

Full gas mot vätgas?

En undersökning av intressenter och värdekedja för
vätgasproduktion och lagring i Sverige

Adam Risberg



LUNDS
UNIVERSITET

LTH
Institutionen för produktionsekonomi

© Copyright Adam Risberg

LTH School of Engineering
Lund University

Tryckt i Sverige
Lunds universitet
Lund 2022

Sammanfattning

För att minska utsläppen av växthusgaser har nationella och internationella mål satts upp som medfört att andelen energi från förnyelsebara intermittenta energikällor kommer att öka. Ett resultat av detta är en mer komplex energimarknad och ett ökat behov av energilagring för att överbrygga gapet mellan produktion och efterfråga i tid och rum. En teknisk lösning som föreslås i Europeiska och Svenska policys är produktion och lagring av vätgas, en energibärare som kan lagras i stor volym under lång tid.

Genom en metodkombination av litteraturstudie och intervjuer undersöks vilka intressenterna är för produktion och vätgaslagring i Sverige. Intressenterna identifieras och kategoriseras efter intresse och påverkansmöjligheter. Den utökade värdekedjan för vätgas kartläggs.

Resultatet av studien visar att intresset för området är stort, men endast ett fåtal aktörer har både högt intresse och hög påverkansmöjlighet. Värdekedjan är komplex och innehåller olika värdekedjor beroende på applikation och teknik. Det råder en osäkerhet vem som ska göra vad och det krävs synkroniserade satsningar från intressenterna på de olika delarna i värdekedjan för att realisera de visioner som finns kring storskalig användning av vätgasproduktion och lagring i Sverige.

Nyckelord: Vätgas, vätgaslagring, förnybar energi, värdekedja, intressentanalys, energisystem.

Abstract

In order to decrease greenhouse gas emissions national and international targets have been set, which means that the share of energy from intermittent renewable energy sources will increase. As a result of this, the energy market will become more complex and there is a need to store energy to bridge the gap between demand and production in time and space. A proposed technical solution is production and storage of hydrogen. An energy carrier that can be store over long time periods and in large volume.

In this report a combination of literature study and expert interviews are used to identify and categorize stakeholders in regards to their power and interest. The extended value chain is for hydrogen is mapped.

The result of the study shows that the interest from the stakeholders is high, but only a few stakeholders have high power and interest. The value chain is complex and contains different value chains depending on application and technology. There is an uncertainty what stakeholder will do what, and synchronized investments are required in the different parts of the value chain to realize the visions that exist on production and storage of hydrogen in Sweden.

Keywords: hydrogen, hydrogen storage, renewable energy, value chain, stakeholder analysis, energy systems.

Förord

Denna studie är ett resultat av många människors bidrag. Därför vill jag tacka alla som bidragit till författandeprocessen:

Främst vill jag tacka Ola Alexanderson, min handledare på LTH. Utan våra inspirerande diskussioner, Olas erfarenhet som handledare och kunskap kring vetenskapliga teorier hade denna uppsats inte blivit det den är. Stort tack för all hjälp på vägen!

Ett varmt tack riktar jag även till de experter som har bidragit med sin kunskap och tid. Det är en ynnest att få ta del av den djupa kunskap som ni besitter. Ert trevliga bemötande och er generositet med tid är inspirerande!

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Frågeställning	2
2 Metod	3
2.1 Metodik	3
2.2 Litteraturstudie	3
2.3 Intervju	3
2.4 Tillvägagångssätt	4
3 Teori	5
3.1 Intressentmodellen	5
3.2 Intressentanalys	6
3.2.1 Makt/Intresse-matris	6
3.3 Värdekedjan	7
4 Om vätgas	10
4.1 Tekniska förutsättningar	10
4.2 Förnybar produktion av vätgas	10
4.2.1 Elektrolys	11
4.2.2 Alkalisk elektrolysör	12
4.2.3 PEM-elektrolysör	12
4.3 Kompression	13
4.4 Lagring av vätgas	15
4.5 Distribution	15
5 Energimarknaden i Sverige	17
5.1 Det svenska energisystemet	17
5.2 Energimarknadens utveckling	19
5.3 Målsättningar och policys som påverkar energimarknaden	20
5.4 Energimarknadens utmaningar	21
6 Användning av vätgas	22
6.1 Övergripande användningsområden	22
6.2 Bränslecell	23
6.3 Förbränning	24
6.4 Insatsprodukter i industrin	24
6.5 Transport	24
6.6 Andra affärsmodeller	24

6.6.1 Systemnytta och reservkraft	24
6.6.2 Prisskillnader och oberoende	25
6.6.3 Uppvärmning	25
6.7 Alternativ till vätgas	26
6.8 Nackdelar med vätgas jämfört med andra alternativ	27
7 Resultat och analys - Intressenter på marknaden	31
7.1 Intressenter på marknaden	31
7.1.1 De viktigaste intressenterna på marknaden	33
7.2 Differentiering och klassificering av intressenter	34
7.2.1 Primära och sekundära intressenter	34
7.2.2 Analys av intressenternas makt och intresse	36
7.3 Kopplingar mellan intressenter	37
Resultat och analys - Vätgasens värdekedja	39
7.4 Vätgasens värdekedja	39
8 Diskussion av resultat	43
8.1.1 Diskussion av intressentanalysen	43
8.1.2 Reflektioner kring metod och genomförande av intressentanalys	43
8.1.3 Diskussion av vätgasens värdekedja	43
8.1.4 Reflektioner kring metod och genomförande av intressentanalys	44
9 Slutsats	45
9.1 Summering	45
9.2 Förslag till vidare undersökning	46
10 Källförteckning	47
11 Bilagor	52
Intervjufrågor	52
Intervjuade experter	52

1 Inledning

Detta första kapitel presenterar rapportens bakgrund och syfte. Här beskrivs även kontexten för undersökningen och värdet av att undersöka vätgas och vätgaslagring i Sverige.

1.1 Bakgrund

För att motverka den globala uppvärmningen måste utsläppen av växthusgaser minska snabbt. Det fastslår FN:s Klimatpanel (IPCC) i 2021 års klimatrappport (2021). Sveriges riksdag har satt som mål att Sverige ska ha noll nettoutsläpp av växthusgaser till 2045 och efter detta årtal ska Sverige ha ett negativt nettoutsläpp. All energi ska även komma från fossilfria energikällor senast 2040 (Energimyndigheten, 2022a) och detta ska ske samtidigt som elanvändningen förutses att öka med 167 procent till 2050. För att nå målen står Sverige inför en stor utmaning när det kommer till energiförsörjning.

Mycket av den planerade utbyggnaden av förnyelsebar energi består av intermittenta, ickeplanerbara, kraftkällor som sol- och vindkraft. Detta leder till en komplex och volatil marknad, med varierande utbud som inte matchar efterfrågan i tid och rum. Detta kommer att kräva nya lösningar för lagring och transport av energi.

En möjlig lösning på dessa problem är produktion av vätgas som sedan kan lagras för användning inom flera sektorer vid den tid och plats efterfrågan finns.

Vätgas kan produceras med hjälp av fossilfria energislager och fungerar både som energibärande och som bränsle. Vätgasen kan sedan lagras, transporteras och genererar inte växthusgaser vid användning. Dessa faktorer gör att Energimyndigheten (Energimyndigheten, 2022a) bedömer att vätgas har potential att spela en stor roll för energisystemet i framtiden och EU bedömer att 24 procent av energibehovet skulle kunna täckas av vätgas.

Frågan är hur detta ska gå till. Vilka är aktörerna som ska omsätta ambitiösa policydokument till verklighet? Det finns ännu ingen etablerad värdekedja och det är oklart vilka intressenter som har makt och intresse att påverka utvecklingen.

1.2 Syfte

Syftet med denna undersökning är att identifiera förutsättningarna för att vätgas ska kunna etableras som ett energisystem.

För att uppnå huvudsyftet krävs dels en fördjupad insikt i vilka olika intressenter som påverkar energisystem i allmänhet och vätgas i synnerhet, dels en insikt i vätgasens egenskaper vad avser produktion, lagring och distribution, dvs hur vätgasens värdekedja är konstruerad.

1.3 Avgränsningar

Endast intressenter och värdekedja i Sverige kommer att undersökas. Den ekonomiska lönsamheten för olika lösningar kommer inte att beräknas och det är vätgas som framställts av fossilfri energi som undersöks. Främst kommer undersökningen gälla grön vätgas framställd genom elektrolys och fokus är på energisystemet, industriella tillämpningar tas endast upp ytligt.

1.4 Frågeställning

Rapportens frågeställning bryts ner i följande forskningsfrågor:

- *Hur ser vätgasens värdekedja ut och var i värdekedjan sker lagring?*
- *Vilka intressenter finns det på marknaden för vätgasproduktion, lagring och konsumtion?*
- *Vilken nivå av makt och intresse har de olika intressenterna för att utveckla vätgas på den svenska marknaden?*

2 Metod

Det tredje kapitlet beskriver metodologin för undersökningen och processen bakom arbetet.

2.1 Metodik

Enligt Denscombe (2014) krävs rätt metodik av författaren för att få en tydlig bild av problemet, inhämta och mäta information noggrant och för att finna rätt fakta och belägg för innehållet i rapporten. Genom att kombinera flera metoder för att inhämta information kan undersökningen ge en mer fullständig bild. Därför har två olika metoder använts i denna studie. Först en litteraturstudie och sedan intervjuer. Då datainsamlingen är mer kvalitativ så passar metodiken bra för att kartlägga ett nytt område, däremot så medför metodiken även att det blir svårare att dra generella slutsatser från resultatet. För att öka trovärdigheten kommer källor noggrant redovisas och en systematik följas i litteraturstudien så att den data som underbygger slutsatserna kan spåras till ursprungskällan.

2.2 Litteraturstudie

För att undersöka vätgastekniken, möjligheterna för att lagra energi som vätgas och utvecklingen inom området genomfördes en litteraturstudie. För att samla in data användes Google Scholar, Web of Science och LUBsearch. Genom att använda strukturerad sökning med nyckelord i dessa databaser producerades ett urval av artiklar. Genom en strukturerad process filtrerades artiklar ut baserat på relevanta titlar. Abstract lästes därefter för att avgöra relevansen för studien. Enligt denna urvalsprocess valdes ett antal artiklar ut för att beskriva den tekniska grunden för vätgas och vätgaslagring.

Energimarknadens utveckling och mekanismer undersöktes också genom en litteraturstudie. Utifrån den initiala litteraturstudien identifierades aktörer i värdekedjan och dessa undersöktes vidare genom aktörernas egna publicerade rapporter. För att hitta information från offentliga aktörer användes främst styrdokument och rapporter från myndigheter, kommuner och regioner som källor. För privata aktörer användes den information som företaget själva publicerat samt rapporter från branschen och offentliga aktörer.

2.3 Intervju

Vid kartläggning av komplexa fenomen passar intervjuundersökningar bra. Detta eftersom det lämnar mer utrymme för intervjuobjektet att förklara sina svar samt beskriva uppfattningar och erfarenheter (Denscombe, 2014).

För att få ytterligare djup i undersökningen och för att ytterligare kartlägga vad som driver de olika intressenterna i Sverige har ett antal intervjuer utförts. Intervjuobjekten har initialt valts ut utifrån de kartlagda aktörerna i litteraturstudie. Efter detta har snöbollssampling använts. Experterna har själva fått identifiera intressenter, som därefter intervjuats. Intervjuobjekten representerar aktörer från olika delar i värdekedjan för att ge en mångfacetterad bild av nuläget.

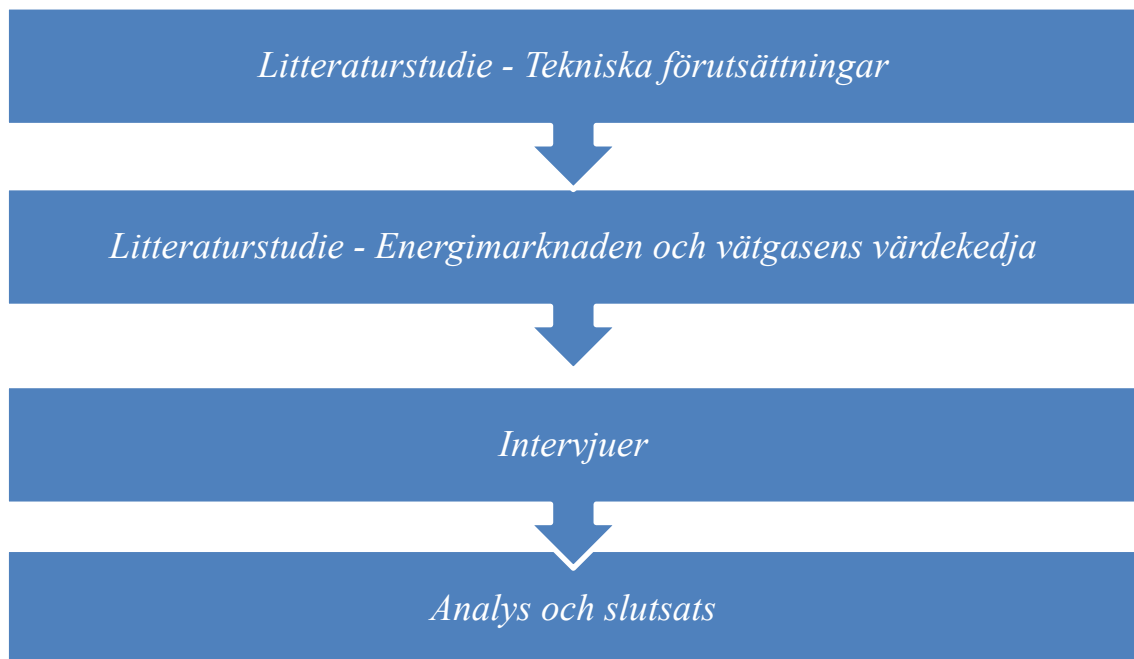
Som intervjumetodik användes en semi-strukturerad approach. Detta innebär att ett antal förbestämda frågor bygger upp en strukturerad grund för intervjun, men för att kunna följa upp olika trådar ges även utrymme för följdfrågor. Detta för att få en struktur där svaren

underlättar jämförelse mellan de olika aktörerna i värdekedjan, samtidigt som vikten under intervjun är att den intervjuade kan utveckla sina tankar (Denscombe, 2014). I den strukturerade delen ingick även frågor där respondenterna ombads att diskutera de viktigaste aktörerna på marknaden och vilken makt/intresse dessa har för att påverka utvecklingen. Det ställdes även strukturerade frågor om hur värdekedjan såg ut och vilka hinder och möjligheter som finns för de olika stegen i värdekedjan.

