



# Vätgas för ett balanserat elsystem

2024-03-27

Se gärna inspelningen av webinariet i efterhand





## Praktisk information

- Tid 09:00-10:00
- Video & mikrofoner automatiskt avstängda
- Chatt avstängd → Frågor hanteras i Teams-funktionen *Frågor & Svar* och tas på slutet
- Webbinariet spelas in
- Presentationsmaterialet läggs upp på hemsidan efteråt
- Moderator Sara Hugestam



# Agenda

- Introduktion
- Vätgasflexibilitet från energisystemperspektiv
- Vätgasflexibilitet och stödtjänstmarknader
- Vätgasflexibilitet från aktörsperspektiv
- Frågestund

Martin Hagberg, Profu

Julia Renström, Profu

Frank Krönert, Sweco

Maria Edvall, RISE

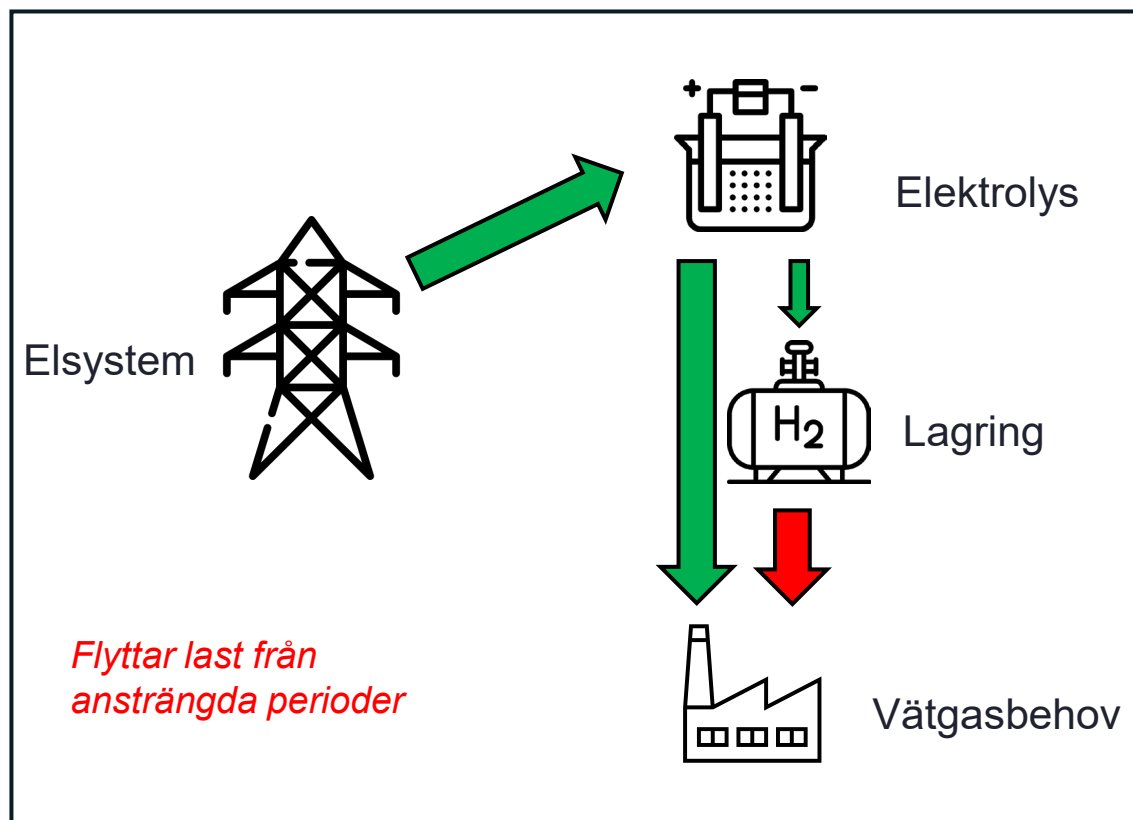


# Vätgas för ett balanserat elsystem

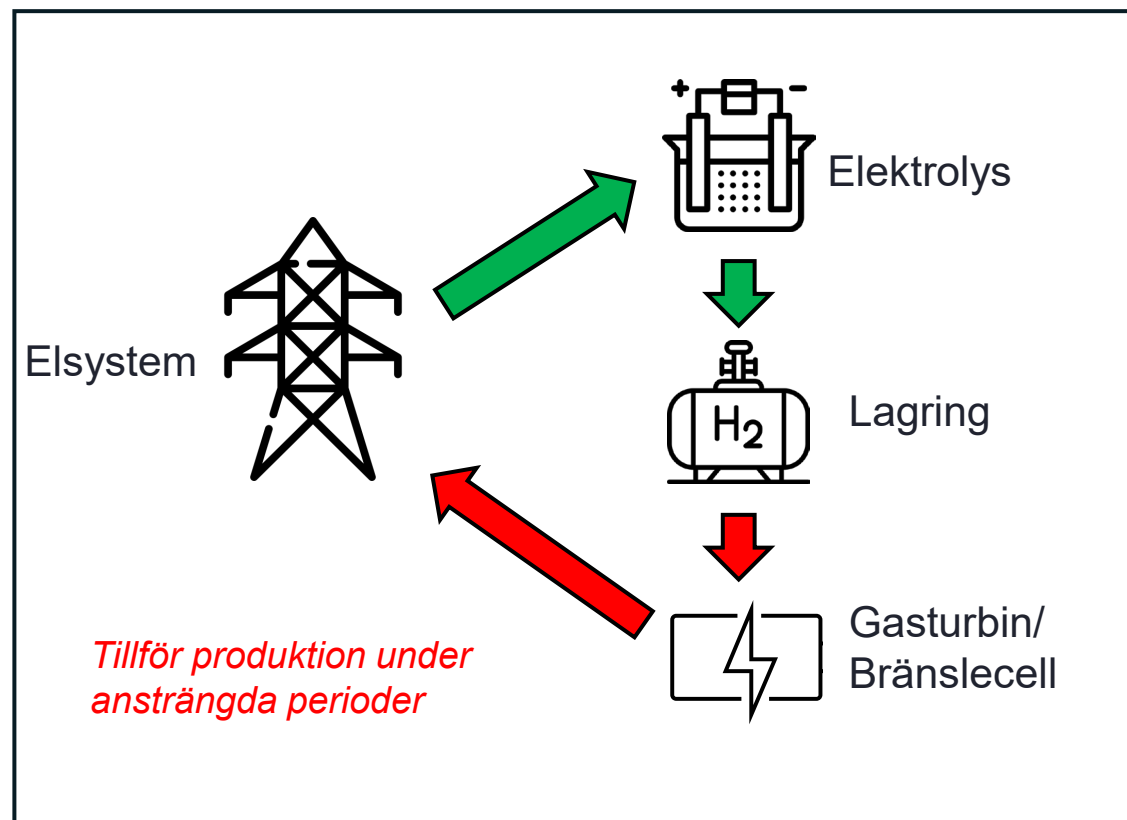
- Energibalans
  - Förbättra utnyttjandet av intermittenta kraftslag
- Effektbalans
  - T.ex. minska effektuttag vid ansträngda perioder
- Systemstabilitet
  - T.ex. agera på stödtjänstmarknaderna för att upprätthålla rätt frekvens i systemet


# Hur kan vätgas bidra med flexibilitet?



## Flexibel vätgasproduktion



## Vätgasbaserad elproduktion



 Energiflöden under perioder med lågt elpris

 Energiflöden under perioder med högt elpris  Energiforsk

# Analysförutsättningar

- Framtida situation – 2035
  - Omfattande elektrifiering
  - Industriellt vätgasbehov
  - Hög andel variabel förnybar elproduktion
  - Minskade kostnader för vätgastekniker
- Fokus på Sverige, men som en del av ett Nordeuropeiskt system

A photograph showing industrial hydrogen storage tanks and solar panels. The tanks are white with blue accents and labeled with 'H<sub>2</sub>'. A building in the background has 'HYDROGEN' written on its side. The scene is set outdoors with green grass and a blue sky with a few clouds.

# Vätgasflexibilitet från energisystem- perspektiv

Julia Renström

# Systemanalys genom modellering

## Frågeställningar:

- Hur kan vätgas utgöra en flexibel resurs i elsystemet?
  - Genom flexibel användning av elektrolysörer?
  - Genom vätgasbaserad elproduktion?
- Vad blir **elpriskonsekvenserna** av en omfattande utbyggnad av vätgastillämpningar och vätgaslagring?
- Hur ser förutsättningarna ut för vätgaslagring i **förhållande till andra flexibilitetsmöjligheter** som till exempel batterilagring?

