

Kraftsamling Elförsörjning *Scenarioanalys*



Dr Staffan Qvist
staffanq@gmail.com
2020/09/10

Ett arbete av



Projektleddare
Dr Staffan Qvist



QVIST CONSULTING



Modellering
Professor Jesse Jenkins

PRINCETON
UNIVERSITY
HARVARD
UNIVERSITY



Modellering
Dr Nestor Sepulveda

Massachusetts
Institute of
Technology

Stort tack till

En mycket stor mängd extremt generösa externa experter på *alla* aspekter av det svenska kraftsystemet som hjälpt detta arbete

Rapporter

Modellering av svensk elförsörjning

Teknisk underlagsrapport



- Metodik och ingångsvärden
- Modelleringsverktyg
- Inga resultat
- 160 sidor

KRAFTSAMLING ELFÖRSÖRJNING

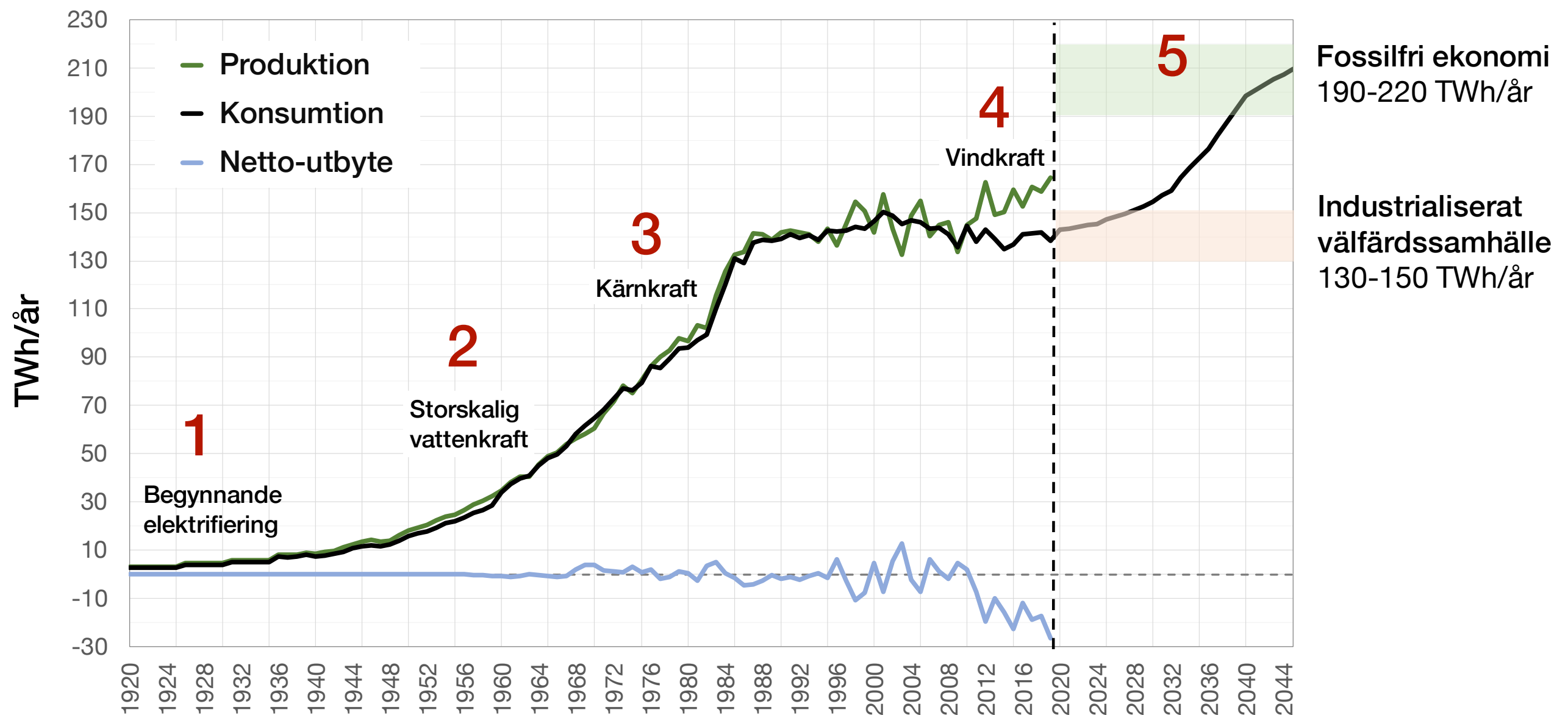
Långsiktig Scenarioanalys



- Intro till det som står i underlag
- Resultat + Analys
- 104 sidor

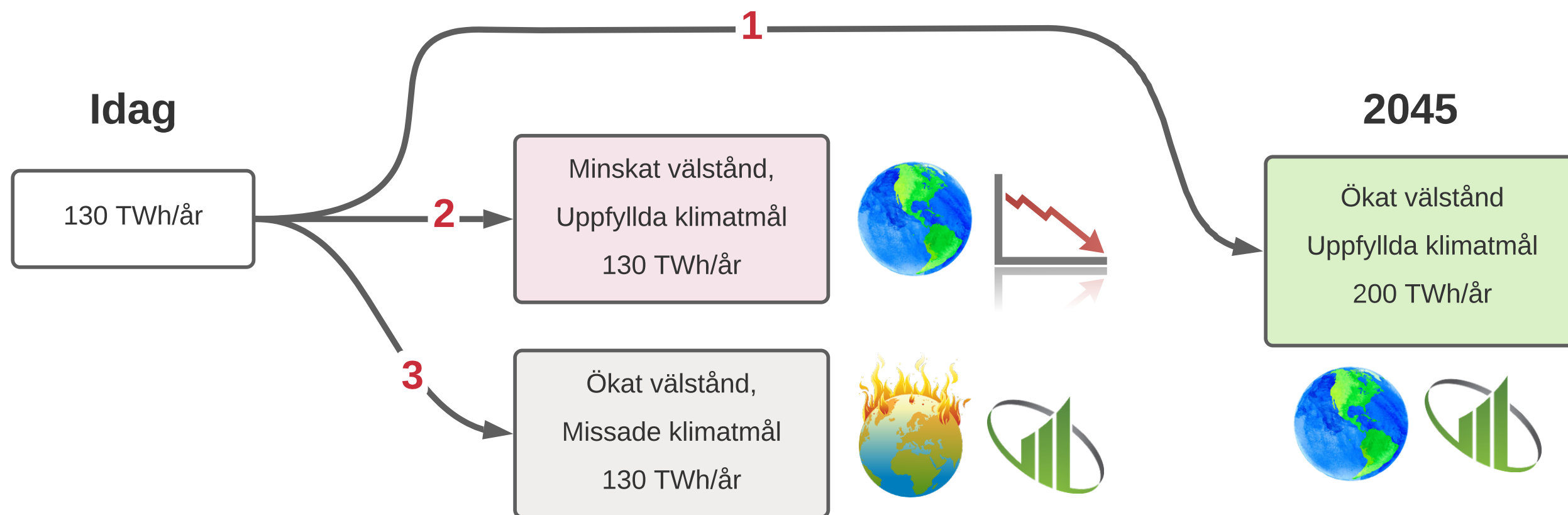
Kraftsystemets fem etapper

*Övergången till en fossilfri ekonomi (2020-2045)
utgör det svenska kraftsystemets femte etapp*



Sveriges vägval

Ökad efterfrågan från 130 till 200 TWh/år är inte en prognos utan ett beräknat behov för att på ett kostnadseffektivt sätt uppnå en fossilfri ekonomi *med* bibehållet välstånd!