För att lättare kunna koppla åsikter till en specifik källa används personliga intervjuer med en informant åt gången. Intervjuerna transkriberades för att kunna analysera innehållet.

2.4 Tillvägagångssätt

Överblick över arbetsprocessen för uppsatsen. Litteraturstudier utförs i ett första steg för att ha korrekt underlag kring vilka tekniska förutsättningar, vilka aktörer och vilka påverkansfaktorer som finns för vätgasproduktion och lagring i Sverige. Underlaget används sedan för att utforma frågeformuläret och välja ut respondenter för intervjuer. Intervjuer utförs på distans med hjälp av telefon för att möjliggöra möten över hela landet.



3 Teori

I detta kapitel presenteras den vetenskapliga grunden för de teoretiska modeller som appliceras i rapporten. En första del behandlar intressentmodellen och makt/intresse-analys. Sedan beskrivs även teorin bakom värdekedjan och värdenätverken.

3.1 Intressentmodellen

Edward Freeman introducerade intressentmodellen som tog begreppet intressent, en person med ett intresse i en verksamhet, vidare och utökade konceptet till att intressenter är olika grupper med intressen. Dessa grupper delade Freeman upp i externa och interna intressenter. De interna intressenterna är exempelvis ledningsgrupp och anställda i ett företag, medan exempel på externa intressenter är leverantörer, aktieägare, kunder och så vidare (Freeman et al., 2010).

Med tiden har modellen har utvecklats till att ha många olika definitioner och omfång vilket har kritiserats, men gör också modellen flexibel och gör att den går att använda i många olika sammanhang. Även hela system av intressenter har analyserats vilket blir komplext men kan ge en tydligare framtidsbild (Freeman et al., 2010).

För att gruppera in ett system av intressenter kan dessa delas in i primära och sekundära intressenter, enligt figur 1.



Figur 1. Ett intressentsystem med primära och sekundära intressenter (Freeman et al., 2007).

Enligt intressentmodellen medför en analys av de olika aktörerna, som påverkas eller kan påverka organisationen, att det är lättare analysera hur den framtida utvecklingen kommer att se ut (Freeman et al., 2010). Intressentmodellen är därmed ett väletablerat koncept för

att bortom intressenterna inom organisationen, affären eller projektet kunna se hela nätverket med aktörer med påverkansmöjligheter (Mitchell et al., 1997).

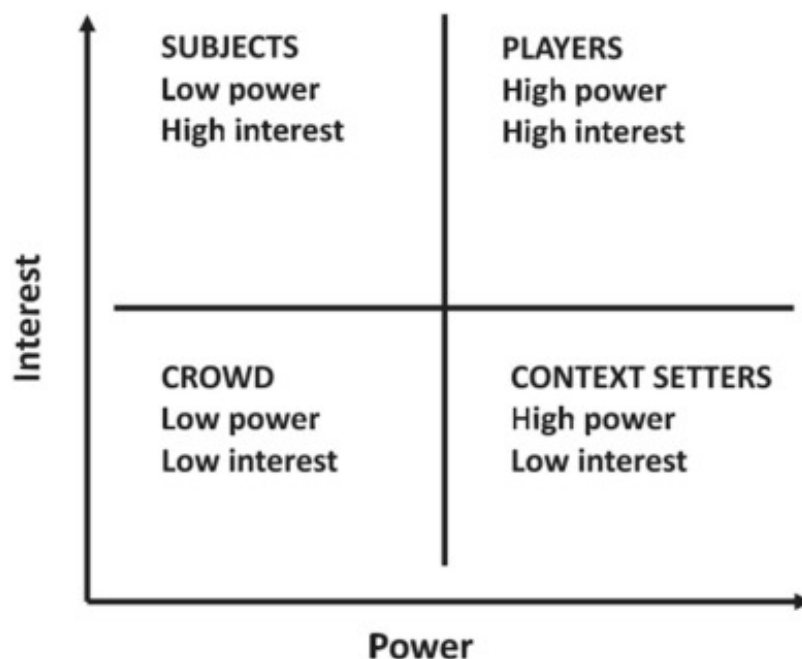
3.2 Intressentanalys

För att analysera systemet av intressenter används utarbetade metoder inom intressentanalys. Dessa metoder följer i huvudsak tre olika steg. Ett första är att identifiera vilka intressenter som finns. Detta kan göras med hjälp av fokusgrupper, semi-strukturerade intervjuer eller snöbollssampling. Det andra steget är att differentiera och kategorisera de olika intressenterna. För att göra detta kan de delas in i makt/intresse-matriser, analyseras med hjälp av radikal transaktivitet eller genom att intressenter själva leder arbetet med att kategorisering. Ett sista steg är att kartlägga länkarna mellan aktörerna. Detta kan göras genom aktör/länk-matriser, social nätverksanalys eller genom kunskapsmappning (Reed et al., 2009).

3.2.1 Makt/Intresse-matris

För att kunna ta reda på vilka intressenter som har makt att påverka marknadsutvecklingen och vilka intressenter som har intresse av att påverka utvecklingen genomförs en analys av detta med hjälp av experter.

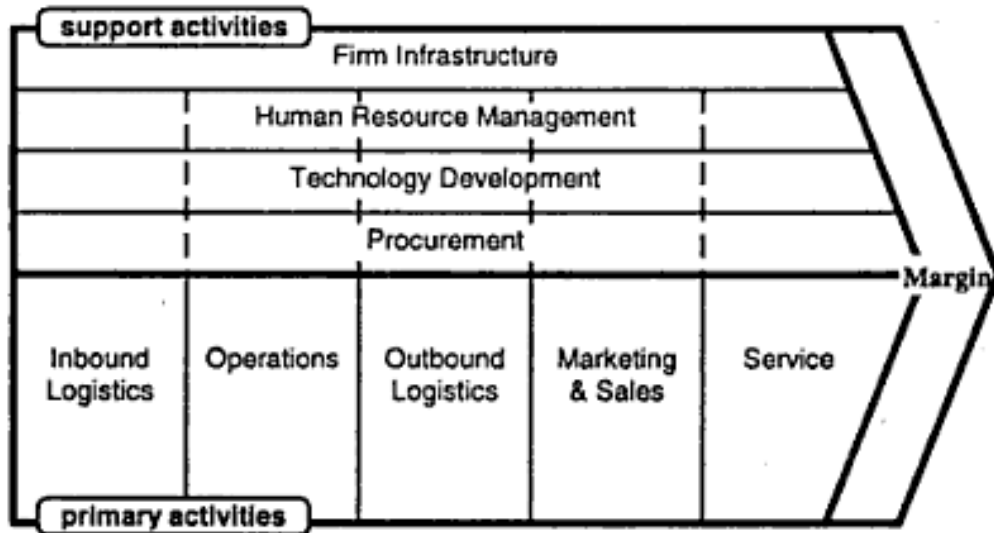
Makt/intresseanalysen har tidigare använts för analys av förnybar energi och den är vedertagen för intressentanalys (Ahsan och Pedersen, 2018). På ett enkelt sätt delar den upp intressenterna i fyra kategorier utefter intresse och makt/påverkansmöjlighet. Med hjälp av matrisen kan intressenter utan intresse och påverkansmöjlighet identifieras, men det blir även tydligt vilka intressenter som har potential att påverka mest. Matrisen visar också tydligt vilka intressenter som stödjer ett initiativ genom att dessa hamnar högre upp på intresse-axeln (Reed et al., 2009).



Figur 2. Makt/Intresse-matris för klassificering av intressenter (Eden och Ackermann, 1998)

3.3 Värdekedjan

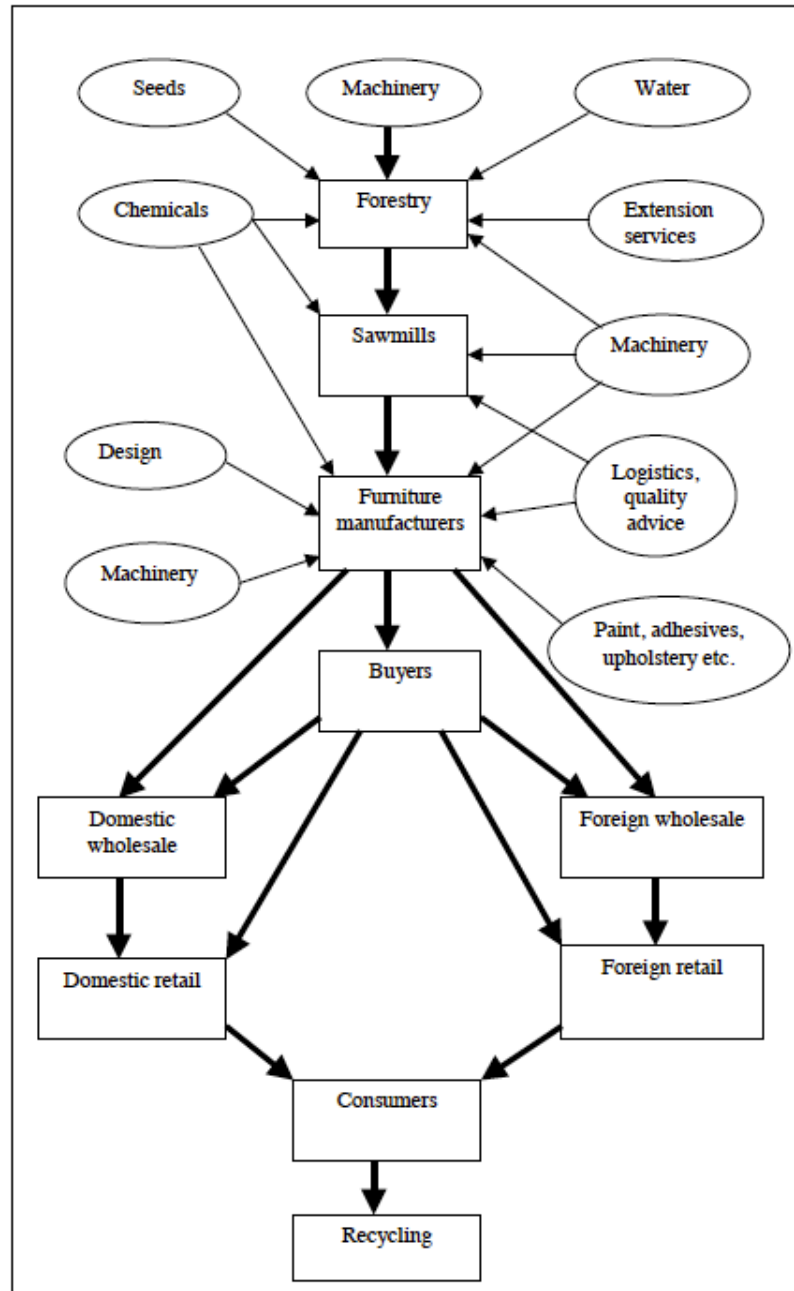
Värdekedjan är ett koncept som Porter (1998) arbetat fram för att beskriva den kedja av värdeadderande aktiviteter som löper genom ett företag eller en organisations verksamhet. Genom att följa aktiviteterna i ordning skapas en överblick över hur och var värdet skapas. Porter (1998) menar att hela kedjan av aktiviteter skapar ett större värde än vad de enskilda aktiviteterna skulle skapat sammanlagt.



Figur 3. Porters generiska värdekedja (Porter, 1998)

Konceptet har sedan använts för att studera hur olika länkar i värdekedjor och olika värdekedjor hänger ihop genom värdekedjeanalys. Verklighetens komplexitet medför att värdekedjor ofta är längre än bara några steg inom företaget. Därför används ofta en analys av den utökade värdekedjan som tar med hela kedjan som krävs i form av input, som exempelvis hur råvaran framställs till produktens livscykelsslut.