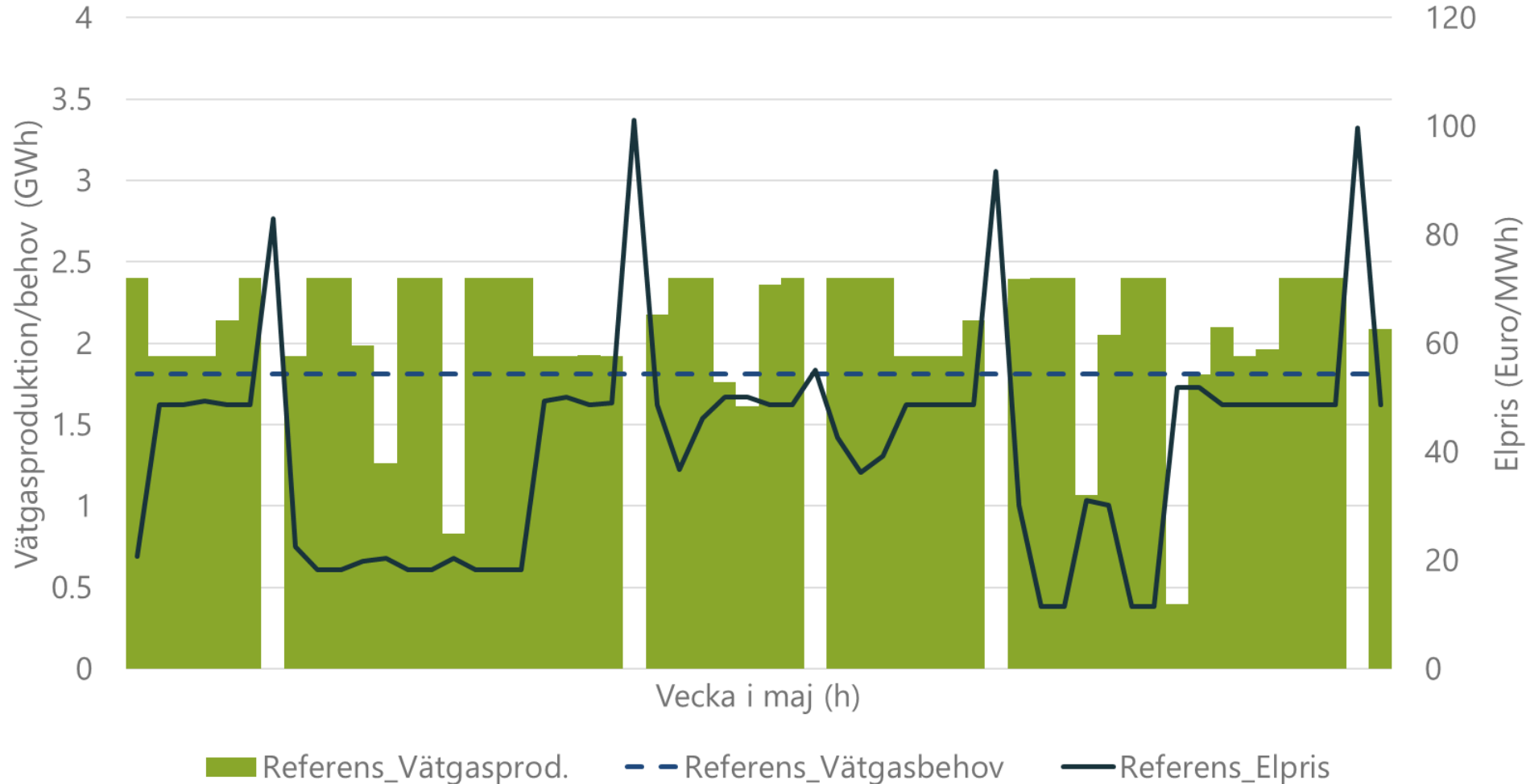
**TIMES-NORDIC**  
Investerings-  
modell  
2020 - 2050



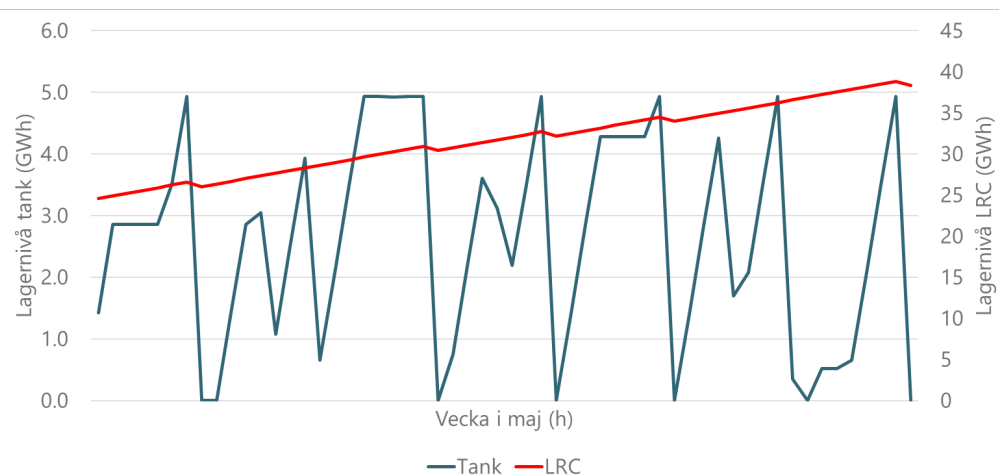
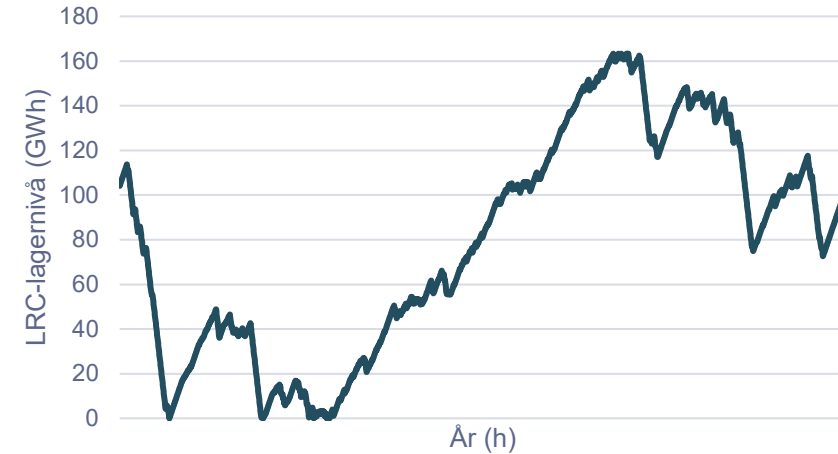
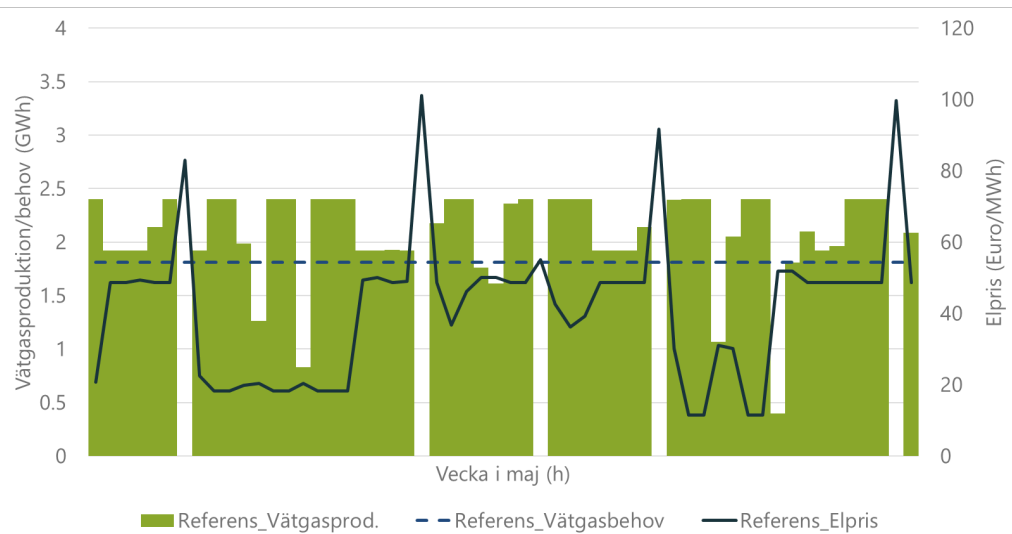
**EPOD**  
Produktions-  
optimerande  
modell 2035



