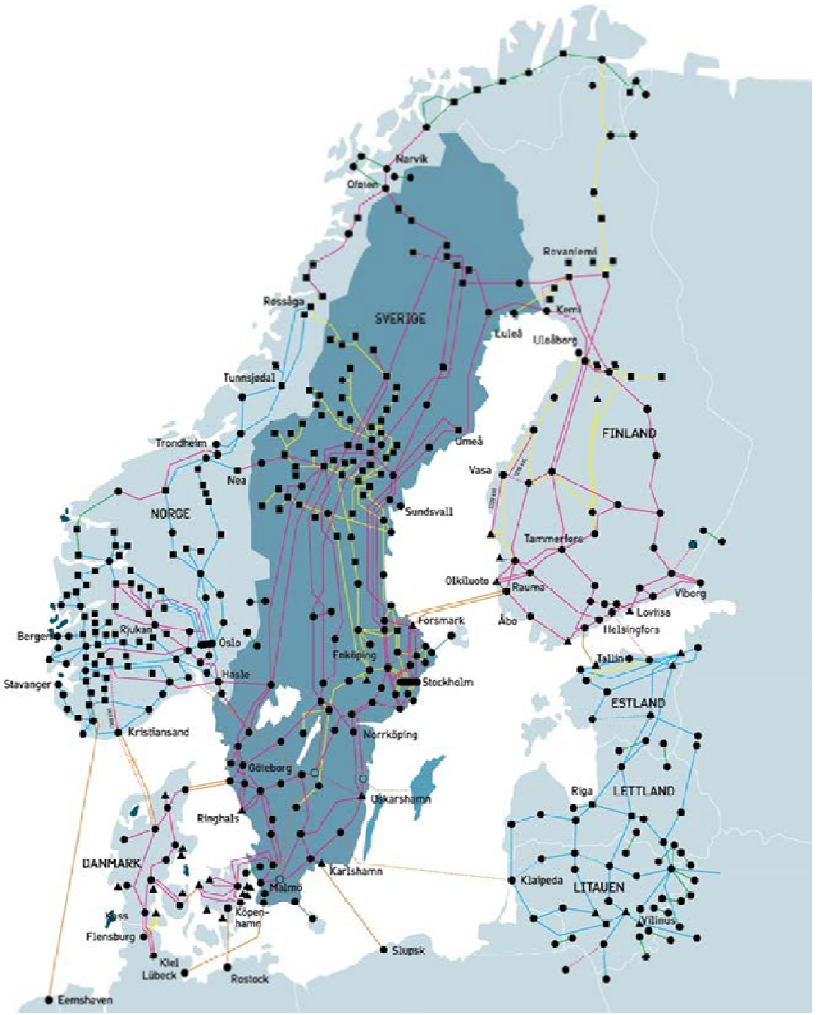
SvKFS 2005:2

Finns att hämta på www.svk.se

Behov av förstärkt överföringsförmåga

Se Svenska Kraftnäts Perspektivplan 2025

www.svk.se



Konsekvenser av en omfattande utbyggnad av vindkraft och annan förnybar elproduktion

- Förändringar av elsystemets fysiska egenskaper
- Stora förstärkningsbehov av elnätens överföringsförmåga och flexibilitet
- Stora behov av balansregleringsförmåga, i vattenkraften och i andra former
- Konflikterande miljöhänsyn

Utmaning att klara omställningen utan skadliga följdeffekter för driftsäkerhet, ekonomi och miljö !

Går det ?

Det går att integrera stora mängder förnybar produktion i elsystemet

…..men det går inte om man inte inser omfattningen av de framväxande problemen och gör något åt dem i tid !

Utveckling av elsystemet
Drivkrafter, målkonflikter