Figure 2: The forestry, timber and furniture value chain

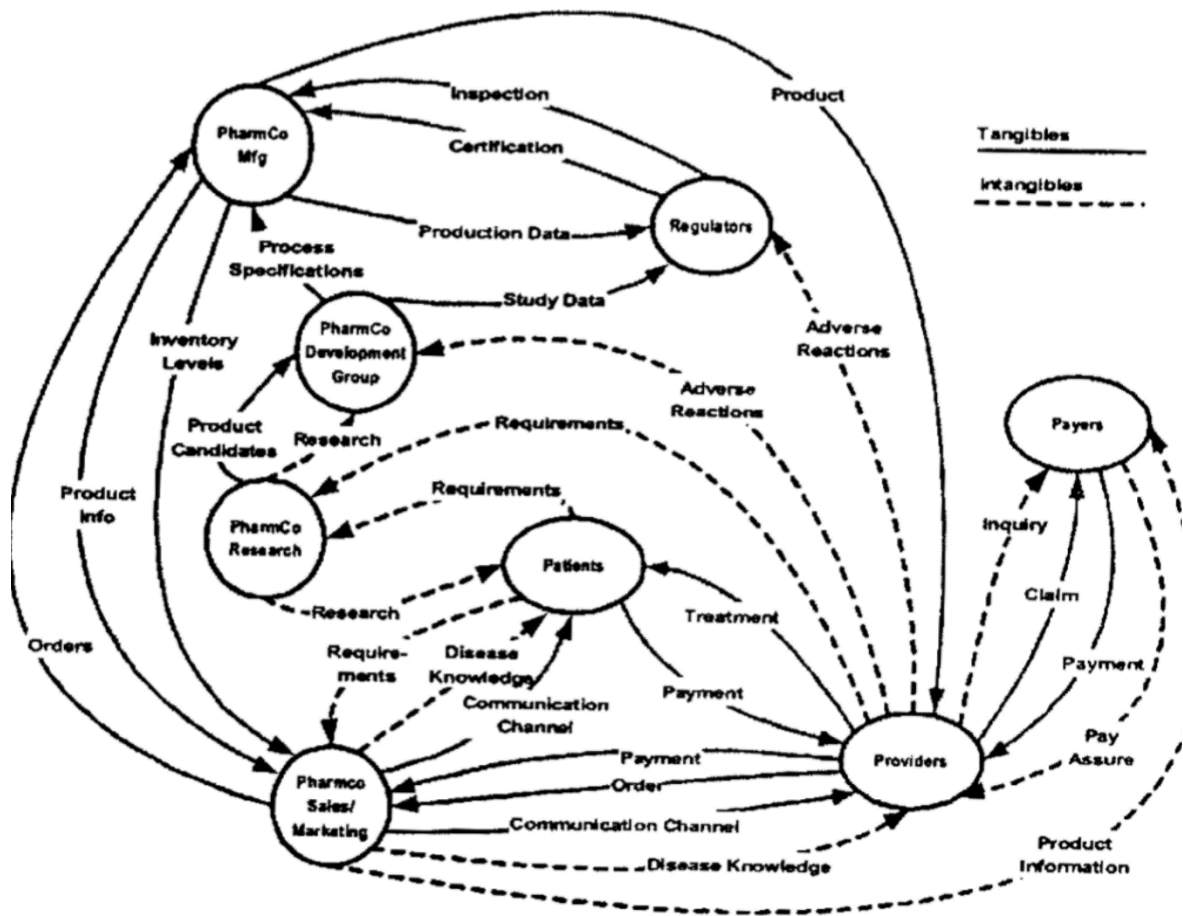


Figur 4. Exempel på en utökad värdekedja med skogsägarens, sågverkets och möbeltillverkarens värdekedjor (Kaplinsky och Morris, 2000).

Analysen av värdekedjan kan även utökas ytterligare till att kopplas samman med globala råvarukedjor. Genom att sätta organisationens värdekedja i relation till den globala råvarukedjan kan även de utökade maktrelationerna analyseras. Ofta är ett system av värdekedjor beroende av en viss aktör vilket är viktigt att identifiera (Kaplinsky och Morris, 2000).

För att ytterligare fånga verklighetens komplexitet har Allee (2003) utökat konceptet till att illustrera ett helt värdenätverk. I värdenätverket tas både immateriella och materiella tillgångar upp som värdeskapande enheter. Medans de materiella tillgångarna som varor

och tjänster enkelt kan kopplas till det värde som de tillför, så tillför även immateriella tillgångar som kunskap och erfarenhet också värde till värdenätverket (Allee, 2003).



Figur 5. Exempel på värdenätverk med både materiella och immateriella delar (Allee, 2003)

4 Om vätgas

Här presenteras de olika tekniska förutsättningar som finns för produktion, lagring och distribution av vätgas. Detta är en kunskapsgrund som behövs för att förstå värdekedjan och intressenterna på marknaden.

4.1 Tekniska förutsättningar

Väte är det vanligaste grundämnet i universum. Två väteatomer skapar vätgas, som är en luktlös, transparent gas som är mycket lättflyktig. Den kemiska beteckningen är H_2 (Cammack et al., 2001).

Trots att väte är vanligt förekommande på jorden finns det inte i fri form och det finns bara små mängder vätgas (H_2) att tillgå i naturen. Vätet är bundet i andra kemiska föreningar som exempelvis vatten (H_2O), som är det ämne där majoriteten av det inbundna vätet på jorden finns. Detta innebär att vätgasen måste utvinnas ur kemiska föreningar. För att göra detta krävs energi som el eller värme och en kemisk förening att utvinna vätet ur. Vätgas är med andra ord en energibärare och inte en primärenergikälla (Crabtree et al., 2004).

Att det finns stor potential för vätgas som energibärare beror bland annat på att vätgas är det bränsle som har det högsta värmevärdet sett till massa, alltså en hög energitäthet och tar relativt lite plats när den är komprimerad. (Züttel, 2004). Vätgas har tack vare dess egenskaper till och med kallats den ultimata energibäraren (Ilka von Dalwigk 2021).

Vätgas är även en etablerad produkt och har använts länge inom olika industrier. Det är den vanligaste industrigasen som används idag, vilket gör att det finns väletablerade metoder och rutiner för säker lagring, transport och produktion (Vätgas Sverige, 2021).

Viken miljöpåverkan vätgas har beror på hur den tillverkas. Det finns fyra kategorier beroende på vilken energikälla och vilket råmaterial som används (Grue, 2022, Atilhan et al., 2021):

- Brun vätgas produceras från fossila bränslen som kol, höga utsläpp av koldioxid.
- Grå vätgas framställs av fossil naturgas. Med hjälp av ångreformeringsmetoden av metan skapas vätgas och koldioxid. Denna metoden bidrar också till höga växthusgasutsläpp.
- Blå vätgas innebär att koldioxid fångas in med hjälp av CSS-teknik som gör att gasen har låga utsläpp.
- Grön vätgas tillverkas med förnybar energi och med hjälp av elektrolys. Då spjälkas vatten till vätgas och syrgas. Grön vätgas leder inte till utsläpp av koldioxid.

Idag tillverkas största delen av vätgasen av fossil naturgas genom ångreformeringsmetoden, men för att uppnå miljöfördelarna som efterfrågas måste vätgasen ske fossilfritt (Edwards et al., 2007).

4.2 Förnybar produktion av vätgas

För att framställa grön vätgas krävs förnybar energi och råmaterial som inte leder till koldioxidutsläpp. Förnybar energi kan vara el genererad från sol, vind eller vatten (Crabtree

et al., 2004). Råmaterialet kan vara biogas, biomassa, som exempelvis restprodukter från skogsindustrin eller vatten (Wallmark et al., 2014).

Nedan följer en kort förklaring till de vanligaste metoderna för framställning av förnybar vätgas genom elektrolys.

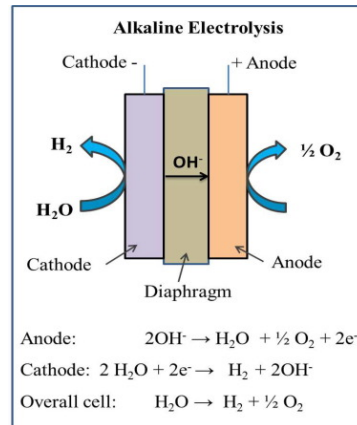
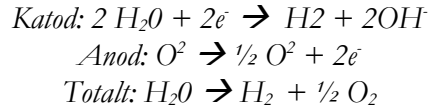
4.2.1 Elektrolys

Elektrolys är processen där vatten spjälkas till sina beståndsdelar vätgas och syre genom tillförsel av elektrisk ström (Edwards et al., 2007). Det finns olika varianter av elektrolysörer och på marknaden finns främst två sorter. Den första typen är alkalisk elektrolysör och den andra typen är en PEM-elektrolysör (Proton Exchange Membrane) (Bertuccioli et al., 2014).

Processen innebär att strömmen leds ner i en lösning som består av vatten blandat med en elektrolyt som tillsätts för att öka vattnets konduktivitet. För att leda ner strömmen används två elektroder som är skilda från varandra vilket gör att det skapas en spänningsskillnad. Skillnaden gör att elektronerna vandrar genom vattnet från den ena elektroden till den andra. Detta gör att den ena elektroden blir negativt laddad och kallas katod. Det är på katodsidan som vätgasen genereras. Den andra sidan blir positivt laddad, kallas anod och där produceras syrgas (Ursua et al., 2012).

4.2.2 Alkalisk elektrolysör

Vilken reaktion som sker påverkas av surhetsgraden i lösningen och i en alkalisk lösning ser reaktionen ut som följande (Yao et al., 2019):



Figur 6. Alkalisk elektrolys (Shiva Kumar och Himabindu, 2019).

Den alkaliska elektrolysören har idag högst verkningsgrad och producerar idag vätgas till lägst pris av de två. Detta bland annat på att investeringskostnaden är också låg i jämförelse med andra tekniker, då det inte krävs någon ädelmetall som katalysator för processen och vanligt vatten kan användas som insatsråvara. Det är också den dominerande typen på marknaden och är en väl beprövad metod (Fuchs, Bertuccioli et al., 2014).

Nackdelarna med den alkaliska elektrolysören är att den är begränsad till en maxnivå av strömdensitet på 400 mA/cm². Verkningsgraden begränsas också av att processen inte kan arbeta vid ett för högt tryck. Det beror på att explosionsrisken för syrgas ökar vid högt tryck. I den alkaliska elektrolysören har syrgas och vätgas samma tryck. Därför kan man endast arbeta under lågt tryck vilket medför en lägre verkningsgrad (Shiva Kumar och Himabindu, 2019)

En alkalisk elektrolysör fungerar som bäst när den körs kontinuerligt och ska inte gå under 25 procents kapacitet och tar cirka en halv till en timme att återstarta om processen har avbrutits (Acar och Dincer, 2018, Ursua et al., 2012).

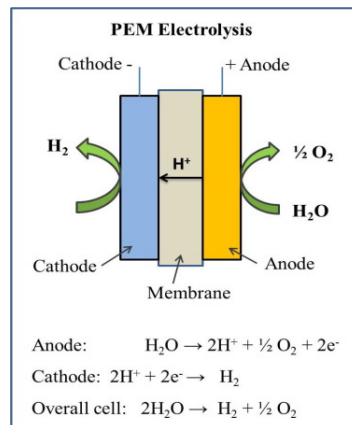
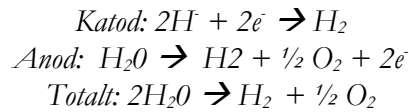
Den alkaliska processen passar därför bäst i storskalig vätgasproduktion där energitillgången är konstant (Ursua et al., 2012). Värt att notera är att tekniken fortfarande utvecklas och får allt högre verkningsgrad (Shiva Kumar och Himabindu, 2019).

4.2.3 Proton Exchange Membrane (PEM)-elektrolysör

PEM-elektrolysören använder ett solitt polymermembran som är pressat mot protonledande elektrolyter. Den är mer kompakt, klarar högre strömtäthet och tryck vilket

gör att den är mer effektiv (Shiva Kumar och Himabindu, 2019). Den är inte lika etablerad på marknaden, men har högre potential i framtiden och spås bli nästa dominerande teknik.

Reaktionen för en PEM-elektrolysör ser ut som följande:



Figur 7. PEM -Elektrolys (Shiva Kumar och Himabindu, 2019)

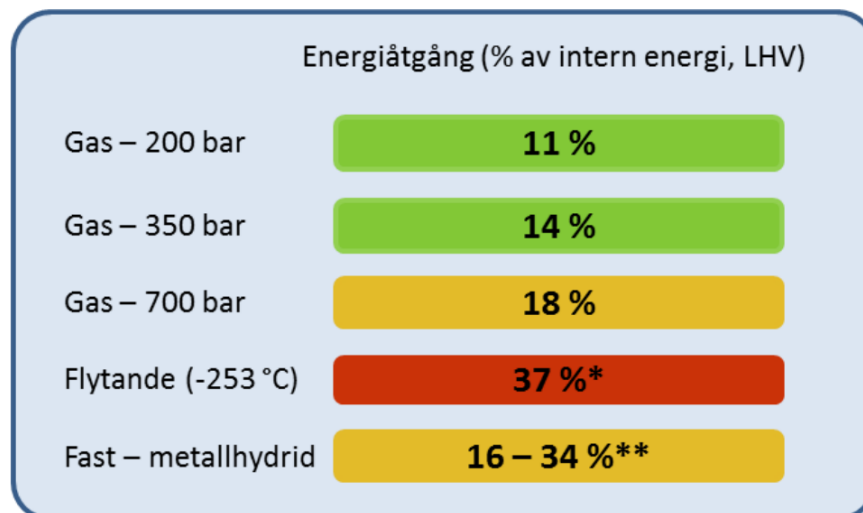
Kostnadsmissigt är PEM-elektrolysören dyrare än den alkaliska. Orsaker till det högre priset är att det krävs helt rent vatten som insatsmaterial och dyra ädelmetaller som titan till elektrodkomponenterna. Tekniken är inte heller mogen nog för att PEM-elektrolysörer kan användas vid storskalig produktion (Gandia et al., 2013, Fuchs).