# Flexibel användning av elektrolysörer & vätgaslager som anpassas efter elpris



# Flexibel användning av elektrolysörer & vätgaslager som anpassas efter elpris

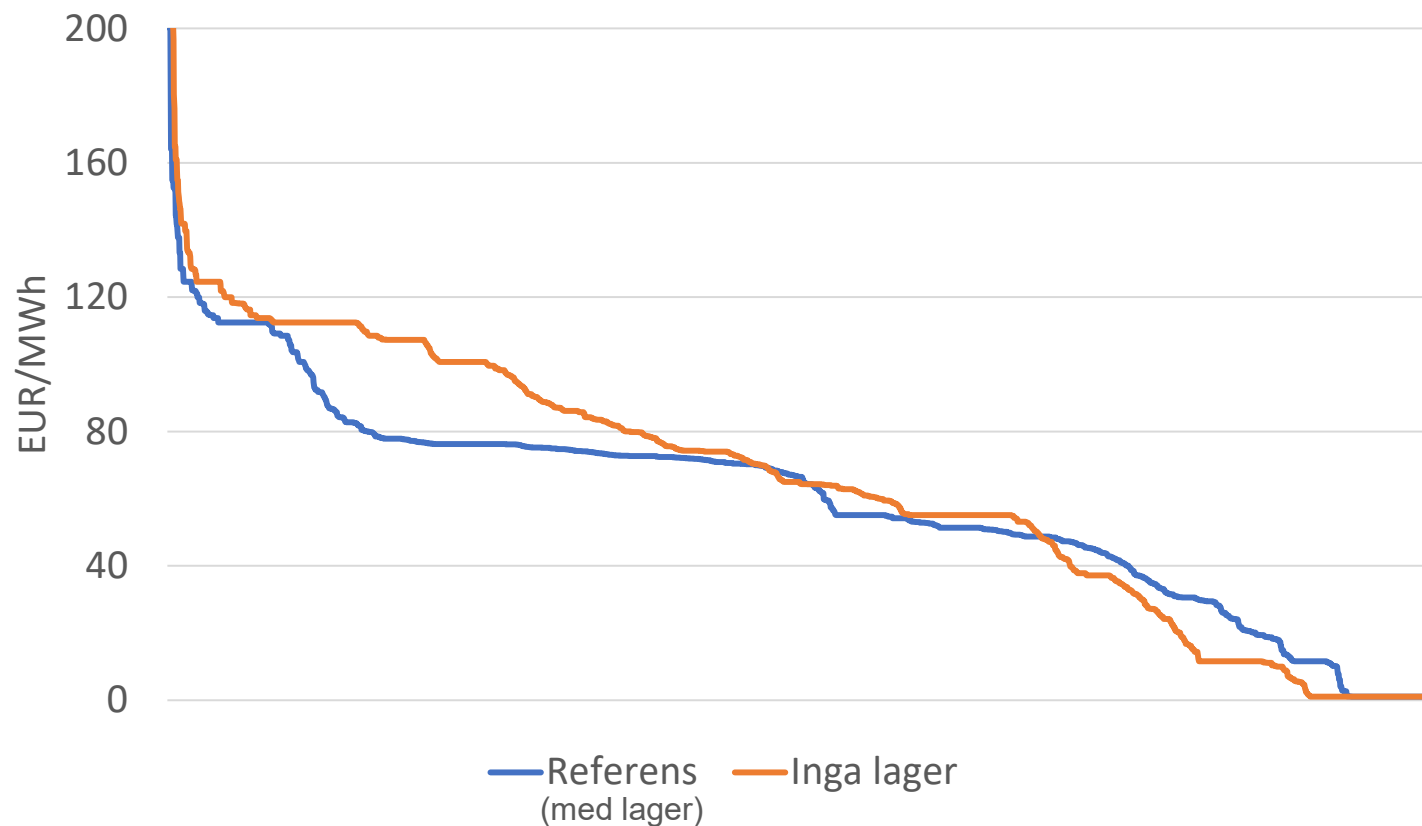


## Flexibiliteten kan:

- minska effektbehov vid elpristoppar
- minska el- och vätgaspris
- ge lägre systemkostnader

# Vad blir elpriskonsekvenserna?

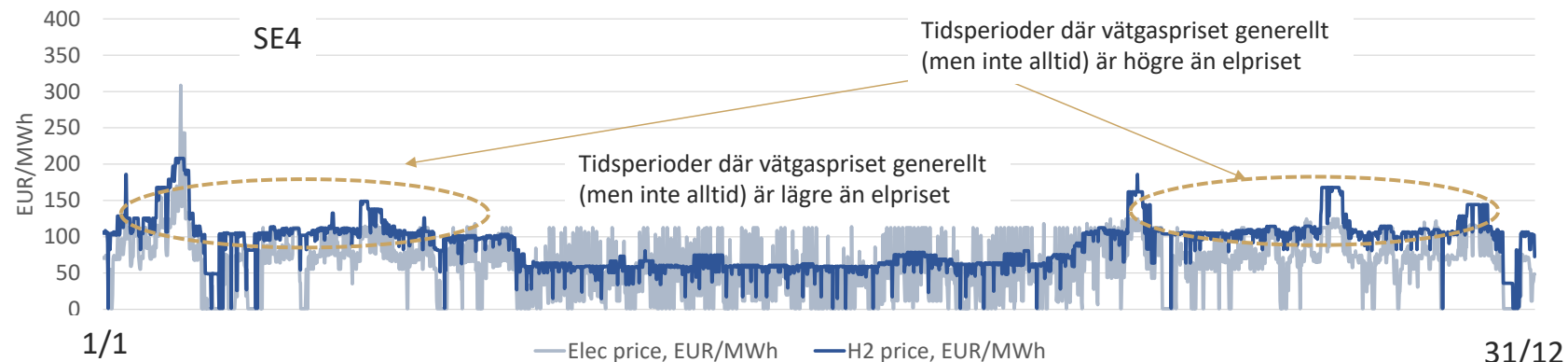
- Energilager har en utjämnande effekt på elpriset – i tid och rum
  - Flest högst och flest lägst elpriser utan energilager



# Vätgasbaserad elproduktion

## Systemförutsättningar som avgör lönsamhet:

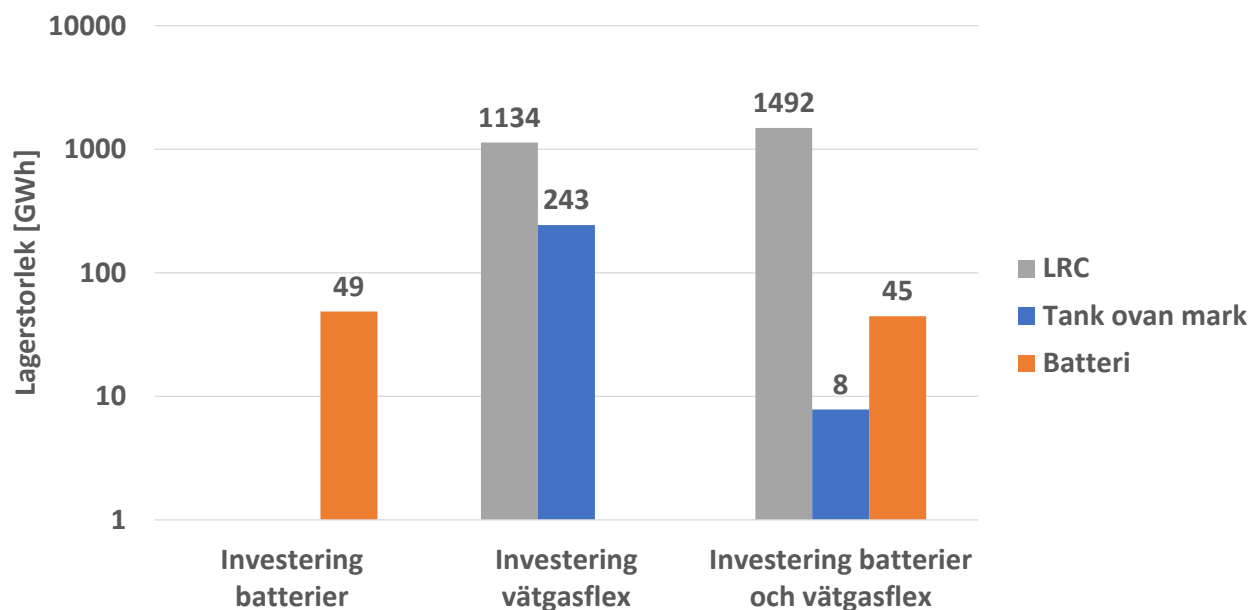
- Tillgång till **väderberoende** elproduktion med låga rörliga kostnader
- Tillgång till **annan flexibilitet** på elmarknaden
- **Efterfrågan** på vätgas för andra ändamål
- **Lagervolym** för vätgas
- **Prisförhållandet** mellan elpris och vätgaspris



- Förutsättningarna är bättre i kontinentala Europa än i Sverige
  - Förbättrade förutsättningar med ökande andel variabel elproduktion och färre andra flexibilitetsalternativ

# Förutsättningar i förhållande till andra flexibilitetsmöjligheter

## Investerad energilagerkapacitet i Sverige & Tyskland i tre känslighetsfall



- Batterier är både en konkurrent och ett komplement till vätgaslager
  - Kan komplettera varandra på olika tidsskalor
- Mer flexibel elproduktion & överföringskapacitet kan utgöra ett alternativ till energilager. Påverkar:
  - systemkostnad
  - CO<sub>2</sub>-utsläpp
  - mängden spild elproduktion



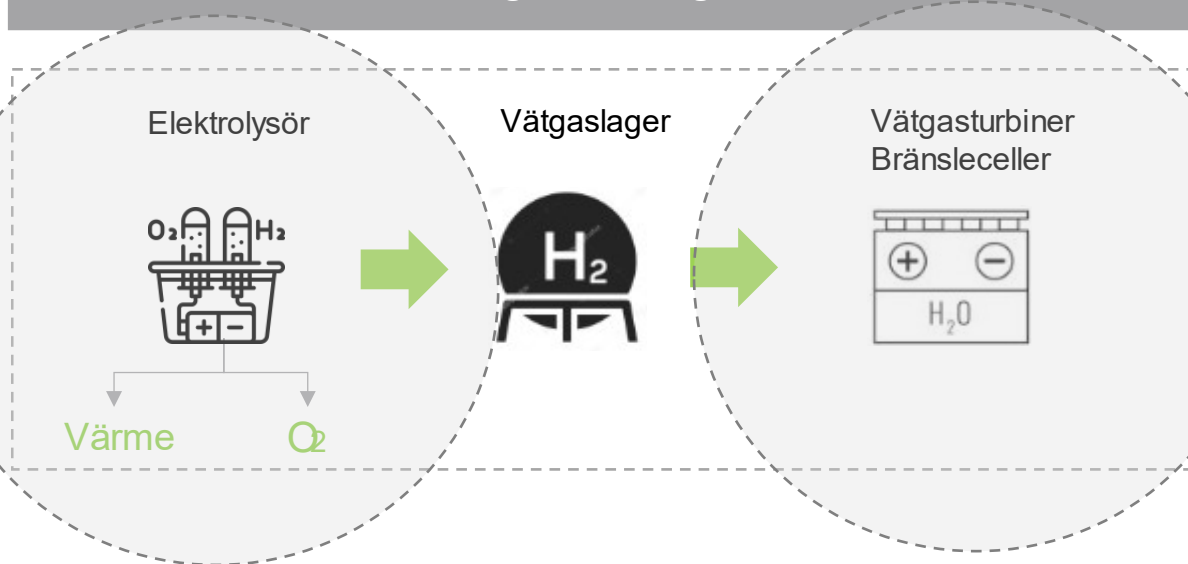
## Slutsatser

- Flexibel vätgasproduktion kan  
bidra med minskat effektbehov vid elpristoppar  
ge minskade eltillförselkostnader  
ge lägre systemkostnader
- Förutsättningarna för vätgasbaserad  
elproduktion  
förbättras med hög andel variabel elproduktion  
och stora vätgaslager  
är begränsade i Sverige men något större på  
kontinenten
- Energilager har en **utjämnande effekt** på  
elpriset – i tid och rum
- Batterier är både en **konkurrent och ett  
komplement** till vätgaslager