Studiens målsättning

Frågeställning:

“Hur ser ett kostnadsoptimalt kraftsystem ut år 2045 som möjliggör att Sverige ska kunna övergå till ett fossilfritt samhälle med bästa möjliga konkurrenskraft?”

Metod:

Utifrån grundläggande ingångsvärden, beräkna det *kostnadsoptimala system* (lägst kombinerad investering och driftkostnad) som förser elbehovet varje timme över året utan CO₂-utsläpp.

*“All models are wrong,
some are useful”*

Scenarier

Tre scenariefamiljer:

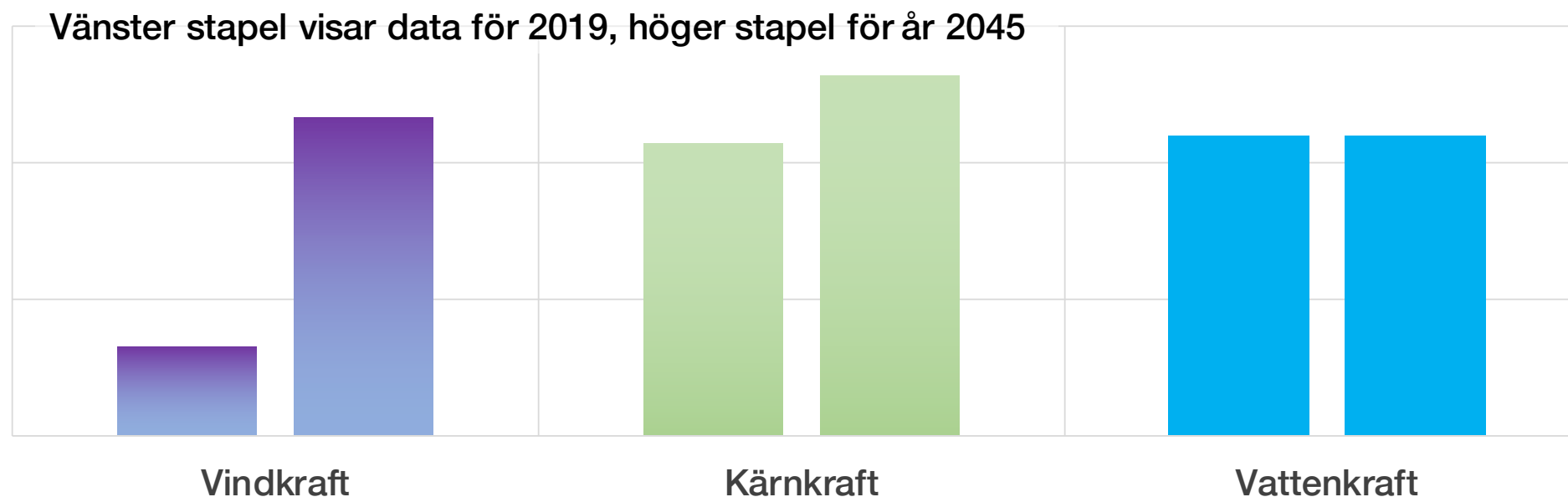
1. Teknikneutralt (TN)
2. Ingen driftförlängd kärnkraft (NN)
3. 100% förnybart (F)

Variationer inom scenarier

- Kostnadsutveckling för kraftslag och lagring
- Kalkylränta
- Handelsförhållanden
- Efterfrågefleksibilitet