Det finns flera fördelar med PEM-elektrolysör. Dels är den kompakt vilket gör att den lämpar sig bra för mobila och lokala applikationer. Sedan fungerar tekniken även effektivt i hela intervallet, från 0 till 100 procent och produktionen kan byta nivå inom detta spann på bara 50 ms. Från helt avstängt system tar det bara 15 minuter. Genom att rent vatten används blir även gasen som produceras väldigt ren. Det går även att använda högre energidensitet för att driva processen vilket gör att verkningsgraden kan teoretiskt bli högre (Gandia et al., 2013, Fuchs).

Då olika tryck kan användas för de två produkterna så kan högre tryck användas för vätgasen, vilket bland annat gör att gasen kan vara komprimerad till en viss nivå redan vid produktionen. Vissa av kostnaderna är kopplade till att det är en nyare teknik, men även för PEM-elektrolysören så sker utvecklingen på området snabbt.

4.3 Kompression

För att gasen ska kunna användas, lagras och distribueras så krävs rätt tryck för ändamålet. För att ändra tryck och tillstånd krävs insatsenergi vilket påverkar verkningsgraden. Beroende på vilken form som krävs energiåtgången bli stor, se figur 8.



Figur 8. Energiåtgång för att komprimera och konvertera vätgas till olika former (Wallmark et al., 2014)

Trycket och formen påverkar även energidensiteten och vikt per vätgasmängd. Detta betyder alltså hur mycket energi som finns per volym eller per vikt. Fasta metallhydrider har högst innehåll per volym och vikt, medans komprimerad gas har lägst innehåll. Värt att notera är att diesel och bensin har högre innehåll per vikt och volym jämfört med vätgas i alla dess former (Edwards et al., 2007).

4.4 Lagring av vätgas

Tidigare har vattenkraft varit det primära sättet att lagra energi i Sverige och då har den lagrade energin främst använts för att flytta tillgången på energi över tid för att matcha behovet. För kortare lagring har batterier använts i viss mån. För kvalitets och stabilitetsändamål har andra kraftslag, ofta fossila, använts. I framöver måste även den regleringen ske genom förnybar energi och då är lagring av vätgas ett alternativ (Svenska Kraftnät, 2021c).

Vätgas kan även lagras över lång tid vilket gör att den är lämplig för att fungera som lager i decentraliserade system (Vätgas Sverige, 2016). Att energin kan lagras länge innebär att vätgaslagring kan användas för att sluta gapet mellan produktion från intermitterant förnybar energi och efterfrågan. Eftersom exempelvis sol och vind inte bara är beroende på väder utan även varierar med årstiderna krävs det lagringsalternativ som kan hantera tidsmässigt både kort och långt perspektiv.

Det finns olika sätt att lagra vätgas på. Antingen lagras det som en komprimerad gas under högt tryck, som nedkyld flyttande gas eller som hydrider. Att detta krävs är på grund av att vätgas har en låg kritisk temperatur på -240 grader Celsius. I rumstemperatur och vid normalt tryck är då väte en gas (Züttel, 2004).

För lagring som flytande väte används kryotiska tankar som är 21.2 K. Med den kalla förvaringen av flytande kväve följer även andra tekniska utmaningar. Dels krävs isolering och kylning av tankarna för att inte vätet ska koka bort, men det är även en utmaning med den energikrävande process som krävs för att omvandla vätgasen till flytande form (Züttel, 2004).

Trycktankar av stål kan också användas för att förvara väte. Då krävs ett högt cylindertryck på minst 20 MPa. Det är det vanligaste sättet att lagra vätgas på. Här används det höga trycket för att få vätet i flytande form och får då en högre volymdensitet och med högre tryck i behållarna kan volymdensiteten öka ytterligare (Züttel, 2004).

Vätgas kan även lagras i stor eller liten skala. För småskalig lagring används ofta trycktankar, för storskalig lagring kan berggrum användas. (Svenska Kraftnät, 2021c).

Ur ett ekonomiskt perspektiv har vätgasen fördelen att både driftskostnader och investeringskostnader är förhållandevis låga jämfört med alternativen (Svenska Kraftnät, 2021c).

Risker med lagringen är att vätgas blir explosivt för en viss mix med syre, samt att vätgas lätt läcker (Svenska Kraftnät, 2021c).

4.5 Distribution

Då vätgas är en energibärare kan produktion, lagring och konsumtion ske på olika platser. För att distribuera gasen kan den antingen transporteras i rörledningar, eller i flytande form i trycktankar. Vid transport i flytande form kan exempelvis tåg eller fartyg användas. Medan transport i rör kräver utbyggd infrastruktur, precis som elnätet, är transport i tankar mer flexibelt (Svenska Kraftnät, 2021c).

Lägre tryck ger högre transportkostnad då den tar mer plats. Vid trycksatta tankar med lastbil blir kostnaden cirka $1-20$ kronor per kilo vätgas. Är gasen istället i flytande form

sjunker kostnaden till mellan 1 – 12 kg per kg vätgas för samma avstånd. Pipeline kräver stora investeringar men priset per kg vätgas sjunker till 1 krona (IVA, 2022).

En möjlighet är även att ha distribuerad produktion. Detta innebär att energin levereras men att vätgasen framställs på plats (Wallmark et al., 2014).

Det är också möjligt att både energiproduktion och vätgasproduktion sker i anslutning till konsumenten.

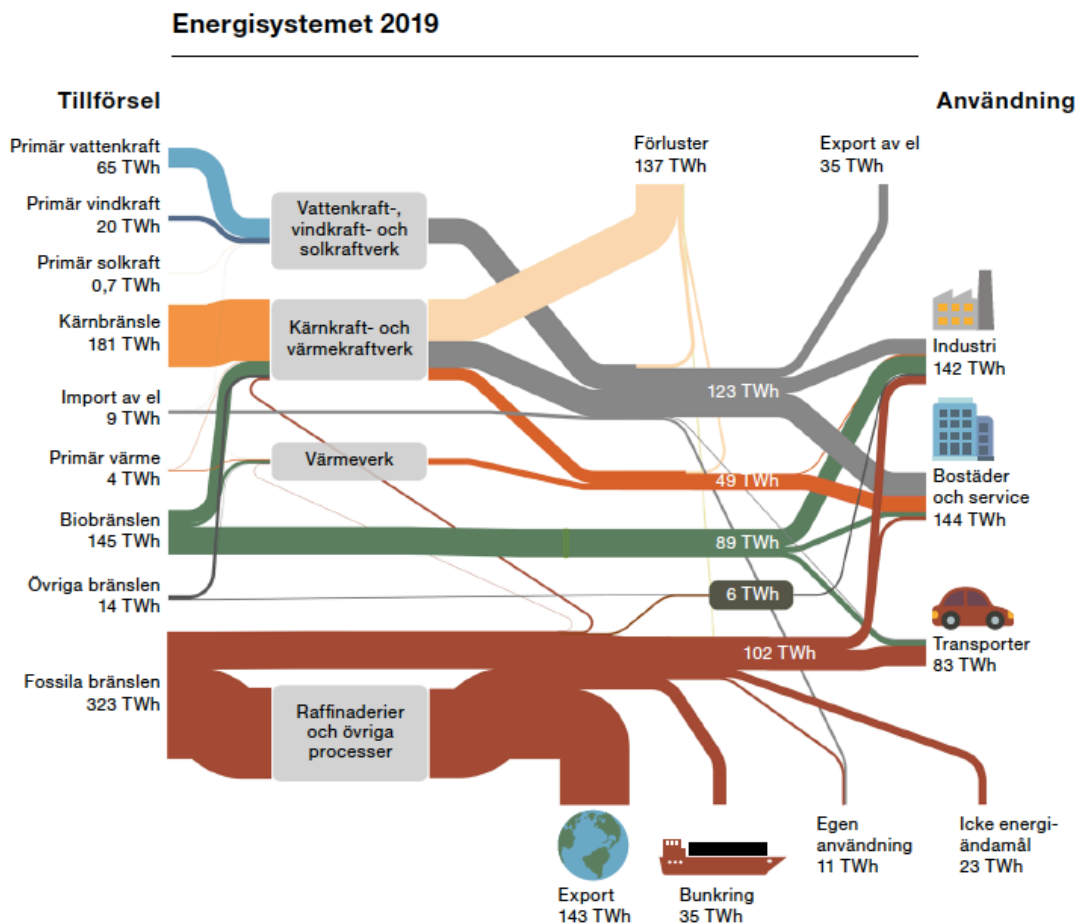
5 Energimarknaden i Sverige

Som en del i att beskriva förutsättningarna för vätgas och vätgaslagring sammanfattas här information om det svenska energisystemet, systemets utveckling och utmaningar.

5.1 Det svenska energisystemet

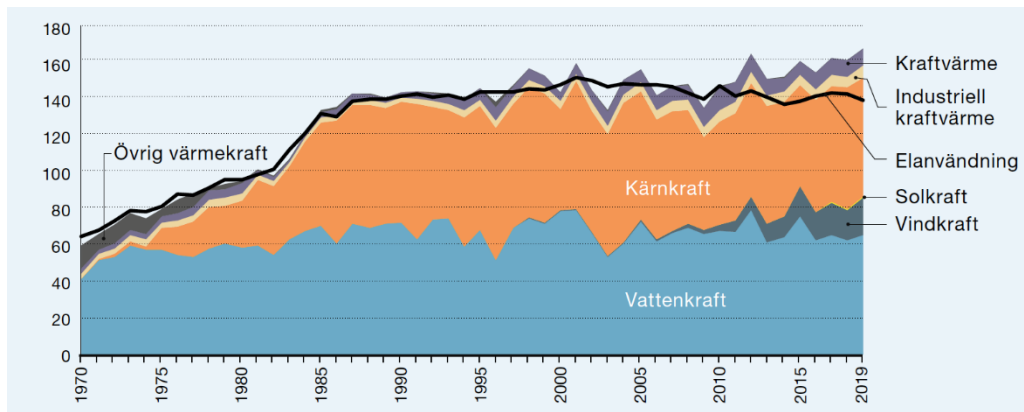
Ett energisystem innehåller allt från tillförsel av energi, omvandling till ett energilag som är lättare att hantera, distribution av energin ut till konsumenterna och slutligen användningen.

I Sverige används dels fossila bränslen som exempelvis naturgas och olja främst till industri och transporter. Förnybara energikällor som vattenkraft, vindkraft och eldning av biobränsle står tillsammans med kärnkraft för en majoritet av energiproduktionen. Totalt tillförd energi av alla kraftslag i Sverige var 2019 548 TWh medans användningen efter förluster var 369 TWh.



Figur 9 Sveriges energisystem 2019 (Energimyndigheten, 2021b).

För elektricitet är det vattenkraften tillsammans med kärnkraften som är de dominerande produktionssätten. Tillsammans står dessa två produktionssätt för cirka 80 procent av elektricitetsproduktionen som 2019 totalt uppgick till cirka 140 TWh. Under senare år har andelen vind- och solkraft ökat medan kärnkraftsreaktorer har stängts ner (Energimyndigheten, 2021a). För en mer detaljerad bild, se Figur 9 och 10.



Figur 10 Elproduktion per kraftslag 1970-2019 (Energimyndigheten, 2021b)

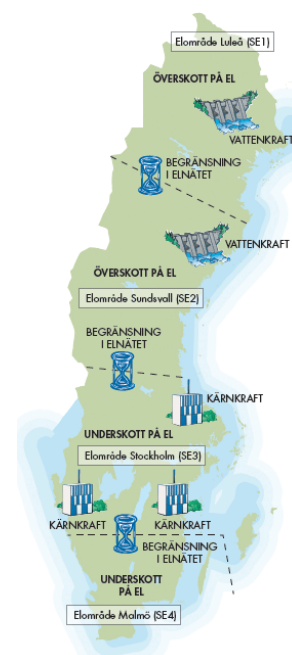
Den myndighet som har ansvar för tillförseln och användningen av energi är Statens Energimyndighet. Det finns även en tillsynsmyndighet för energimarknaden som heter Energimarknadsinspektionen. För kraftsystemet är det myndigheten Svenska kraftnät som har ett systemansvar där bland annat ansvar för transmissionsnätet ingår (Svenska Kraftnät, 2021d). Utanför landets gränser har EU en tillsynsmyndighet, Agency for the Cooperation of Energy Regulators, som arbetar med en övergripande tillsyn för medlemsländerna.

Distributionen av elektricitet sker genom ett statligt ägt högspänningsstamnät som kopplar samman alla regioner i Sverige. Nätet förgrenas sedan ut i ett antal regionala och lokala elnät som ägs av olika operatörer, totalt finns det cirka 170 sådana operatörer. Många av dessa är kommunalt ägda, men cirka 40 är privata. För elförsörjningen så är det främst tre företag som står för leveransen till slutkunderna, Vattenfall eldistribution, Eon Elnät och Ellevio (Nordling, 2016).

Elnätet är sedan 2011 uppdelat i fyra elområden med olika prissättning. Priserna mellan områdena skiljer sig från varandra då det är en begränsning i överföringen av el och att efterfrågan är störst i söder medan tillgången på el är störst i norr (Konsumenternas energimarknadsbyrå, 2020)



Figur 12. Sveriges transmissionsnät med kopplingar till angränsande länder (Svenska Kraftnät, 2022).