# Vätgasflexibilitet och stödtjänstmarknaderna

# Vätgasteknologier och kortsiktig balansering

## Vätgasteknologier



## Stödtjänster

Hjälper kraftsystemet och får *inte* betald

Hjälper kraftsystemet och får betald

- Rotationsenergi
- Reaktiv effekt
- Felströmsinmatning
- Spänningshållning

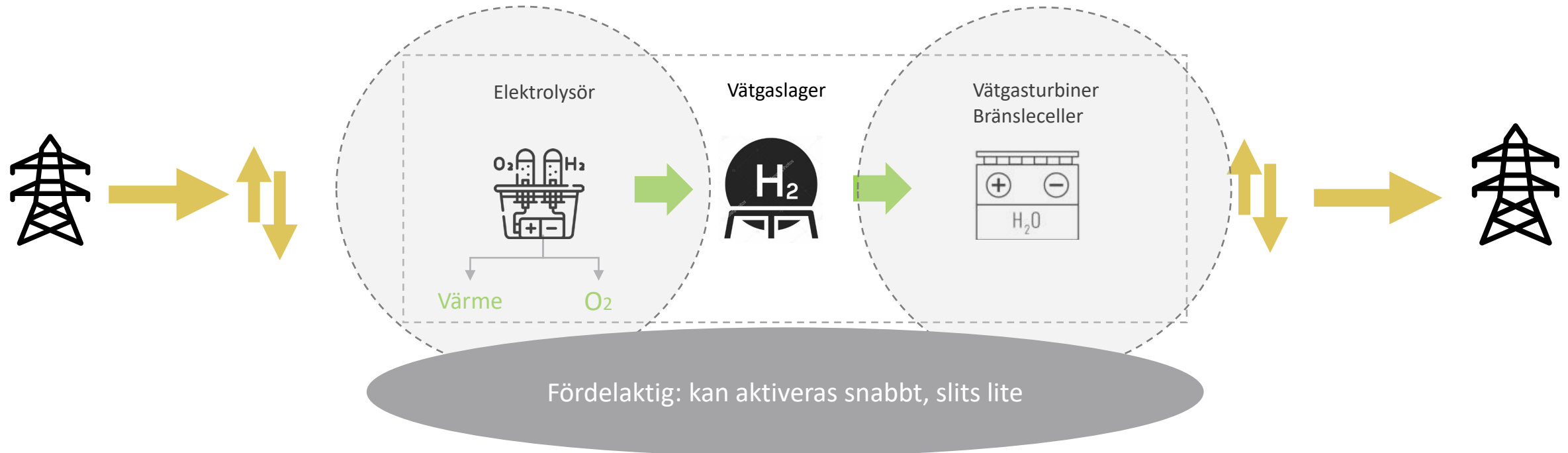
- FFR**
  - Snabb frekvensreserv (Fast Frequency Reserve)
  - När kraftsystemet är i behov av stabiliseringsbidrag med kort varsel på grund av låg rotationsenergi (svängmassa)
- FCR-D**
  - Frekvenshållningsreserv störning (Fast Frequency Reserve – Disturbance)
  - För FCR-D finns marknader för både upp- och nedreglering med syfte att hantera större störningar i elsystemet
- FCR-N**
  - Frekvenshållningsreserv normaldrift (Frequency Containment Reserve – Normal)
  - En symmetrisk produkt som hanterar normala förändringar i produktion eller konsumtion som skapar frekvensavvikelser
- aFRR**
  - Automatisk frekvensåterställningsreserv (automatic Frequency Restoration Reserve)
  - För aFRR finns marknader för både upp- och nedreglering med syftet att återställa frekvensen tillbaka till 50 Hz
- mFRR**
  - Manuell frekvensåterställningsreserv (manual Frequency Restoration Reserve)
  - mFRR är en backup till aFRR och aktiveras manuellt av Svk för att återställa frekvensen tillbaka till 50 Hz



Elektrolysörer och vätgasbaserad elproduktion skulle kunna vara en viktig resurs framöver för den kortsiktiga balanseringen eftersom de tekniska möjligheterna att bidra är goda...

...men det finns flera andra resurser som konkurrerar med vätgasteknologierna och de ekonomiska förutsättningarna kommer vara avgörande

# Vätgasteknologiers lämplighet för kortsiktig balansering



**PEM:** mest lämplig, snabba och mest reglerbara utifrån minst negativ inverkan på elektrolysören

**Alkaliska elektrolysörer:** Lämpar sig bäst för kontinuerlig drift

**SOEC:** Lämpar sig bäst för kontinuerlig drift, ännu omogen teknik

**Vätgasturbiner:** Ombyggnad eller nyproduktion  
Fossileldade gasturbiner används idag till mothandel/störningsreserv

**Bränsleceller:**  
Ej kommersialiserat i större skala  
Kan komma att ersätta dagens fossila reservkraft (ex. diesel aggregat)

# Vätgasproduktion via elektrolysör

Stödtjänst	Tekniska krav stödtjänst	Elektrolysör	
		PEM	Alkaliska
<b>FFR-upp</b>	Budstorlek: 0,1 MW Aktiveringstid: 0,7-1,3 s Uthållighet: 5 alt 30 s	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aktiveringstid för kort</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aktiveringstid för kort</li> </ul>
<b>FCR-D upp</b>	Budstorlek: 0,1 MW Aktiveringstid: 86 % aktivering på 7,5 s Uthållighet: 20 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>Förutsätter drift för att uppfylla aktiveringstid</li> <li>Vätgasbuffert för process kan ha betydelse möjlighet till deltagande</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aktiveringstid för kort</li> <li>Ej lämpligt eftersom deltagande kräver kontinuerlig reglering utifrån frekvens</li> </ul>
<b>FCR-D ned</b>	Budstorlek: 0,1 MW Aktiveringstid: 86 % aktivering på 7,5 s Uthållighet: 20 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>Förutsätter drift för att uppfylla aktiveringstid</li> <li>Möjlighet att lagra vätgas överskott kan ha betydelse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aktiveringstid för kort</li> <li>Ej lämpligt eftersom deltagande kräver kontinuerlig reglering utifrån frekvens</li> </ul>
<b>FCR-N symmetrisk</b>	Budstorlek: 0,1 MW Aktiveringstid: 100 s Uthållighet: 60 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beroende på lagringsmöjlighet/vätgasbuffert för process</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aktiveringstid för kort</li> <li>Ej lämpligt eftersom deltagande kräver kontinuerlig reglering utifrån frekvens</li> </ul>
<b>aFRR upp</b>	Budstorlek: 1 MW Aktiveringstid: 300 s Uthållighet: 60 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>Budstorlek kan vara utmanande för mindre elektrolysör</li> <li>Vätgasbuffert för process kan ha betydelse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ej lämpligt eftersom deltagande kräver kontinuerlig reglering utifrån frekvens</li> </ul>
<b>aFRR ned</b>	Budstorlek: 1 MW Aktiveringstid: 300 s Uthållighet: 60 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>Budstorlek kan vara utmanande för mindre elektrolysör</li> <li>Möjlighet att lagra vätgas överskott kan ha betydelse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ej lämpligt eftersom deltagande kräver kontinuerlig reglering utifrån frekvens</li> </ul>
<b>mFRR upp</b>	Budstorlek: 5/10 MW Aktiveringstid: 15 min Uthållighet: 60 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>Budstorlek kan vara utmanande för mindre elektrolysör</li> <li>Vätgasbuffert för process kan ha betydelse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Budstorlek kan vara utmanande för mindre elektrolysör</li> <li>Vätgasbuffert för process kan ha betydelse</li> </ul>
<b>mFRR ned</b>	Budstorlek: 5/10 Aktiveringstid: 15 min Uthållighet: 60 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>Budstorlek kan vara utmanande för mindre elektrolysör</li> <li>Möjlighet att lagra vätgas överskott kan ha betydelse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Budstorlek kan vara utmanande för mindre elektrolysör</li> <li>Möjlighet att lagra vätgas överskott kan ha betydelse</li> </ul>

# Elproduktion från vätgas

Stödtjänst	Tekniska krav stödtjänst	Gasturbin	Bränslecell
<b>FFR-upp</b>	Budstorlek: 0,1 MW Aktiveringstid: 0,7-1,3 s Uthållighet: 5 alt 30 s	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aktiveringstid för kort</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aktiveringstid för kort</li> </ul>
<b>FCR-D upp</b>	Budstorlek: 0,1 MW Aktiveringstid: 86 % aktivering på 7,5 s Uthållighet: 20 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>Snabbt aktiveringsförlopp förutsätter att anläggning är i drift vid aktivering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sällan aktivering fördelaktigt för bränslecell</li> </ul>
<b>FCR-D ned</b>	Budstorlek: 0,1 MW Aktiveringstid: 86 % aktivering på 7,5 s Uthållighet: 20 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>Snabbt aktiveringsförlopp förutsätter att anläggning är i drift vid aktivering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sällan aktivering fördelaktigt för bränslecell</li> <li>Förutsätter att anläggning är i drift vid aktivering</li> </ul>
<b>FCR-N symmetrisk</b>	Budstorlek: 0,1 MW Aktiveringstid: 100 s Uthållighet: 60 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>Snabbt aktiveringsförlopp förutsätter att anläggning är i drift vid aktivering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ej lämpligt eftersom deltagande kräver kontinuerlig reglering utifrån frekvens</li> </ul>
<b>aFRR upp</b>	Budstorlek: 1 MW Aktiveringstid: 300 s Uthållighet: 60 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>Snabbt aktiveringsförlopp förutsätter att anläggning är i drift vid aktivering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Budstorlek kan vara utmanande</li> <li>Storlek på vätgaslager har betydelse för uthållighet</li> </ul>
<b>aFRR ned</b>	Budstorlek: 1 MW Aktiveringstid: 300 s Uthållighet: 60 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>Snabbt aktiveringsförlopp förutsätter att anläggning är i drift vid aktivering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Budstorlek kan vara utmanande</li> <li>Förutsätter att anläggning är i drift vid aktivering</li> </ul>
<b>mFRR upp</b>	Budstorlek: 5/10 MW Aktiveringstid: 15 min Uthållighet: 60 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>Storlek på vätgaslager har betydelse för uthållighet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Budstorlek kan vara utmanande</li> <li>Storlek på vätgaslager har betydelse för uthållighet</li> </ul>
<b>mFRR ned</b>	Budstorlek: 5/10 Aktiveringstid: 15 min Uthållighet: 60 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>Förutsätter att anläggning är i drift vid aktivering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Budstorlek kan vara utmanande</li> <li>Förutsätter att anläggning är i drift vid aktivering</li> </ul>