Teknikneutrala resultat

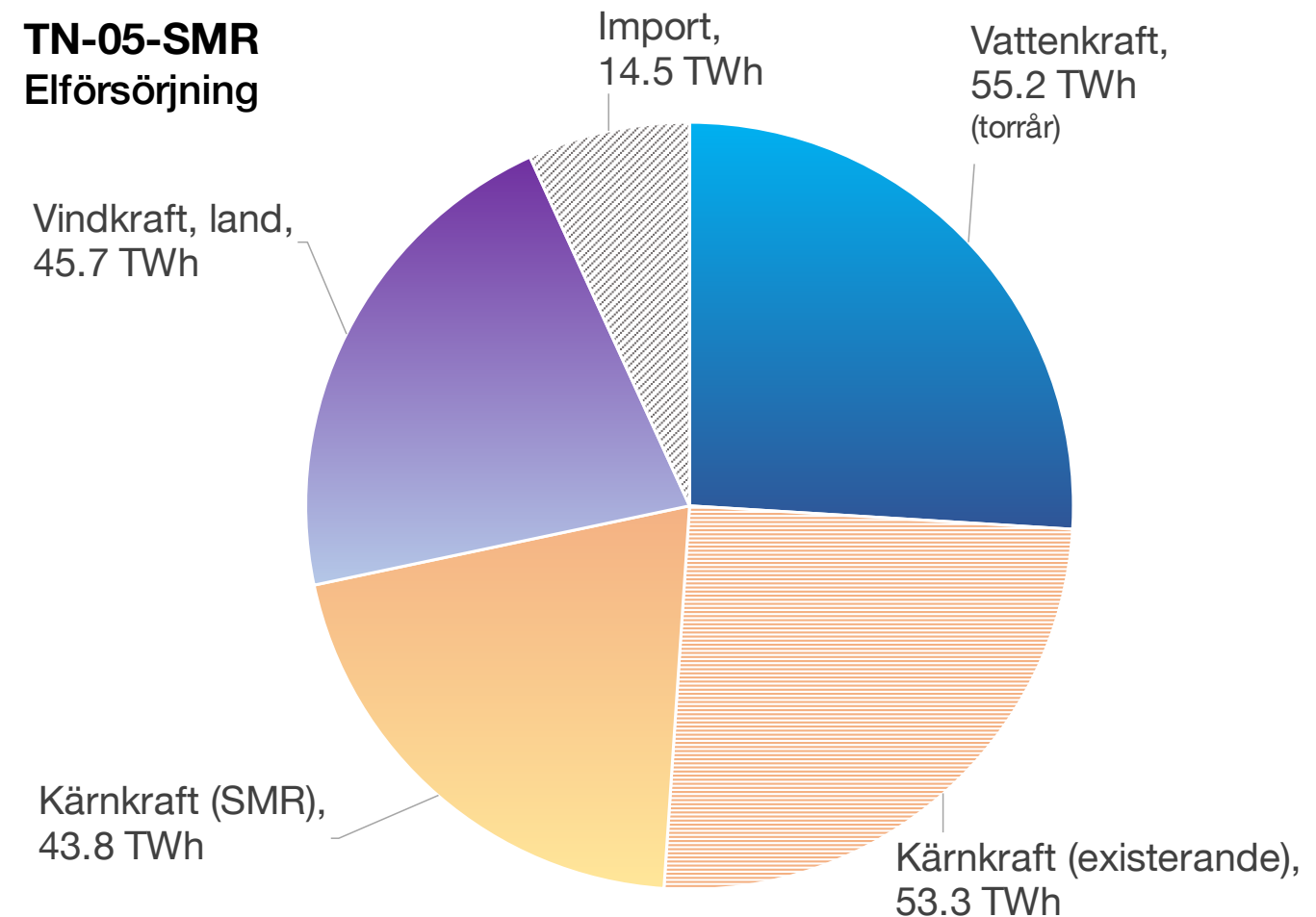
- På årsbasis: 1/3 vattenkraft, 1/3 vindkraft, 1/3 kärnkraft
- Stor expansion av framförallt landbaserad vindkraft
- All existerande kärnkraft driftförlängd, ny kärnkraft läggs till
- Biokraftvärme kvar i systemet på basis av värmeunderlag
- Ingen solkraft, ingen naturgas med CO₂-infångning
- Resultatet *robust* mot skillnader i ingångsvärden