Figur 11. Sveriges elområden, med begränsningar och indikation på överskott och underskott (Konsumenternas energimarknadsbyrå, 2020)

Sverige är anslutet genom ett antal högspänningsledningar till övriga Norden, Tyskland, Polen och Litauen. Tillsammans med de övriga länderna i Baltikum har dessa länders stamnätsoperatörer startat en handelsplats för el som heter Nord Pool. Utöver dessa länder handlar även Tyskland och England på Nord Pool. Nord Pool sitter vidare samman med det elnätet i nordvästra Europa (Nordling, 2016).

5.2 Energimarknadens utveckling

Elmarknaden avreglerades 1996 och konsumenterna kunde därmed välja elleverantörer fritt (Heden, 2015). I samband med avregleringen tvingades även bolag som tidigare varit integrerade till att separera försäljning, produktion och distribution (Åhman, 2016). För distribution och transmission så har nätet för detta fortsatt vara ett naturligt monopol (Åhman, 2016). Ett ytterligare steg för en konkurrensutsatt marknad är genom EU. EU har som mål att ha en öppen inre marknad för el. Sedan 2014 sker en gemensam prisberäkning och medlemsländerna förbinder sig att lämna plats för att systemoperatörerna lämnar plats i transmissionsnätet för handel, (Lindholm, Svenska Kraftnät, 2021a)

Syftet med att ha en internationell öppen handel har varit att skapa en effektivare marknad med ökad konkurrens (Svenska Kraftnät, 2021b). De europeiska ländernas energimarknader spås bli allt mer integrerade genom en likriktning av regler, processer och marknadsplatser (Svenska Kraftnät, 2021c).

Genom effektivare marknad skulle överinvesteringar undvikas och produktionsanläggningar kunna användas mer effektivt. Istället för att bygga ut mer än vad som behövs för att täcka upp fluktuationer i förbrukning kan marknaden användas för att importera energi vid behov, som exempelvis kalla vinterdagar när elproduktionen inom Sverige inte räcker till, samt för att exportera el vid produktionsöverskott (Svenska Kraftnät, 2021a).

En förväntning vid införandet av en gemensam elmarknad var att priserna skulle sänkas för konsumenterna. Priser och prisfluktuationer har istället ökat. Detta har varit ett resultat av nya skatter och ökade priser på bränslet (Energimyndigheten, 2021b). Något som ytterligare har påverkat priserna är snabba förändringar inom energisystemet. Samtidigt som produktion i söder har avvecklats har vindkraft byggts i norr, vilket har bidragit till ojämn prissättning över elområdena då det finns överföringsbegränsningar i transmissionssystemet. Något som ytterligare påverkar skillnaden i prissättning är att de södra elområdena påverkas i större grad av prissättningen i grannländerna och Europa.

En ytterligare faktor som påverkat elpriset är elcertifikatsystemet. För att nå målen om ökad produktion och användning av förnybar el infördes ett system för elcertifikat 2003. Systemet är uppbyggt så att för varje förnybar MWh som produceras så får producenten ett certifikat. Elhandelsföretagen måste å sin sida köpa en mängd certifikat som motsvarar en viss kvot av den totala användningen och försäljningen. Certifikaten handlas och prissätts på en marknad. Genom systemet premieras alltså förnybar energi jämfört med produktion av icke förnybar och ger producenter av förnybar energi en extra intäktsström utöver försäljningen av energin. Genom att justera kvotnivåerna kan efterfrågan, priset och andelen förnybar elektricitet öka (Energimyndigheten, 2021d).

Tillsammans med andra riktade stöd mot förnybar energi har detta gjort att priset har sjunkit i samband med stöden. Riktade stöd mot förnybar energiproduktion har också medfört att en investeringsmarknad har skapats, där incitamentet för att investera i sol, vind och kraftvärme gör att denna andel växer utanför ramarna av en fri marknad (Åhman, 2016).

5.3 Målsättningar och policys som påverkar energimarknaden

Som en följd av europeiska och nationella målsättningar skapas olika lagar och incitament som gör avtryck på energimarknaden. Sveriges regering har satt som mål att landets utsläpp ska vara netto-noll till 2045 och att elproduktionen ska vara 100 procent förnybar 2040. Inom EU ska andelen förnybar uppgå till 32,5 procent till 2030 och vara helt klimatneutralt till 2050 (Svenska Kraftnät, 2021c, Energimyndigheten, 2020).

Ofta börjar policys på EU-nivå och sedan följer svenska policys efter. EU räknar med att upp till 24 procent av EU:s totala energibehov ska kunna komma från vätgas fram till 2050. Det motsvarar 2250 TWh.

För att nå målen har ett antal skatter, subventioner och lagkrav tillkommit för att styra utvecklingen på marknaden. Framförallt har stöd och investeringar till förnybar energi gjort att sol- och vindkraft har byggts ut. Då detta är intermittenta kraftkällor blir priset mer volatilt och reglerbar kraft blir allt viktigare. Fram till 2045 antas nästan all ny produktion vara väderberoende (Svenska Kraftnät, 2021c).

Högre variabilitet ökar komplexiteten och kräver högre flexibilitet från användare och producenter, vilket ökar behovet av möjligheter att lagra energi och alternativa energibärare som komplement till elnätet (Energimyndigheten, 2021c).

Med mer stöd och investeringar så sjunker priset, vilket sänker incitamenten för produktion utanför stödsystemen (Åhman, 2016). Detta i kombination med ökad skatt på koldioxidskatt på elproduktion har gjort att många planerbara kraftslag har fått lägre lönsamhet (Svenska Kraftnät, 2021c).

Det har även skapats statliga och regionala initiativ för att minska användningen av fossila bränslen, som exempelvis Fossilfritt Sverige där olika branscher sammanställer hur målet om netto-noll utsläpp ska nås inom den utsatta tidsramen. Sammanställningen visar att elektrifieringen kommer att öka kraftigt vilket i sin tur ökar efterfrågan på el från 140 TWh i dagsläget till mellan 180 - 225 TWh 2045. Denna el ska vara 100 procent förnybar. Detta innebär att efterfrågan på förnybar energi kommer att öka markant framåt i tiden, framför allt reglerbar sådan.

5.4 Energimarknadens utmaningar

I och med en mer elektrifierad framtid tillkommer ett antal utmaningar. Framförallt handlar det om att skapa ett stabilt system som kan hantera alla kunder utan avbrott eller bortkoppling, samt att upprätthålla balans i frekvens och spänning i systemet. Med icke-reglerbar förnybar kraft så skiljer sig produktionen i tid ur ett kort perspektiv och över säsonger (Åhman, 2016).

Projektet Vägval el har resulterat i fyra olika framtidsscenario när det kommer till elproduktion (Nordling, 2016).

- Alternativ 1: Ökad sol- och vindkraft,
- Alternativ 2: Ökad biokraft,
- Alternativ 3: Ökad/nybyggd kärnkraft
- Alternativ 4: Ökad vattenkraft

Vägvalet kommer att påverka hur behov av lagring och utbyggnad av elnät. Framförallt med alternativ 1 tillkommer behov av lagring, då alternativet innebär ökad andel icke-reglerbar kraft som också är mer geografiskt utspridd. Sverige har god tillgång till reglerbar vattenkraft vilket möjliggör att en större andel icke-reglerbar kraft kan ingå i marknaden. Dock ligger den mesta vattenkraften i norr, medan förbrukningen sker i söder vilket gör att den begränsade överföringsförmågan från norr till söder blir en begränsade faktor (Nordling, 2016).

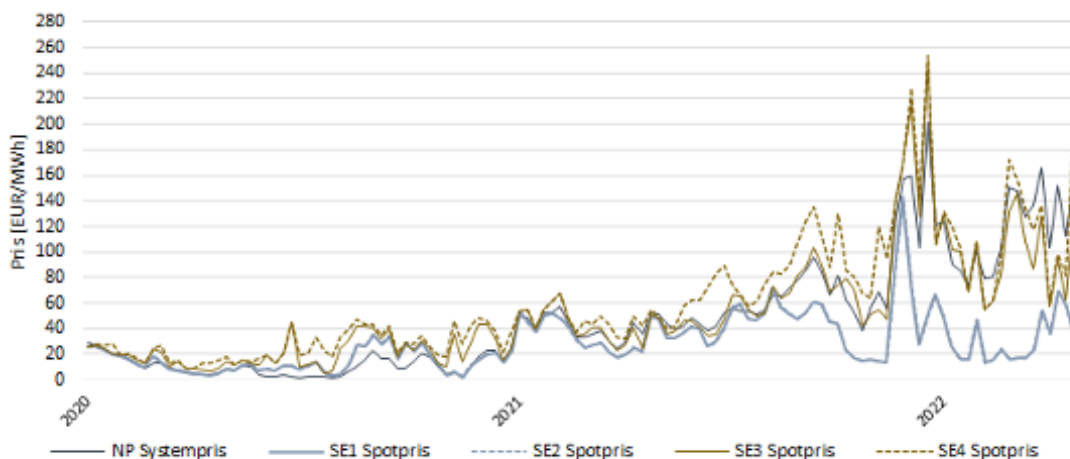
Nya konsumtionsmönster påverkar även marknaden framåt. Bland annat finns en kategori som både producerar och konsumerar, prosumenter. I takt med att både företag och privatpersoner kan ha egen produktion av elektricitet så ställs nya krav på marknad och ledningsnät. Elöverföringen kan växla riktning vilket adderar komplexitet och beroende på väder kan produktionen sett till efterfrågan bli väldigt stor lokalt sett. Lokala nät med lagring kan även uppstå (Nordling, 2016).

Det finns även begränsningar i överföringskapacitet, framförallt från norr till söder. Detta problem får en ytterligare dimension då medlemsländerna enligt EU-krav ska kunna erbjuda marknaden 70 procent av tillgänglig överföringskapacitet för handel. Sverige har

exempelvis inte kunnat göra detta under vintern 2021 och 2022. För att kunna garantera leveranser till södra delen av landet kunde inte nog kapacitet erbjudas till marknaden vilket medförde osämja mellan norska Stattnet och Svenska kraftnät (Cervantes, 2021).

I ett mer flexibelt system krävs stabiliserande åtgärder. Sektorkoppling är en stabiliserande åtgärd som går ut på att användare och producenter från olika sektorer kopplas samman. Detta för att minska problematiken att produktion och efterfråga inte sker på samma tid eller plats. Ett större integrerat system blir stabilare, men då krävs integrerbara energibärare och energisystem (Fuel Cells Hydrogen 2 Joint Undertaking, 2019).

Systemet måste även vara rustat för att klara av stabil leverans i och med framtida klimatförändringar samt i händelse av krig (Nordling, 2016).



Figur 13. Spotpris på elmarknaden under tiden då kriget i Ukraina började våren 2022 (Energimyndigheten, 2022c).

Under våren 2022 har priserna på el och energi påverkats av kriget i Ukraina. Invasionen medförde ökade gaspriser vilket i sin tur påverkar elpriserna (Energimyndigheten, 2022c). Detta sätter extra fokus på självförsörjande och alternativ till fossil energi för att säkerställa leveranssäkerhet.

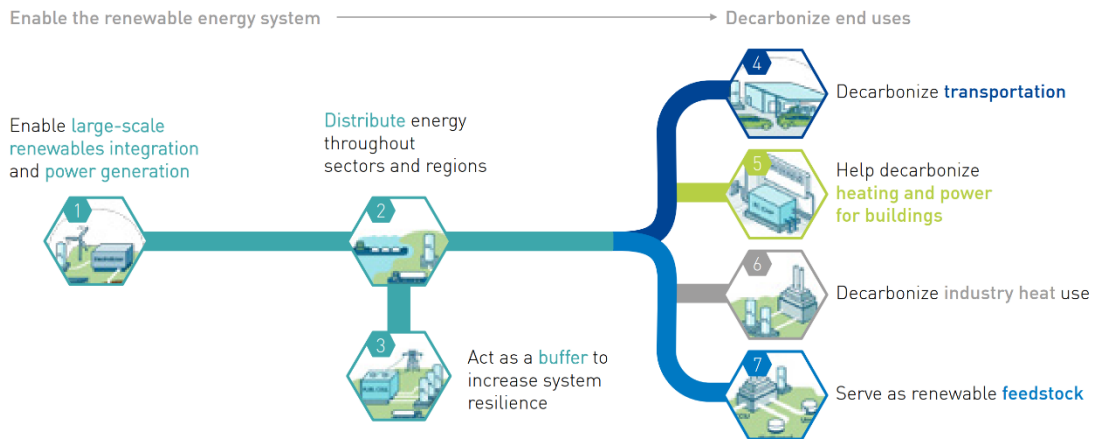
6 Användning av vätgas

Vätgas kan produceras av förnybar energi, samtidigt som den kan lagras, användas som energibärare eller som råvara inom industrin (Energimyndigheten, 2022a) I detta kapitel beskrivs olika tillämpningar av förnybar vätgas i det svenska energisystemet.

6.1 Övergripande användningsområden

Vätgas kan användas i energisystemet eller av slutkonsumenter. I energisystemet kan vätgasen användas som buffert via lagring eller som ett sätt att distribuera energi (Fuel Cells Hydrogen 2 Joint Undertaking, 2019).

Hos slutkonsumenter kan vätgas användas för att göra transportsektorn fossilfri, användas för värme och för att skapa el i byggnader, som insatsvara i industrin eller som värmekälla för att ersätta fossila bränslen (Fuel Cells Hydrogen 2 Joint Undertaking, 2019).