# Lämplighet är en sak, konkurrenssituationen för kortsiktig balansering en annan

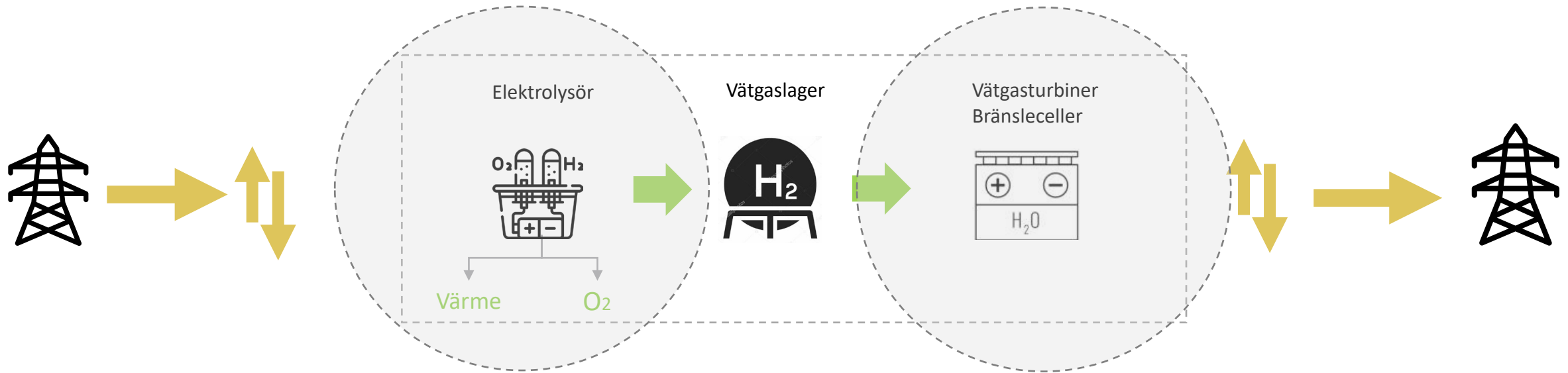


- Idag stor andel vattenkraft på alla marknader förutom FFR
- Andel kraftelektronikanslutna teknologier ökar på marknaderna
  - Batterier på väg in på framför allt FFR och FCR-D
  - Vind på väg in på framförallt nedregleringsmarknader så som FCR-D, a/mFRR
- Flexibel förbrukning (annat än för vätgasproduktion) torde ha en relativt stor potential för kortsiktig balansering och utnyttjas redan idag i viss utsträckning och är på stark frammarsch på framför allt marknaderna för FCR-D.
- **Elektrolysörers** reglerförmåga lämpar sig bra för FCR och FRR marknaderna. Framöver kommer det finnas behov/krav om volym per elområde. SE3 och SE4 mer fördelaktig eftersom lägre konkurrens med vattenkraft. FCR marknaderna som handlas upp på Sverigenivå innebär större konkurrens med vatten, vind och batterier.
- **Gasturbiner och bränsleceller** kommer troligtvis att konkurrera med annan spetslastproduktion på mFRR (uppreglning). Vätgaspriset blir avgörande för konkurrens och deltagande

# Vem vill balansera med vätgas, varför eller varför inte?

- **Reglering, speciellt snabb reglering, leder till mer slitage/åldrande av t.ex. elektrolysören och därmed ökad underhållskostnad**
- **Få aktörer tänker *enbart* bygga för att hjälpa elsystemet, ekonomi avgörande. Vid industriell verksamhet kan man utgå från att vätgasproduktionen för industriprocessen är överordnad viljan att bidra till balansering av elsystemet eftersom tillverkningen av slutprodukter prioriteras.**
  - Att inte kunna nyttja elektrolysören optimalt för dess huvudprocess kan innebära en kostnad i form av förlorade intäkter från vätgas och/eller den slutprodukt som vätgasen används till. Tillgång till vätgaslager eller lager av industriella slutprodukter (eller intermediära produkter som järnsvamp för en stålproducent) blir då avgörande i kombination med intäkterna på stödtjänstmarknaderna från effektneddragning som genomförs.
  - Att reglera elektrolysören utifrån annat än huvudprocessen kan medföra ökade slitagekostnader och det kan även innebära en ökad kostnad (elpris) att vid ett senare tillfälle behöva kompensera för den minskade vätgasproduktion som deltagande med en uppregleringsprodukt kan innebära.
- **Förutom att elektrolysörer/vätgasturbiner/bränsleceller måste vara konkurrenskraftiga jämfört med övriga teknologier som idag deltar, alternativt är på väg in på marknaderna, behöver de även ta hänsyn till förlorade intäkter och ökade kostnader vid deltagande på frekvensmarknaderna.**

# Utblick



- Elektrolysörer byggs för sitt huvudsyfte, vätgasproduktion, men inte nödvändigtvis med kortsiktig balansering i åtanke
  - Kortsiktig balansering kan dock bli en bonus
- Vill man bygga ett system som kan balansera kortsiktigt och långsiktigt riktigt bra, kan man även kombinera olika typer av elektrolysör (snabba och dyra, långsamma och billiga) och batterier

- Troligt scenario är att gasturbiner kommer fortsatt vara spetslastproduktion, ej investera i vätgasturbiner *enbart* för kortsiktig balansering
- Vätgasturbiner och bränsleceller kan komma att ersätta dagens fossilbaserade reservkraft (ex. gasturbiner, dieselaggregat)

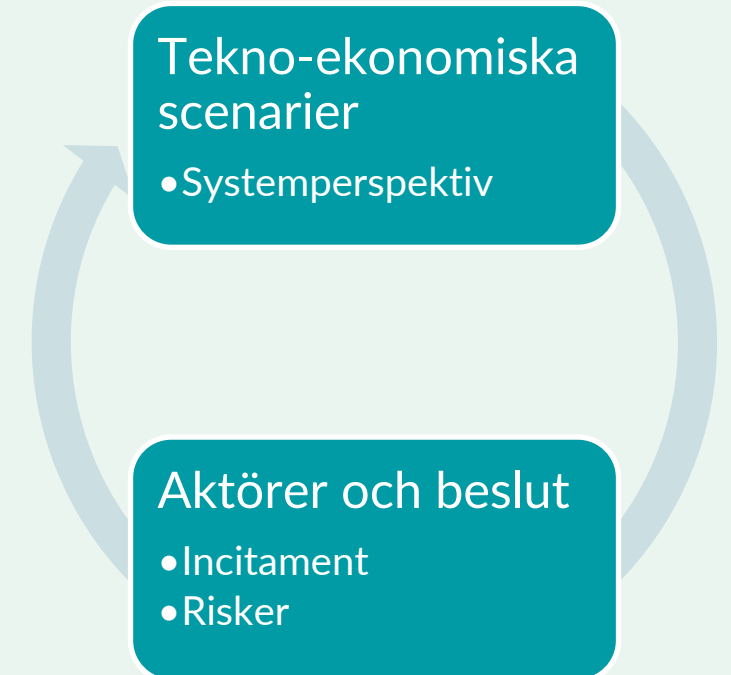
# Vätgasflexibilitet från aktörsperspektiv