Exempelsystem, TN-05-SMR

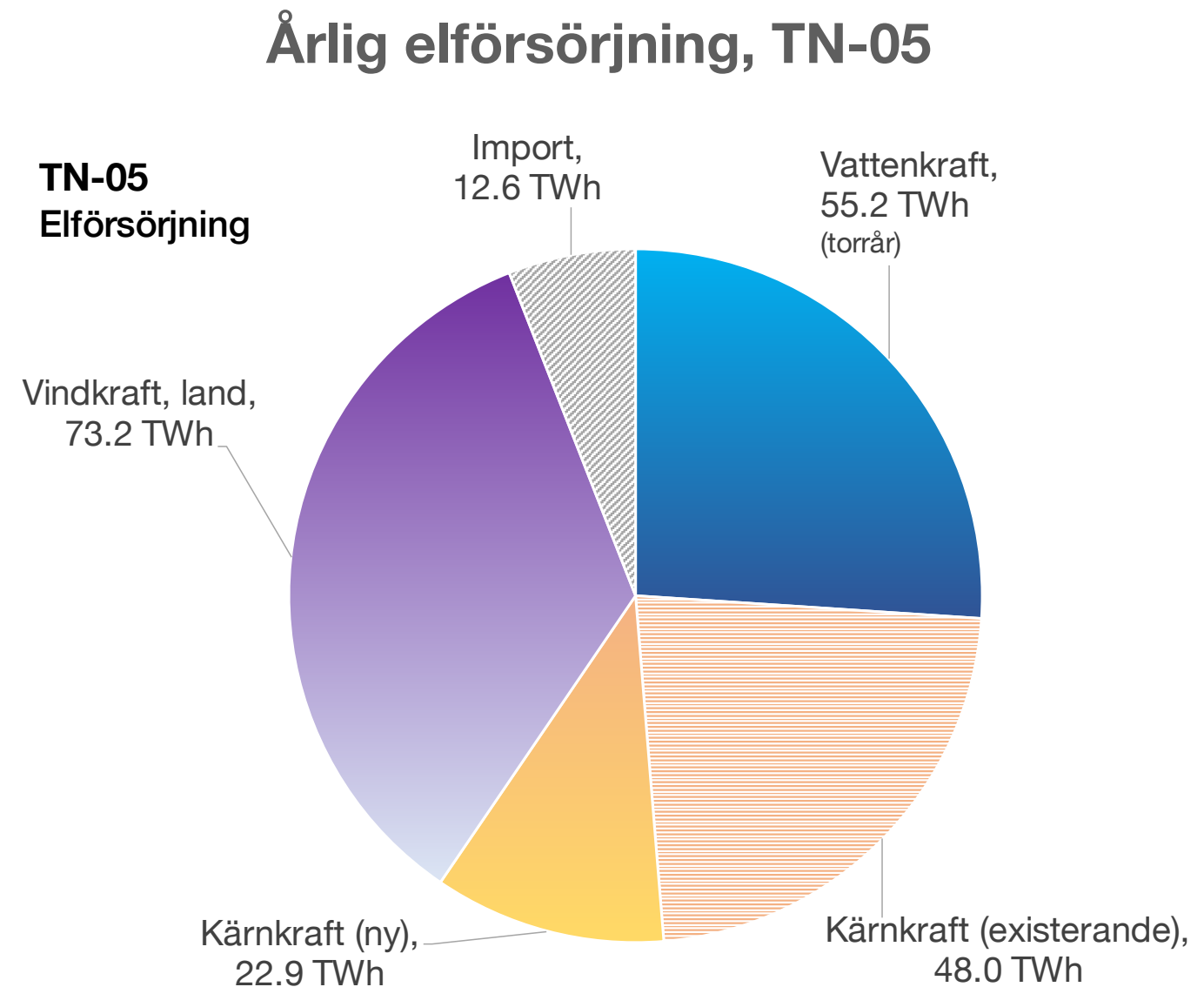
- **Lägst kostnad av alla modellerade system i studien**
- **Antar låg framtida kostnad för alla kraftslag & lager, låg kalkylränta, handel, hög flex**
- **Nettoimportör av billig förnybar överproduktion från grannländer under torrår (balans under våtare år)**
- **Mycket robust mot störningar, klarar av effektbalans under pressade perioder**
- **Antar att små modulära reaktorer finns tillgängliga på sent 2030-tal till rimlig kostnad**