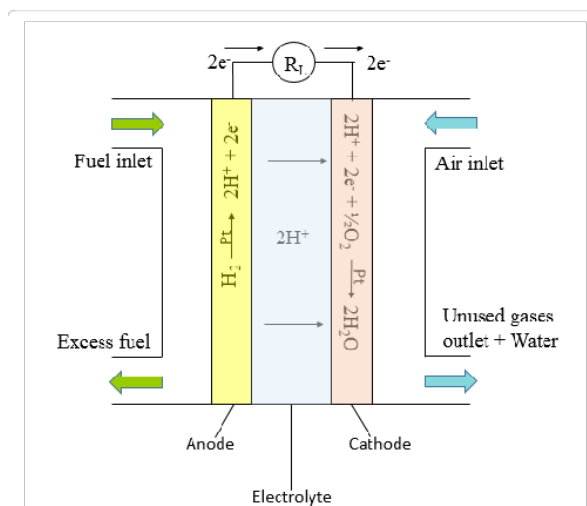
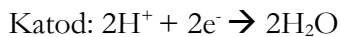
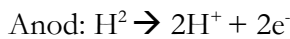


Figur 14. Olika applikationer av vätgas i ett energisystem i omställning (Fuel Cells Hydrogen 2 Joint Undertaking, 2019).

För att kunna använda vätgasen för de olika applikationerna används olika tekniker för att omvandla energibäraren vätgas till energi. Dessa tekniker beskrivs nedan.

6.2 Bränslecell

Bränslecellen är en teknik som fungerar som omvänd elektrolys. Bränslecellen består av en anod och en katod som sänks ner i en elektrolyt. Genom en spontan process reagerar vätgasen tillsammans med syre och bildar vatten samtidigt som elektricitet produceras. Reaktionsformeln är följande:



Figur 15. Principskiss av en bränslecell (Kulkarni, 2015).

Verkningsgraden är 60% och kan höjas om även värmen som frigörs nyttjas. Värmen kan exempelvis utnyttjas för uppvärmning.

Fördelen med tekniken är att det inte blir någon koldioxid utan endast vatten är restprodukten, utöver att elen genereras. Bränslecellen är också tyst och innehåller få rörliga delar.

Applikationerna för användning av bränslecell blir i princip allt som kan använda elektricitet. Genom att driva en elmotor kan bilar, tåg, fartyg och båtar framföras. Det går även att använda elen i industrier, hushåll eller för systemtjänster i elnätet (Fan et al., 2021).

6.3 Förbränning

Vätgas kan även ersätta andra gaser som exempelvis naturgas i kraftverk. För att öka andelen förnybart kan vätgas blandas in i gasmixen, eller så kan 100 procent vätgas användas för att ha en helt förnybar produktion. För att utvinna energin drivs en gasturbin med hjälp av den antända gasen. Turbinen driver i sin tur en generator som genererar ström (EIA, 2022). Vätgasen kan också brännas för att generera värme som kan användas för fjärrvärme. Genom att gasen används i befintlig infrastruktur blir övergången till fossilfritt enklare (Longoria et al., 2021). Gasen kan på detta sätt även användas som reservkraft vid hög belastning, då denna ofta består av gasturbiner (Ilka von Dalwigk 2021)

6.4 Insatsprodukter i industrin

För att ersätta fossila insatsprodukter inom industrin kan grön vätgas användas. Exempelvis används naturgas eller kol som reduktionsmedel för att tillverka stål från järn (Bhaskar et al., 2020). På så vis kan stora koldioxidutsläpp undvikas. Den gröna vätgasen kan också användas i processindustrin där det går åt mycket värme eller som insatsvara vid exempelvis ammoniakframställning (Fuel Cells Hydrogen 2 Joint Undertaking, 2019).

6.5 Transport

Tillsammans med industrisektorn har transportsektorn störst andel fossilt bränsle. Enligt uppsatta mål måste den fossila andelen bränsle bort. Detta kan antingen ske genom elektrifiering av bilar där batterier används eller genom vätgas används i bränsleceller eller förbränns. Då batterier tar tid att ladda och har begränsad kapacitet så finns det ett antal applikationer där vätgas och bränslecell fungerar bättre. Det är en etablerad teknik som används i bilar, men för tung transport som bussar, tåg, fartyg och kommersiell trafik är vätgas den mest lovande lösningen. Med hjälp av att göra syntetiskt bränsle av vätgas går det även att göra flygtrafiken koldioxidneutral. Dock kräver detta infrastrukturutbyggnad (Fuel Cells Hydrogen 2 Joint Undertaking, 2019).

6.6 Andra affärsmodeller

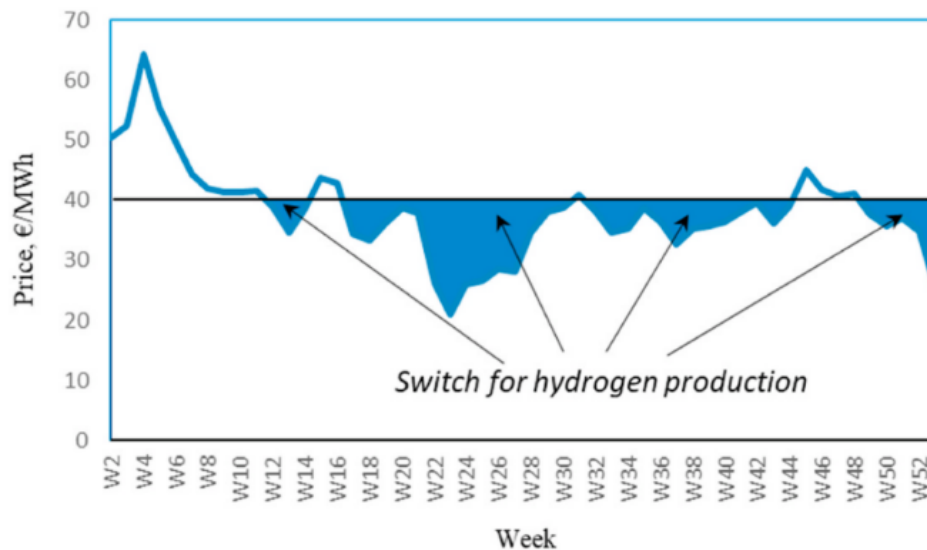
6.6.1 Systemnytta och reservkraft

Svenska kraftnät betalar idag energibolag som har vatten- och kärnkraft för att balansera elsystemet. I och med att behovet av balanskraft i och med den ökade andelen väderberoende förnybar produktion. Detta gör att det finns möjligheter att använda vätgas och vätgaslagring för att sälja stödtjänster. Dock finns ingen marknadsplats för detta idag (Uniper, 2021). Då lagring av vätgas kan ske hos olika aktörer, exempelvis hos fastighetsägare eller industrier så kan detta vara en inkomstkälla i framtiden (Ilka von Dalwigk 2021).

6.6.2 Prisskillnader och oberoende

Då efterfrågan och utbud på elektricitet skiljer sig från varandra över tid och rum så kommer det att finnas möjligheter att köpa el och lagra energin när den är utbudet är större än efterfrågan och priset är lågt. Om sedan utbudet sjunker och efterfrågan är högre så priset går upp, kan den lagrade energin säljas med vinst.

Det samma gäller för transport av energi, då priset skiljer sig i olika områden skulle vätgas kunna transporteras till dyrare områden, producera el på plats och sälja där (Fuel Cells Hydrogen 2 Joint Undertaking, 2019).



Figur 16. Snittpriset på svenska elmarknaden under 2019 (Tang et al., 2021)

Samma princip gör att verksamheter eller privatpersoner kan använda vätgas för att skydda sig från ökande elpriser genom att lagra energi, alternativt att bli självförsörjande.

6.6.3 Uppvärmning

Uppvärmning är något som kräver väldigt mycket energi. Genom att ersätta gasuppvärmning, eller använda spillvärme från elektrolys kan vätgas användas för att värma upp byggnader (Fuel Cells Hydrogen 2 Joint Undertaking, 2019).

6.7 Alternativ till vätgas

Det finns många olika alternativ till vätgas för de olika applikationerna. När det kommer just till att lagra energi så sticker vätgas ut och bedöms av EU att vara den bästa tekniken. För det första så är det en teknik som kan använda förnybar energi, jämfört med fossila alternativ.

I EU-rapporten Hydrogen Roadmap Europe (2019) har de alternativen för att hantera ökad variabilitet i energisystemet sammanställts.

Figur 17. Jämförelse av olika lagrings och sektorkopplings tekniker (Fuel Cells Hydrogen 2 Joint Undertaking, 2019)

Options for stabilizing RES system	Suitability			Assessment	Suitability for long-term storage?
	Intra-day	Intra-month	Seasonal		
Reduce supply	Shut down RES			<ul style="list-style-type: none"> Technically feasible Inefficient, losses of investment 	✗
	Power-to-material (P2M)			<ul style="list-style-type: none"> No reconversion to power possible In R&D stage 	✗
Sector coupling	Power-to-gas (P2G)			<ul style="list-style-type: none"> Technically feasible in number of use cases Currently high investment cost 	✓
	Power-to-heat			<ul style="list-style-type: none"> Efficient, discharge only to heat (not power) possible Suitable for short-term balancing only 	✓
Store and discharge	Power-to-gas-to-power (P2G2P)			<ul style="list-style-type: none"> Reconversion possible Low full cycle efficiency Only if P2G not suitable/sufficient 	✓
	Battery, air, flywheel			<ul style="list-style-type: none"> Technically feasible Only short-term supply economically viable 	✗
Under-supply	Hydro reservoir (Scandinavia; Alps; ...)			<ul style="list-style-type: none"> Limited storage capacity due to natural limitations 	✗
	Pumped hydro			<ul style="list-style-type: none"> Consumption pattern only allows for limited shift within day 	✗
Reduce demand ¹	Demand side management (DSM)			<ul style="list-style-type: none"> Technically feasible Highly inefficient and capital intensive, losses of investment 	✗
	Increase supply	Structural renewables oversupply		<ul style="list-style-type: none"> Feasible if power generation is decarbonized (e.g. pre-combustion CCS) 	✗
		Conventional backup (e.g. gas plants)			

Av alternativen för att koppla samman sektorer så finns det olika tekniker som hade kunnat fungera, ett alternativ är att lagra värme. Dock passar inte det för lagring över längre tid och

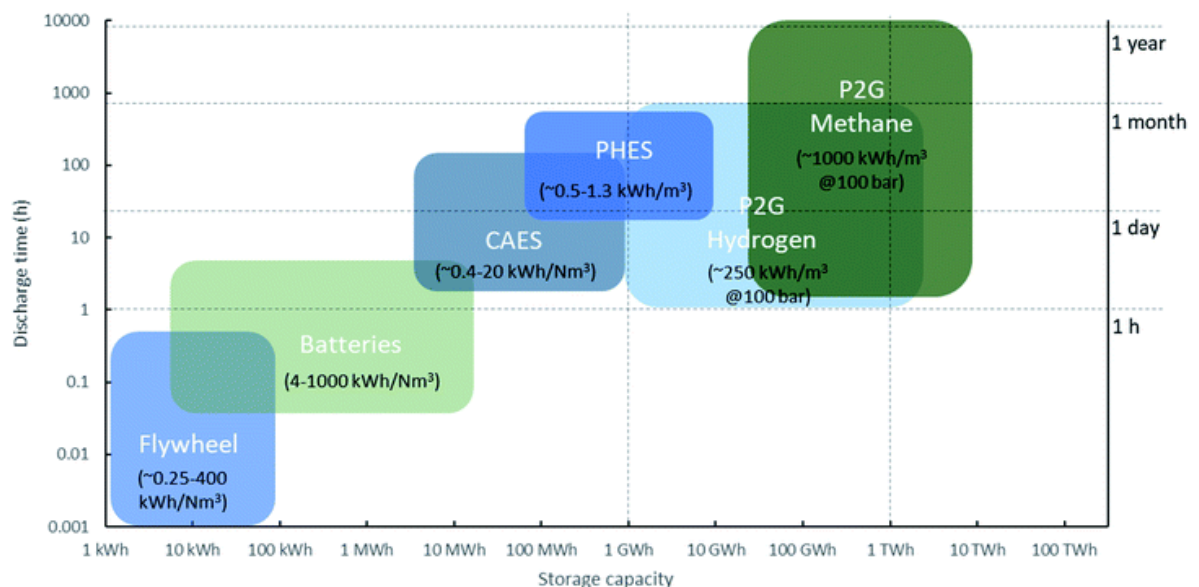
att det inte blir effektivt med någon annan produkt än värme. Genom att producera vätgas kan däremot energi lagras länge och energin kan används för många olika applikationer. Dock bedömer EU att det främst är lagring inom månader och mellan säsonger som tekniken lämpar sig för.

För lagring finns det också flera alternativ till vätgas:

- Batterier
- Komprimerad luft
- Svänghjul
- Pumpvattenkraft
- Vanlig vattenkraft.

Medan batterier, komprimerad luft och svänghjul alla är tekniker som fungerar, så påverkas energiinnehållet snabbt över tid. Detta gör att teknikerna lämpar sig för lagring under kort tid. Detta gäller även för pumpvattenkraft. Traditionell vattenkraft av den typ vi har i Sverige lämpar sig för långtidslagring, men inte lika bra över säsonger då nivåerna hänger ihop med nederbörden. Det finns alltså naturliga begränsningar för vattenkraften i form av plats och tillgång på vatten (Fuel Cells Hydrogen 2 Joint Undertaking, 2019)

Genom att producera gas av energi, lagra gasen och sedan omvandla den till energi igen så är det en teknik som möjliggör lagring under lång tid, dock är inte verkningsgraden så hög på grund av den dubbla omvandlingen.