Maria Edvall

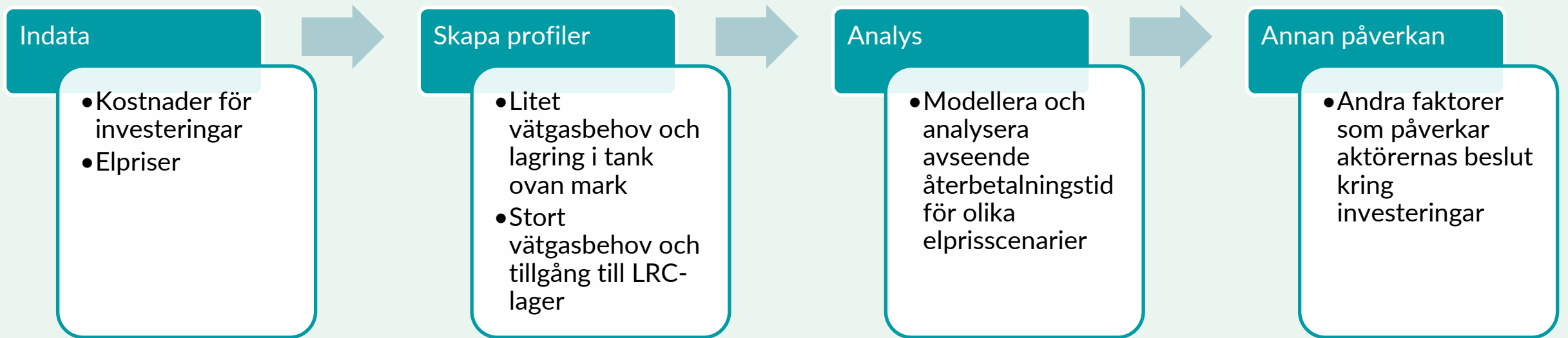


# Syfte

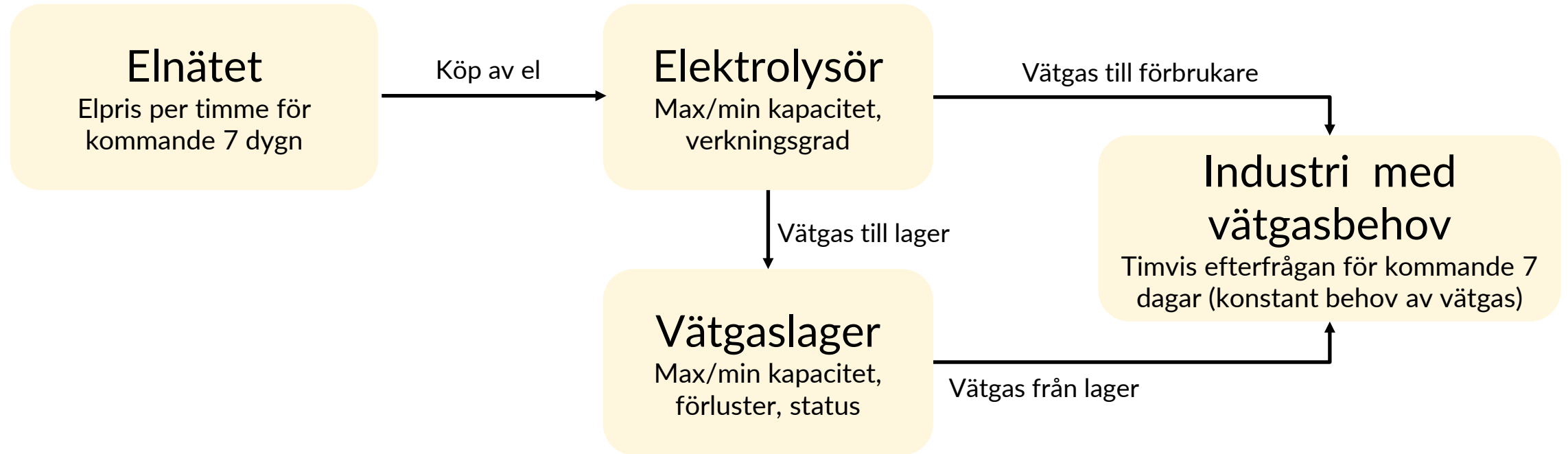
- Hur väl linjerar olika aktörers intressen och incitament med tekno-ekonomiska scenarier som utgår från systemperspektivet?
- För att realisera scenarierna behövs en mängd olika investeringar och beslut tas av flera olika aktörer
- Olika aktörer verkar på olika marknader och med olika drivkrafter



# Genomförande



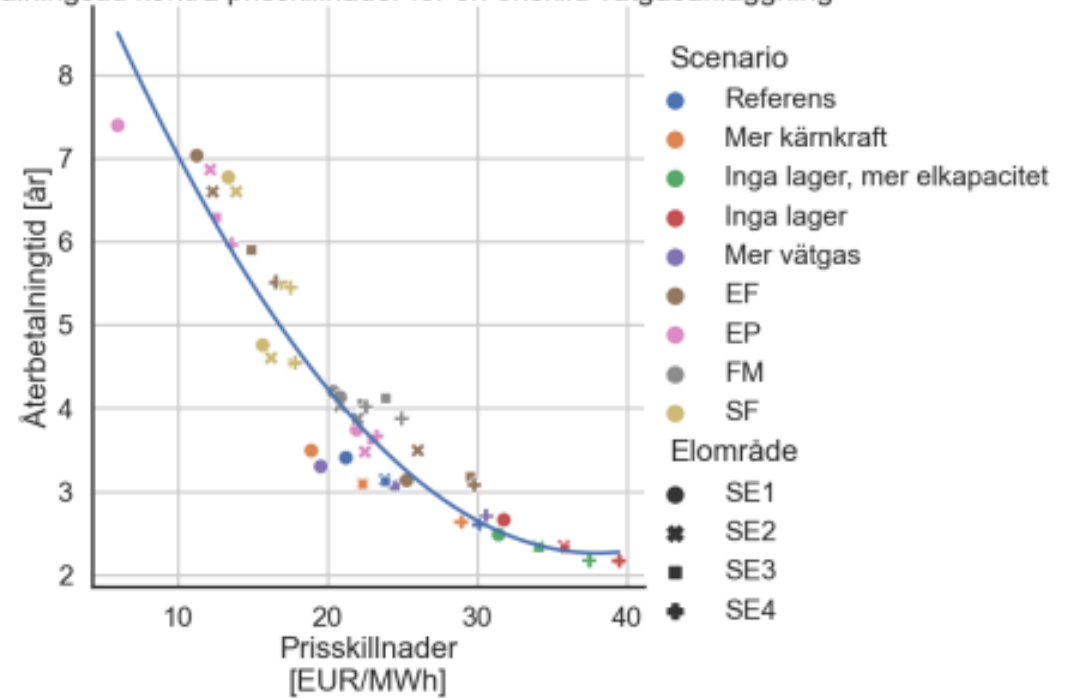
# Modellen



# Elprisvariationer och lönsamhet

Återbetalningstid som funktion av veckoelprisskillnader i elprisscenarierna för en enskild vätgasanläggning med 25 % överkapacitet och ett LRC som kan lagra 4 dagars vätgasbehov.

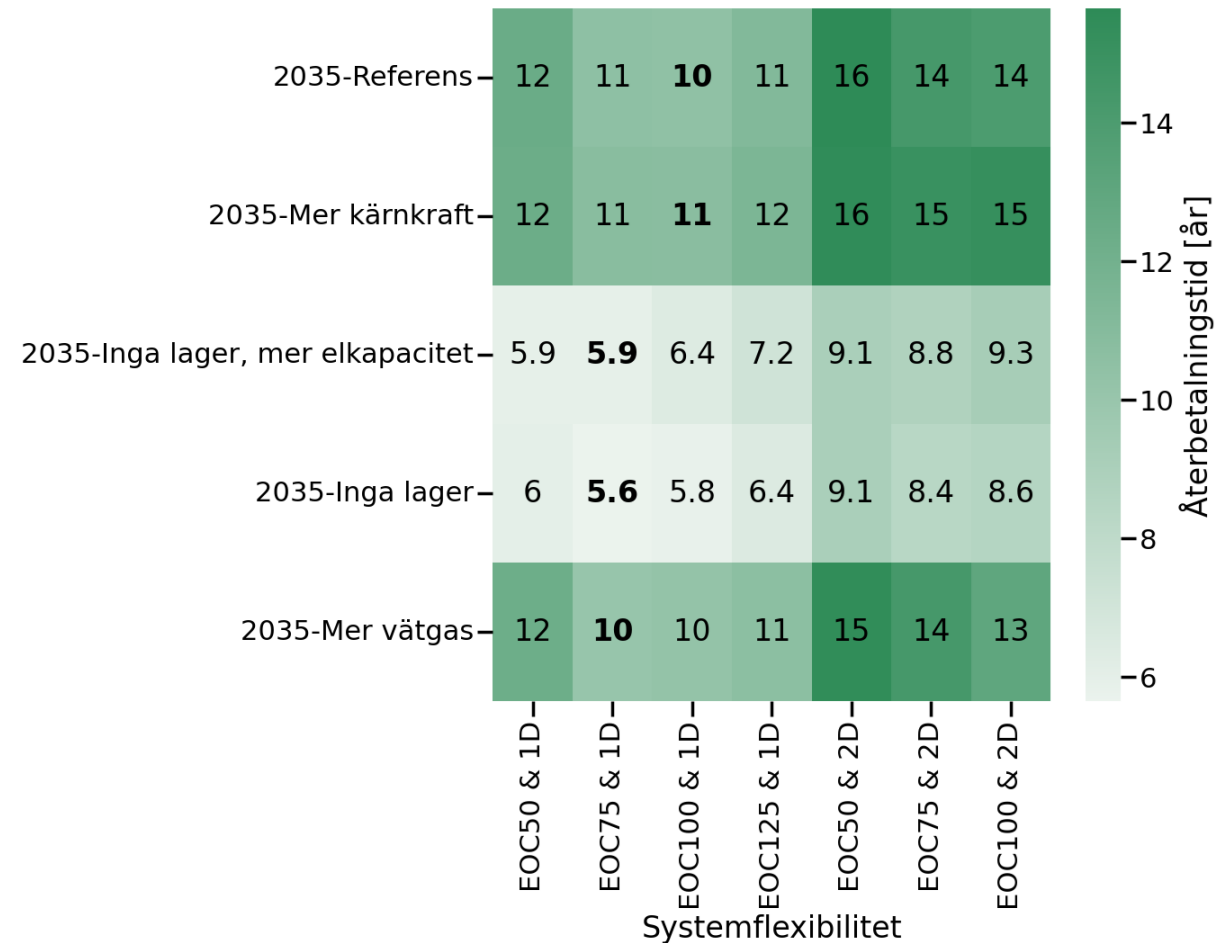
Återbetalningstid kontra prisskillnader för en enskild vätgasanläggning



# Lilla systemet

- Bäst lönsamhet att investera i ett 1 dygnslager och 75-100% överkapacitet
- Dimensionering på fel grunder kan resultera i att en utebliven investering hade varit mer lönsam