Årlig elförsörjning, TN-05-SMR



Exempelsystem, TN-05

- Samma indata som för TN-05-SMR men *utan (special)-antagandet* att små modulära reaktorer finns tillgängliga till rimlig kostnad på 2030-talet
- Systemet har då en minskad andel ny kärnkraft och en ökad andel landbaserad vindkraft
- Mindre robust mot störningar och mer pressad effektbalans
- Resultatet är i linje med snittet för alla teknikneutrala system, på årsbasis (normalår) en tredjedel var av vind, vatten och kärnkraft



Specialfall

Ingen driftförlängd kärnkraft möjlig (NN)

- Samma grundresultat som för teknikneutral ($\frac{1}{3}/\frac{1}{3}/\frac{1}{3}$)
- Större variation mellan scenarier
- Samma mängd kärnkraft *i snitt* som i teknikneutrala fall
- Högre systemkostnader (ny kärnkraft dyrare än driftförlängd)

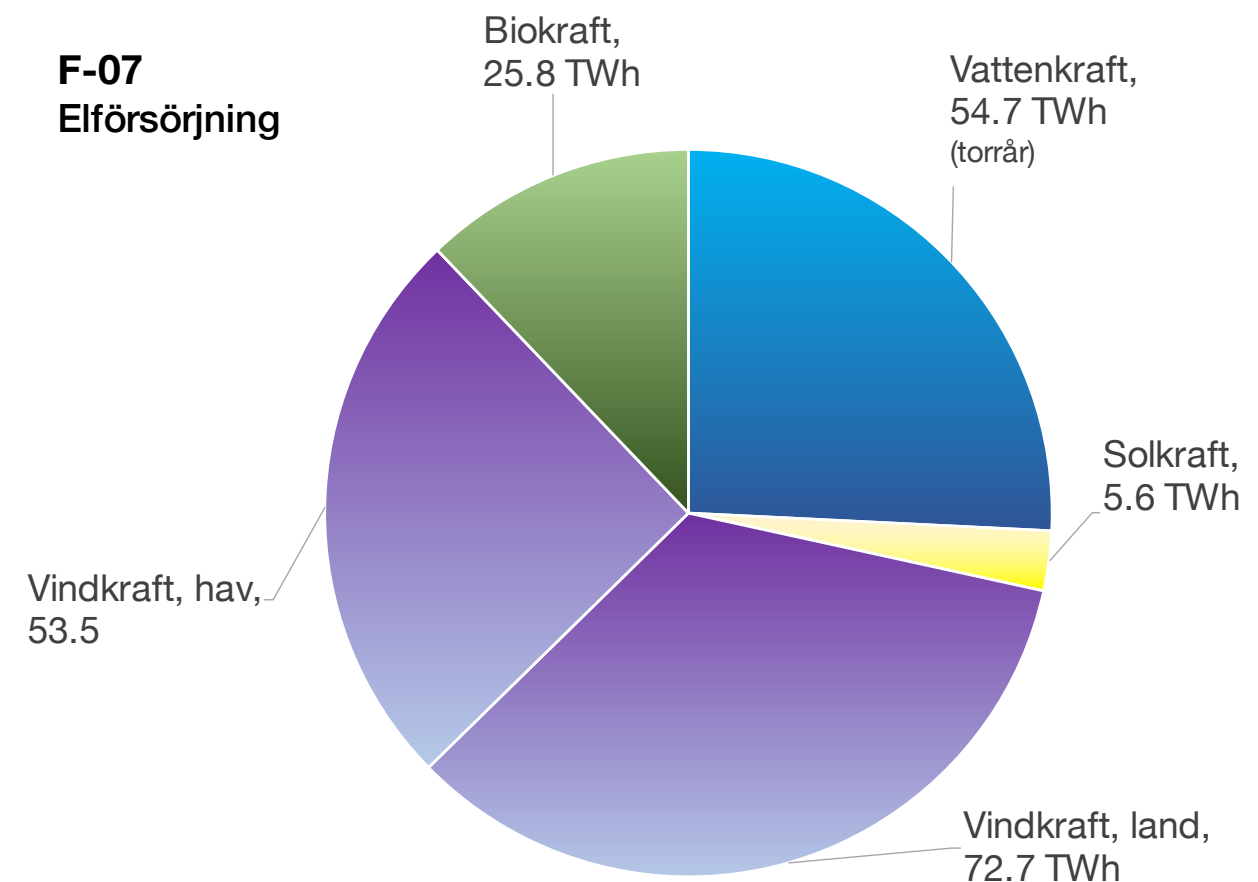
100% förnybart

- Dominerat av vindkraft ($\frac{2}{3}$ vind, $\frac{1}{3}$ vatten)
- Antingen utökad biokraft eller lagerkapacitet för planerbar effekt
- Betydligt högre systemkostnader
- Mindre robust mot störningar och pressade situationer

Exempelsystem, F-07

- **100% förnybara system domineras av vindkraft**
- **Landbaserad vindkraft över hela landet men främst i norr, havsbaserad vindkraft enbart i söder (SE3 & SE4)**
- **Då kostnadsutvecklingen för lager antas aggressiv så står lager för ytterligare planerbar kapacitet, annars fylls denna funktion av mer biokraft.**
- **Solkraft tar större andel i systemen**