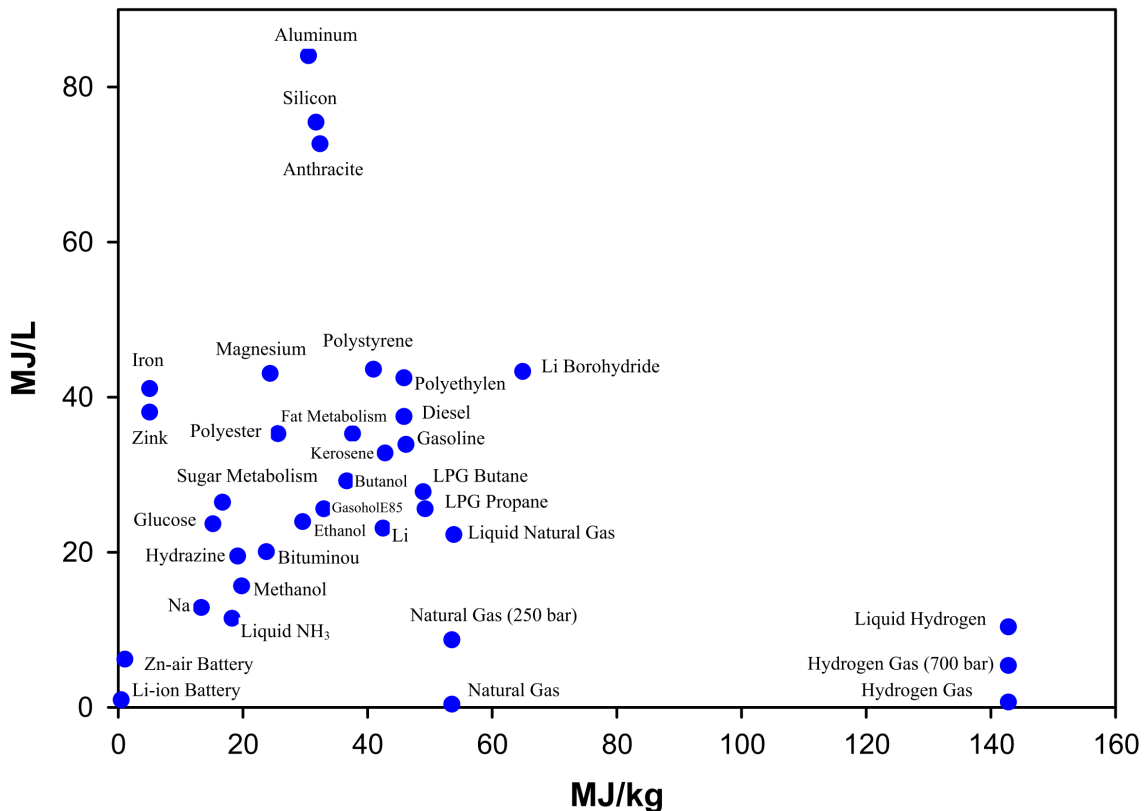
Figur 18. Urladdningstid och lagringskapacitet för olika lagringstekniker (Yao et al., 2019).

En ytterligare faktor som beskriver relationen mellan de olika alternativen är grafen i figur 18. Här ser vi vad som lämpar sig för storskalig respektive lagring i mindre skala, samt hur lång tid det tar att producera energi från respektive lagringsmetod. För lagring i berggrum krävs det lämpliga förutsättningar (Yao et al., 2019) vilket saknas i Sverige.

6.8 Nackdelar med vätgas jämfört med andra alternativ

Utöver de positiva aspekter som finns med vätgas och vätgaslagring så finns det även nackdelar. Dels har väte en lägre energidensitet per volym än traditionella

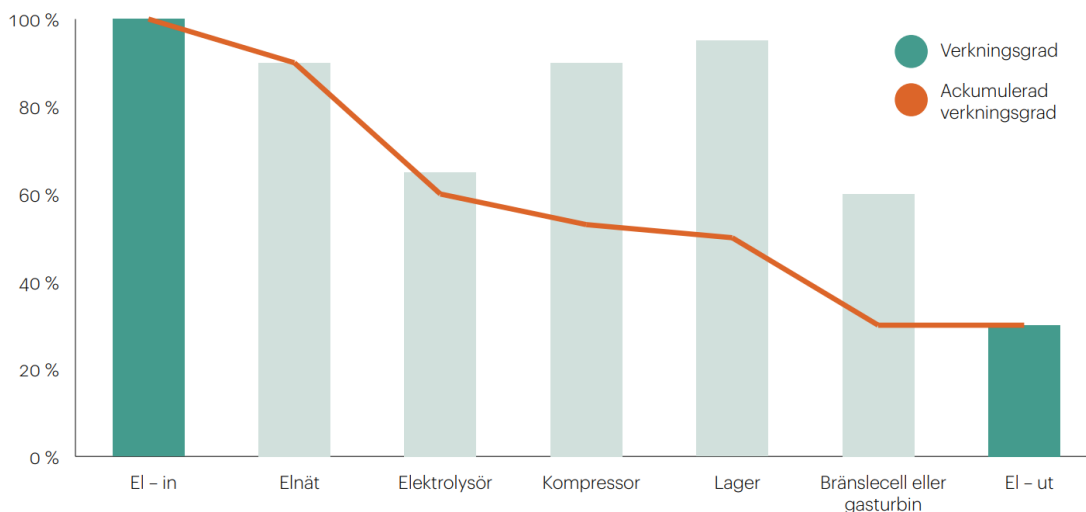
petroleumbränslen. I normal rumstemperatur kräver väte cirka 3000 gånger mer utrymme än bensin för samma energimängd (Armaroli och Balzani, 2011). Den låga energidensitet per volym gör att det tar mycket utrymme vilket begränsar användbarheten (U.S Department of Energy). Dock ger energidensiteten inte hela bilden av hur effektivt ett bränsle är då även verkningsgraden vid användning spelar roll (Fischer et al., 2009).



Figur 19. Jämförelse av energidensitet för olika bränsle/energibärare baserat på vikt och volym (Ehteshami och Chan, 2014).

En annan nackdel är att vätgas har lätt att läcka. Då molekylerna är väldigt lätt och liten är kraven höga på kärnen som vätgas lagras i. Framförallt då vätgas reagerar med syre finns även krav på ventilation (Rosen och Koochi-Fayegh, 2016). Detta är problem som batterier och traditionella bränslen inte har i samma utsträckning. Batterier har exempelvis problem med värmestabilitet, svänghjul kan drabbas av mekaniska fel och vattenkraft kan drabbas av dammbrott (Ehteshami och Chan, 2014).

Verkningsgraden för vätgaslösningar beror på vilken teknik som används och på om energin måste omvandlas. Vid optimal process och om värme tas tillvara kan verkningsgraden uppgå till 80 procent. Vanlig elektrolys har en verkningsgrad på cirka 65%. Ska sedan gasen komprimeras, lagras och sedan användas i bränslecell finns det ytterligare bortfall på för varje steg i processen. Detta gör att totalverkningsgraden i ett el-gas-el-system blir cirka 30%, se figur 20. Detta medför en högre kostnad för energibortfall än vid exempelvis användning av elektricitet direkt eller vid batterianvändning där det endast är bortfall från lagringen (IVA, 2022). För sol och vindkraft som endast kan leverera energi när solen skiner eller när vinden blåser, vilket gör att det blir stor skillnad i installerad effekt jämfört med den faktiskt producerade elen. Att tappa ytterligare energi på grund av omvandlingar för lagring kräver att utbyggnaden av dessa måste öka ytterligare för att möta framtidens energibehov.



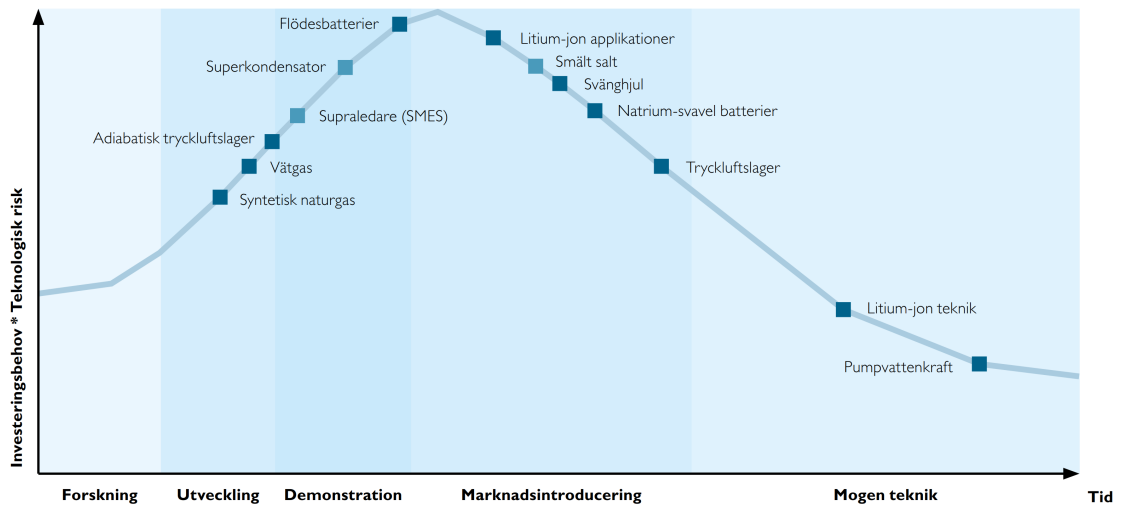
Figur 20. Verkningsgrad för olika steg i ett el-gas-el-system (IVA, 2022).

När det kommer till lagring så har även olika lagringsalternativ olika verkningsgrad och egenskaper, se Figur 21. Vätgasen i lagring har 62-82 procents verkningsgrad, men sedan ska denna även omvandlas till rätt energislag. Värt att notera är att de olika lagringsmetoderna har andra egenskaper som påverkar vilket lagringstyp som lämpar sig bäst beroende på ändamål.

Energilagringmetod	Kapacitet (MW)	Användningstid	Verkningsgrad (%)	Start-upp tid
Pumpkraftverk	< 5000	l-24 h	65-85	s-min
Tryckluftsteknik	Beroende på lagringsstorlek	l-24 h	42-54 (vanlig) 70 (avancerad adiabatisk)	min
Blybaserade batterier	0,001-50	s-3 h	60-95	-
Litiumbaserade batterier	0,001-0,1	min-h	85-100	-
Flödesbatterier Vanadin Redoxbatterier	0,03-7	s-10 h	85	ms
Flödesbatterier Zink Bromidbatterier	0,05-2	s-10 h	70-75	ms
Natriumsvavelbatterier	0,5-50	s-h	85-90	-
Power to gas, H2 produktion	kW-GW	s-månader	62-82	s-min
Power to gas, CH4 produktion	kW-GW	s-månader	49-56	min-h
Svänghjul	0,002-20	s-min	95	s-min
SMES	0,001-10	s	90	ms
Superkondensatorer	0,01-1	ms-s	95	ms

Figur 21. Jämförelse av olika lagringsmetoder för energi med verkningsgrad (Anna Nordling och Alexander Hembjer, 2015)

En ytterligare faktor som spelar in är mognadsgraden av tekniken. Medan vattenkraft har funnits väldigt länge så är lagring av vätgas relativt nytt. För batterier finns numera en utbyggd infrastruktur och produktionskapacitet, vilket ännu saknas för grön vätgas och vätgaslagring. Vätgasen är dock i en fas där det är en övergång mot en marknadablering.



Figur 22 Mognadsgrad för olika lagringstekniker (Anna Nordling och Alexander Hembjer, 2015)

7 Resultat och analys - Intressenter på marknaden

För att undersöka forskningsfrågorna:

”Vilken nivå av makt och intresse har de olika intressenterna för att utveckla vätgas på den Svenska marknaden?” Och ”Vilka intressenter finns det på marknaden för vätgasproduktion, lagring och konsumtion?” Genomfördes ett antal intervjuer med experter där de fick gradera och beskriva intressenter samt diskutera de olika intressenternas koppling till delarna i värdekedjan.

Avsnittet är baserat på intervjuerna och här presenteras resultatet från intressentanalysen och kartläggningen av värdekedjan.

7.1 Intressenter på marknaden

För att kunna besvara forskningsfrågan, *vilka intressenter det finns på marknaden?* skapades först en lista med potentiella aktörer genom brainstorming i enlighet med Reed et al (2009) metodik för att kartlägga aktörer. Som grund för brainstormingsessionen användes även sekundärdata i form av potentiella aktörer identifierade på den tyska marknaden av (Schlund et al., 2022). För att identifiera aktörerna undersöktes vilka individer eller grupper som påverkar eller kan påverka vätgasmarknaden, enligt Reed et al (2009) och Freemans (2010) definitioner. Genom att använda denna breda definition fångas aktörer som nödvändigtvis inte skapar värde i värdekedjan, men har möjlighet att påverka hur utvecklingen av marknaden kommer att ta form (Schlund et al., 2022).

Nästa steg är att klassificera intressenterna, för att kunna göra analysen mer överskådlig. Likvärda intressenter samlades under större kategorier som blir mer representativa för analysen jämfört med enskilda aktörer.