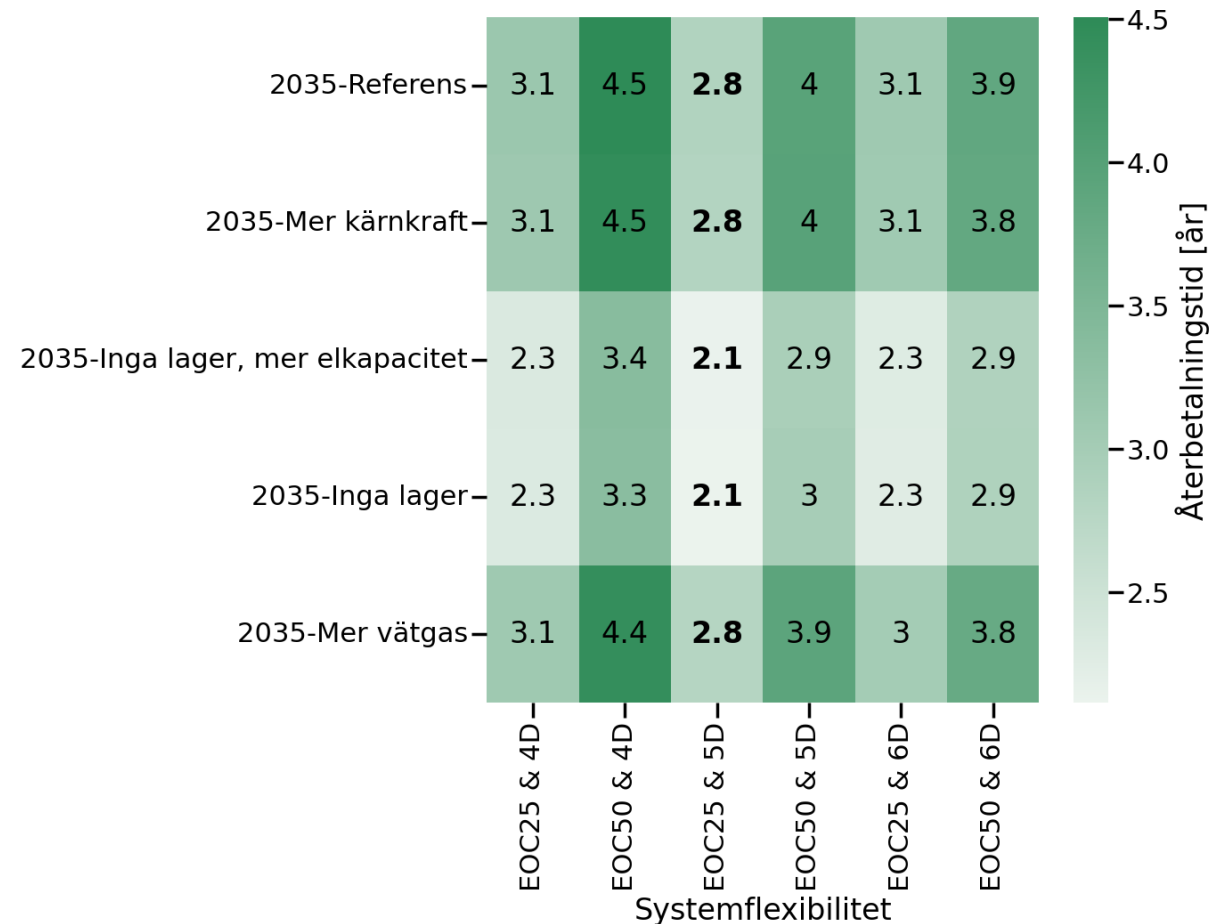
Återbetalningstider i elprisscenarierna i SE3 i lilla systemet för olika kombinationer av överkapacitet och lagerstorlek



# Stora systemet

- Begränsningar för i- och urladdningshastighet påverkar resultatet
- LRC-lager billigare än tank ovan mark
- Bäst lönsamhet att investera i ett 5 dygnslager och 25% överkapacitet

Återbetalningstider i elprisscenarierna i SE3 i stora systemet för olika kombinationer av överkapacitet och lagerstorlek



# Industrin - riskvillighet

- Låg riskvillighet
- Prissäkrar majoriteten av elen som köps in
- Viktigare att veta sina kostnader än att minimera dem
- Investeringsbeslut kräver kända kostnader/intäkter med kort avbetalningstid
- Investeringar jämförs mot andra investeringar industrin kan ta
- Industrin som investerar i vätgasproduktion går från att vara **energiintensiv** till att vara **elintensiv**

# Industrin - förutsättningar

- Tillgång till utrymme inom industriområdet samt geologiska förutsättningar för underjordiskt lager är begränsande faktorer
- Tillgång till underjordiskt lager kräver i många fall att det finns ett vätgasnät, kostnad tillkommer
- Industrier som nyttjar vätgas idag har inga lager



# Industrin - incitament

- Prognoser indikerar mer volatila elpriser framåt, ökat värde att vara flexibel
- Finns en risk kopplat till att inte kunna agera flexibelt
- Flexibilitet kan möjliggöra tidigare anslutning till elnätet / utökning av abonnemang anläggningen kan anpassa sitt eluttag efter nätkapaciteten

# Sammanfattning

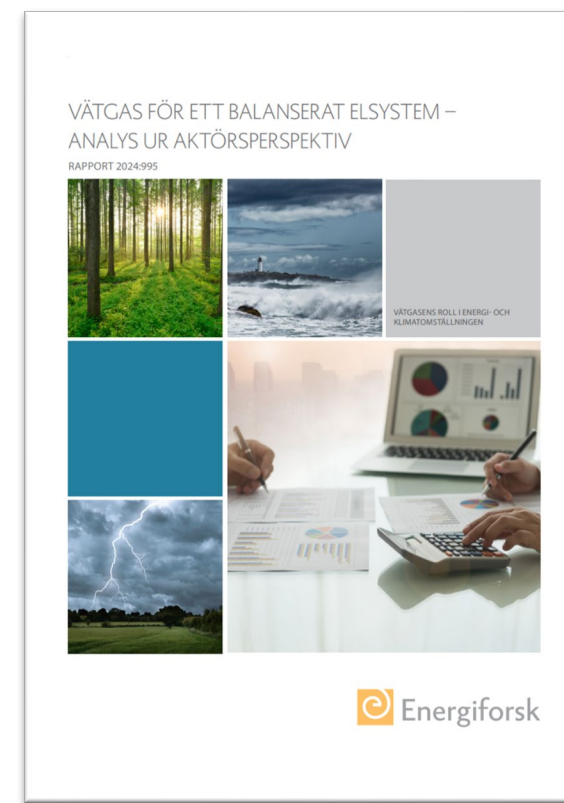
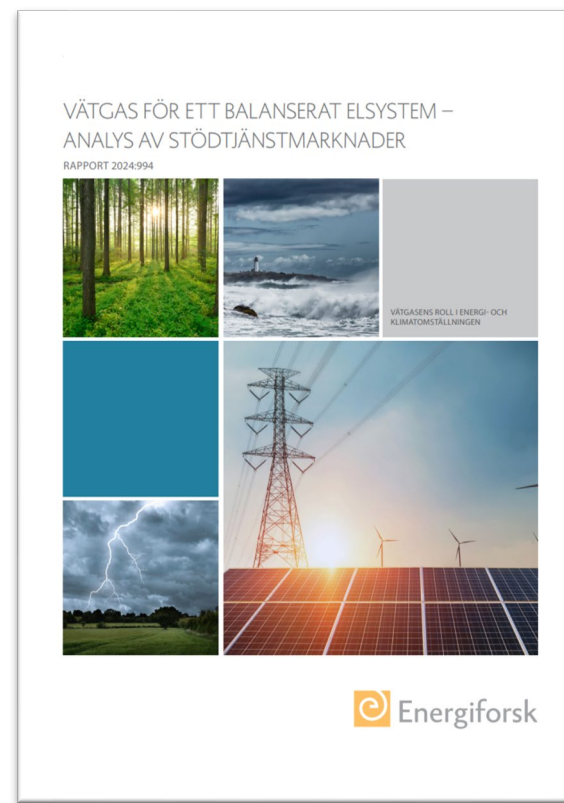
- Stor osäkerhet kring lönsamhet
- Lönsamhet för flexibilitet korrelerar med elprisskillnader
- Investering i flexibilitet motverkar de önskade elprisskillnaderna
- Industrin förknippad med låg riskvillighet
- Lokala förutsättningar för vätgaslager
- Konkurrens från andra marknader



## Sammanfattning

- Flexibel användning av elektrolysörer för vätgasproduktion har stora möjligheter att dämpa effektbehovet vid elpristoppar.
  - Återbetalningstid för merinvestering korrelerar med elprisvariation.
- Förutsättningarna för vätgasbaserad elproduktion är bättre i kontinentala Europa än i Sverige.
  - Förutsättningarna är bättre vid bl.a. hög andel variabel elproduktion och få andra flexibilitetsalternativ.
- Batterier och vätgaslagring kan komplettera varandra genom att bidra till balansering på olika tidshorisonter.
  - Energilagring har en utjämnande effekt på elpriset.
- De tekniska förutsättningarna för elektrolysörer och vätgasbaserad elproduktion att bidra på stödtjänstmarknaderna är i många fall goda.

# Mer information



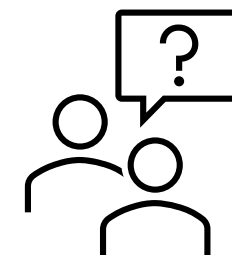
- En syntesrapport + tre delrapporter är publicerade (bildlänkar)
- Tillgängliga här på Energiforsks [hemsida](#)



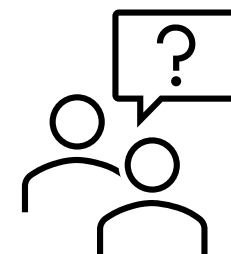
**Frågestund**

## Skriftliga svar i efterhand på några frågor som inkom under webinariet (en del besvarades muntligen)

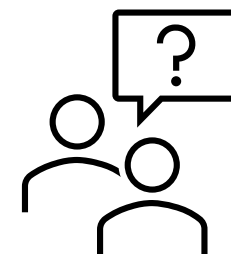
- Varför har ni delat upp tank på mark och LRC? Vad är det som en tank på mark kan göra som inte kan göras med LRC?
  - Dels skiljer sig investeringskostnaderna mycket åt mellan de olika lagertyperna, dels har LRC-lager fysiska begränsningar som gör att de inte kan laddas i och ur lika snabbt som en tank ovan mark.
- I vilket elområde lönsamhet av vätgaslager ökar? varför?
  - Det beror på var efterfrågan för vätgas finns, vilken elproduktionsmix som finns i respektive elområde, hur elöverföringsmöjligheterna ser ut mellan elområdena etc. I våra modellanalyser har vi inte tittat på transport av vätgas som en möjlighet, men sådana möjligheter skulle också påverka lönsamheten för lager i olika elområden. I de analyser som vi har gjort såg vi stor nytta med vätgaslager i SE1 eftersom mycket av vätgasbehovet är allokerat dit i våra beräkningar.