- **Kostnader ökar markant**

Årlig elförsörjning, F-07



Sammanfattande jämförelse mellan fall

Parameter	Teknikneutral	N-Serien ¹⁰²	100% förnybart
Total grundsystemkostnad (snitt)	~400 kr/MWh	+20 % (470 kr/MWh)	+40 % (>550 kr/MWh)
Sannolika merkostnader för systemtjänster	Låga		Betydande
Systemkritiska timmar med låg rotationsenergi	700 timmar		+ 700 % (5000 timmar)
Huvudsaklig elförsörjning	1/3 Vattenkraft 1/3 Vindkraft 1/3 Kärnkraft		1/3 Vattenkraft 2/3 Vindkraft
Landanvändning	7700 km ²	+2 %	+25 % (9700 km ²)
Havsanspråk	600 km ²		+ 750 % (5000 km ²)
Vattenkraftens driftmönster	Från snarlikt dagens situation till betydligt mer volatilt i scenarier med hög andel vindkraft		Mycket volatilt i samtliga scenarier
Livscykelutsläpp av växthusgaser ¹⁰³	11 gCO ₂ /kWh	+ 1 %	+ 40 %

Sammanfattning

- **Det kostnadsoptimala framtida kraftsystemet baseras på en expansion ovanpå dagens utmärkta system**
- **Driftkostnader + Annuiteten på investeringar motsvarar ungefär 380-420 kr/MWh (80-90 miljarder kr om året)**
- **Teknikneutralitet ger ett system i balans, med ungefär lika delar vindkraft, vattenkraft och kärnkraft**
- **Avvecklas större delar av nuvarande planerbara system i förtid så ökar kostnaderna, men uppbyggnaden av det kostnadsoptimala systemet är i stort sett oförändrat**
- **Frångås teknikneutralitet så ökar kostnader, land och havsanvändning, materialåtgång och livscykelutsläpp, medan störningsstabilitet och leveranssäkerhet minskar.**