- Hur mycket på årsbasis minskade de totala kostnaderna för att producera vätgas med lagra i trycksatta tankar vs LRC? Har ni inkluderat capex för tex lager och elektrolys, eller endast kollat på opex?
  - Vi har inte testat att möjliggöra antingen investeringar i tankar eller LRC, utan har i samtliga fall där vätgasflexibilitet är möjligt tillåtit båda sorterna. Då investeringar görs i båda lagertyper innebär det att modellen finner det kostnadsoptimalt med båda då de har lite olika egenskaper och därigenom kan komplettera varandra. För alla modellkörningar där någon form av investering är möjlig har CAPEX inkluderats, annars är det endast OPEX. CAPEX har alltså inkluderats för både lager och elektrolys.
- Vilka antaganden har gjorts avseende för vätgasdistribution, regionalt och mellan länder? Framförallt avseende kostnader och prispåverkan.
  - Vi har inte inkluderat vätgasdistribution i modellberäkningarna, utan har tittat på fall där vätgas produceras i samma elområde som det ska användas (modellen har däremot möjlighet att investera i elledningar). Vi har gjort ett antal känslighetsfall för att se vad som händer om man flyttar vätgasproduktionen till andra elområden än i referensfallet och där bl.a. sett att årsmedel för elpriserna i Sverige kan sänkas om vätgasproduktionen flyttas till elområden med mycket variabel elproduktion. Det vore intressant att gräva vidare i hur resultaten förändras om vi möjliggör transport av vätgas med pipelines, lastbil etc. Detta är identifierat som en intressant vidare fråga i projektets syntesrapport.

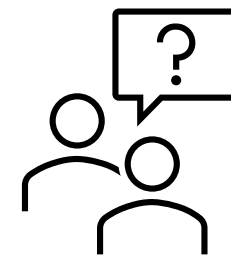


- Vad har ni antagit för hastighet (effekt) för in- och urladdning av ett vätgaslager av typen LRC? I MW, eller GWh/dygn eller liknande? Ett ungefärligt spann.. Tack!
  - Vi har använt enheten, % av lagerstorlek per timme, vilket ger att in- och urladdningshastighet är beroende av lagerstorleken. Data för detta finns i Tabell 2 i rapporten om analys ur energisystemperspektiv, där finns även referens till var vi fått siffrorna ifrån.
- Vilka siffror för capex/opex har ni antagit för elektrolysörer respektive lager (tank och LRC) för 2035?
  - Se tabell 1-4 i projektets delrapport om analys ur energisystemperspektiv (Energiforskrapport 2024:996).
- Finns stora skalfördelar med vätgasproduktion? Eller kan det bli lönsamt att investera i småskalig produktion? Och isåfall på vilken tidshorisont?
  - I systemanalysen har vi endast tittat på vätgasproduktion på elområdesnivå så detta är inget vi särskilt har studerat inom projekt. Kostnadsantaganden för vätgasproduktions-tekniker är indata i projektets analyser, se tabell 1 i Energiforskrapport 2024:996 och underliggande referenser.

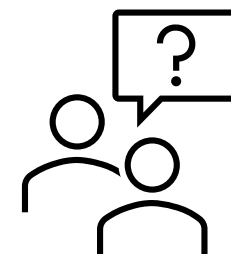




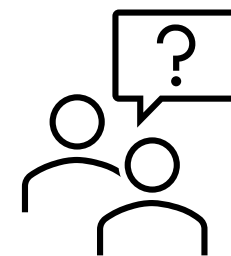
- Med all den flexibilitet som är i och på väg in i systemet blir det då inte först och främst att utnyttja låga elpriser och undvika höga elpriser för elektrolysörerna?
  - Det är exakt den typen av flexibilitet som vi har sett störst nytta av i systemanalysen, dvs elektrolysörer som har viss överkapacitet och tillgång till ett lager för att vara flexibel emot elpriset men ändå kunna möta efterfrågan på vätgas i varje timme. Det här är en fråga vad marknaden erbjuder och vad kostnaden blir för aktören att erbjuda tjänsten. Finns det redan ett lager och om en flexibel körning inte påverkar livslängden så konkurrerar man kanske på annat sätt än ett batteri som får en degradering vid nyttjande.
- Hur stor andel vätgas tror ni kommer att användas till transportsidan? Jag tänker på tunga lastbilar.
  - Det har vi inte tittat på i detta projekt, men vi har antagit att efterfrågan på vätgas är konstant över året och tänkt att det ska motsvara industriellt vätgasbehov. Detta då stora delar av vätgasefterfrågan framöver sannolikt kommer från industrin (men vi har alltså inte tittat på hur stor andel).



- Hur ser ni på annan flexibilitet i t.ex. batterier blir så omfattande att de jämnar ut elpriset och tar bort incitamentet för vätgaslager, dvs. är det mer samhällsekonomiskt lönsamt att flex ligger i andra källor än vätgas?
  - En viktig del av projektet var att titta på vätgasflexibilitet i konkurrens med andra flexibilitetsmöjligheter (flexibel elproduktion av olika slag, elledningar, batterier etc.). Att investeringsmodellen gör investeringar i vätgasflexibilitet (överdimensionerade elektrolysörer och vätgaslager) i kombination med batterier m.m. tyder på att dessa flexibilitetsbidrag kan komplettera varandra genom att bl.a. generera flex på lite olika tidsskalor.
- För en storskalig effekt på elmarknad så bör väl överföringskapacitet/transmission av H2 vara tillgänglig? Annars blir väl effekten väldigt lokal?
  - I projektet har vi inte tittat på möjligheten till vätgastransmission, men det vore intressant att analysera vidare hur detta kan påverka resultaten (identifierat som en "vidare fråga" i syntesrapporten). Då elmarknaden i modellen är sammanhängande i det nordeuropeiska elsystemet så påverkar saker som sker i ett elområde även de andra (i olika grad beroende på vilken överföringskapacitet som finns mellan elområdena etc.). Därmed kan effekten av vätgasflexibilitet i ett elområde spridas till andra elområden trots att vätgasproduktion och tillhörande användning har modellerats lokalt.



- Vilket är förhållandet mellan installerad elektrolysörkapacitet och storlek på LRC-lagret i analysen - vilken är extrakostnaden för lagret?
  - Det är olika för olika elområden respektive scenarier som vi har testat. För fallet där jag visade elektrolysörens körmönster och i- och urladdning för lagren så var vi i SE1 i vårt referensfall. Där blev elektrolysörkapaciteten 2,4 GW (tot i elområdet) och LRC-storleken 163 GWh H2. Modellen har här sett att systemet tjänar på att investera i lagret (dvs systemkostnaden blir högre om vi inte har någon överkapacitet eller lager). Antaganden om själva CAPEX och OPEX finns i tabell 1-4 i Energiforskrapporten 2024:996. Även i delrapporten om aktörsperspektiv (nr 2024:995) finns analyser kopplat till olika kombinationer av elektrolysör- och lagerkapacitet.
- Inte primärt fokus här, men är variationen i elpriset under veckan i tidsföljd och i så fall varför ser det ut som att högsta spotpriset är vid dygnsskarvarna?
  - Ja, det är i tidsföljd, men det handlar om ca 1 veckas tid och börjar inte 00.00 på en måndag utan är bara ett utsnitt plockat för rätt antal timmar i maj. Dvs topparna behöver inte ligga i dygnsskarvar utan kan förekomma mitt på dagen etc. Här är det också viktigt att notera att vi har en lastkurva för år 2035 där det exempelvis antas finnas med DSM i elsystemet vilket påverkar utseendet på den klassiska veckoprofilen.





## VÄTGASENS ROLL I ENERGI- OCH KLIMATOMSTÄLLNINGEN

### Energiforsks vätgasprogram i korta drag

- Öka och samla kunskapen samt stötta affärsutveckling
- Ca 40 deltagande företag/organisationer
- Nio projekt (fyra avslutade) med en bredd av forskningsämnen ex.:
  - Möjligheter för vindkraften
  - Tekniker för vätgaslagring
  - Marknadsstudie (vätgas, e-bränslen)
  - Pipelines vs. kraftledningar, samhällsekonomiskt perspektiv
- Två diskussionsforum – säkerhet samt policy & styrmedel
- Från 2026 – ny programetapp med nya projekt!

← Save-the-date Vätgaskonferensen 11-12 december, Stockholm



**Tack!**

**Kontaktuppgifter till talarna**

**Martin Hagberg** [martin.hagberg@profu.se](mailto:martin.hagberg@profu.se)

**Julia Renström** [julia.renstrom@profu.se](mailto:julia.renstrom@profu.se)

**Frank Krönert** [frank.kronert@sweco.se](mailto:frank.kronert@sweco.se)

**Maria Edvall** [maria.edvall@ri.se](mailto:maria.edvall@ri.se)

**Sara Hugestam** [sara.hugestam@energiforsk.se](mailto:sara.hugestam@energiforsk.se)

 Energiforsk

**RI  
SE**

 **Profu**

**SWECO** 