Nedan följer listan med identifierade intressentkategorier:

Intressentkategori	Underkategori
Energibolag	
Operatörer för distributionssystem av elektricitet (DSO)	
Operatörer för transmission av elektricitet (TSO)	
Industrisektorn	Stål, Kemi, Cement
Regioner och kommuner	
Regulatorer och institutioner	
Politiker	
Konsultbolag	
Transportsektorn	Flyg, fartyg, tåg, bil
Akademier	
Skog- och lantbruksindustrin	
Intresseorganisationer	
Fastighetssektorn	
Petroleumindustrin	
Offentliga bolag	
Forskningsbolag	
Privatpersoner	
Privata bolag	
Icke-konventionella företag för förnybar energi, ex vindkraftskooperativ	
Bolag som lagrar exempelvis gas	
Vätgasproducenter	

7.1.1 De viktigaste intressenterna på marknaden

Genom intervjuer med experter som representerade olika delar i värdekedjan att välja ut vilka som var de viktigaste aktörerna på marknaden. De fick också frågan om de någon huvudaktör saknades eller om det var någon aktör som hade mindre påverkan. Efter att ha genomfört intervjuerna hade antalet aktörer reducerats till 11 aktörer. Några var också tillagda på listan, exempelvis marknadsplatser för vätgas samt teknikleverantörer av vätgasproduceringsteknik.

Intressentkategorier – Huvudsakliga intressenter i Sverige

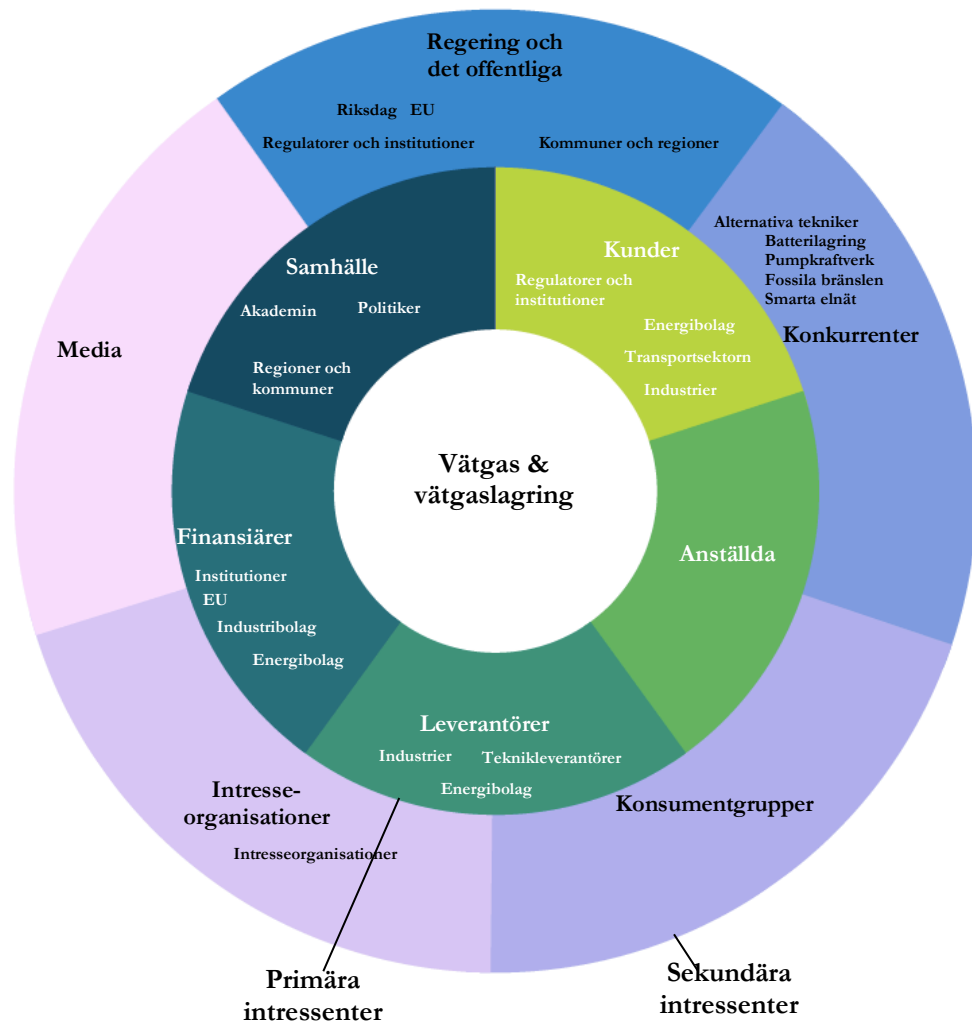
Underkategori

Energibolag	
Operatörer för distributionssystem av elektricitet (DSO)	
Operatörer för transmission av elektricitet (TSO)	
Industrisektorn	Stål, Kemi, Cement
Regioner och kommuner	
Regulatorer och institutioner	
Politiker	
Konsultbolag	
Transportsektorn	Flyg, fartyg, tåg, bil
Akademin	
Teknikleverantörer av vätgasteknik	
Marknadsplatser för vätgashandel	

7.2 Differentiering och klassificering av intressenter

7.2.1 Primära och sekundära intressenter

För att kunna få en bättre överblick av intressenterna grupperas dessa in efter Freeman et al (2007) indelning i primära och sekundära intressenter i enlighet med teoriavsnittet 4.1 och med utgång i intervjumaterialet. För att kunna använda denna indelning för en teknik, vätgasen och vätgaslagring, har modellen anpassats. Exempelvis är konkurrenter inte konkurrerande företag utan konkurrerande tekniker.



Figur 23. Primära och sekundära intressenter för vätgas och vätgaslagring i Sverige, baserad på Freeman et al (2007).

Av denna indelning framträder ett mönster som tyder på att det är en värdekedja under utveckling. Marknaden är i rörelse och många av intressenterna återkommer i flera typer av kategorier.

Exempelvis kan slutkunder även vara potentiella leverantörer och finansiärer. Då utvecklingen på området är stödd av både EU och regeringen, återfinns även statliga institutioner både som potentiella kunder i form av inköpare av balanskraft, som finansiärer i form av satsningar som exempelvis industriklivet där energimyndigheten satsar 909 miljoner för att minska utsläppen av växthusgas inom industrin. Inom programmet återfinns investeringar inom flera delar av värdekedjan, från produktion av gasen,

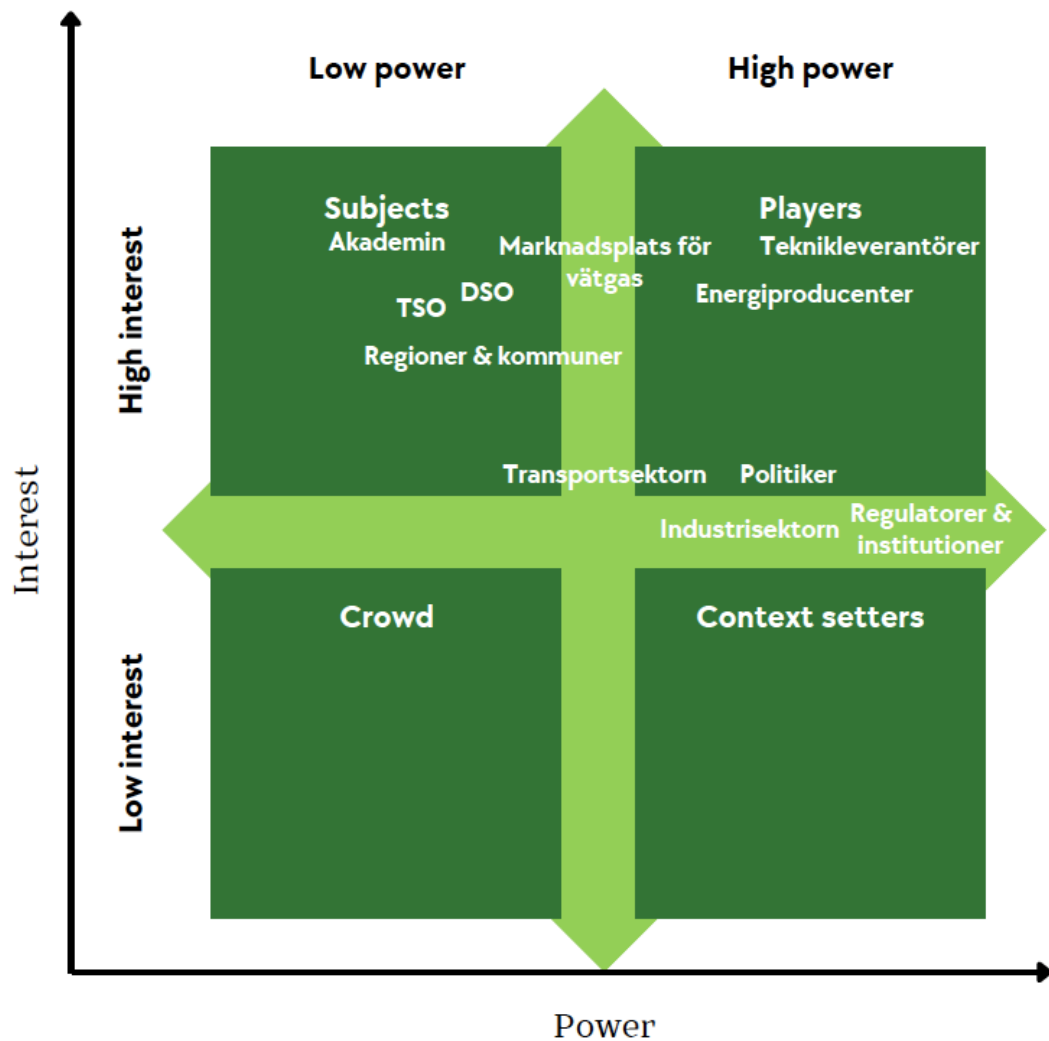
distribution genom tankstationer för transport och användning inom industrin genom H2 Green Steel (Naturvårdsverket, 2021, Miljödepartementet, 2021, Energimyndigheten, 2022b).

Även om det finns många olika artiklar i media om vätgas, så finns ingen specifik media just för vätgas i Sverige.

När det kommer till konsumentgrupper finns det olika samarbeten som kan räknas som konsumentgrupper, exempelvis H2Accelerate. Dock ingår även andra intressenttyper i samarbetsprogrammet som vätgasproducenter och infrastrukturoperatörer (H2Accelerate, 2021).

7.2.2 Analys av intressenternas makt och intresse

För att vidare analysera intressenterna på marknaden genomfördes en makt/intresse-analys enligt teoridelen 4.2.1 Makt/intressentanalys (Reed et al., 2009) utefter experternas bedömning av intressenternas makt och intresse.



Figur 24. Makt/Intresse-matris baserad på intervjuer utifrån Makt/intressemodellen från Eden och Ackermann (1998).

Värt att notera var att överlag ansågs intresset vara från medel till högt för alla intressentkategorier och detta var genomgående för alla intervjuobjekt.

Vilken makt intressenterna har när det kommer till utvecklingen av marknaden skiljer sig stort. Exempel som framkommer kring akademien under intervjuerna är intresset är väldigt högt, men akademien har nästan ingen möjlighet att påverka utvecklingen mer än att anpassa utbildningar efter efterfrågan.

Under intervjuerna framgick även att det finns en osäkerhet kring vem som ska göra vad och att aktörer kan få mer eller mindre makt i framtiden. Exempelvis så är TSO:n Svenska Kraftnät inte idag ansvarig för ett vätgassystem, men kan komma att bli systemansvariga i framtiden, som de är idag för naturgas. Detta kommer i så fall att öka Svenska Kraftnäts makt. När det kommer till politik, policy och regler så finns där en del reell makt, men

mycket hänger på EU-direktiv vilket i sin tur påverkar svensk policy. När det kom till regioner och kommuner gick åsikterna isär hos respondenterna, makten för denna intressent rör främst tillståndprocesser. Vilket är en liten del av den totala utvecklingen, men kan vara en kritisk faktor när det kommer till utbyggnation av exempelvis lagring och hamnar.

En annan aktör som potentiellt kan få mycket makt är en marknadsplats för försäljning av vätgas. Det framgår under intervjuer att det idag finns ingen given marknadsplats för försäljning av vätgas, men det är under etablering. Detta kan potentiellt vara en aktör som får mycket makt i framtiden och en hygienfaktor för en storskalig användning. Innan värdekedjan och reglemente har utkristalliserats är det svårare att avgöra vem som har den faktiska makten. Idag sker handel ofta direkt via parterna eller inom samarbetsprojekt.

Något som blir tydligt under intervjuerna är att teknikleverantörerna har stor makt idag. Då efterfrågan är större än utbudet på tekniken blir ett fåtal huvudaktörers affärsbeslut något som får stor påverkan på hur fältet utvecklas. I viss mån kan länder locka tillverkarna med olika incitament för att, men makten ligger ofta hos tillverkaren ändå. Idag är väntetiden för ett vanligt system minst tio månader och tillverkare har uttryckt att det är fokus på att leverera större system, helst 200MW och uppåt. Detta har potential att påverka huruvida produktion och lagring kommer ske mer småskaligt och lokalt, kontra mer centraliserat och primärt av större aktörer.

När det kommer till energibolagen är intresset både stort och i dagsläget har de stor möjlighet att påverka. Några har redan börjat tillverka vätgas och är med i pilotprojekt för att hitta applikationer för vätgas i industrin. De har ekonomiska muskler att finansiera projekt och är etablerade på energimarknaden.

För intressenterna inom industribolagen är makten högre än intresset. Det finns krav på att minska utsläpp och vätgas är en möjlig lösning vilket gör att ett visst intresse finns. Att makten bedöms hög är att industribolagen har råd och möjlighet att investera i projekt, vilket vissa bolag har gjort.

Genom analys av matrisen kan vi identifiera ”players”-kategorin, som i dagsläget är teknikleverantörerna, energibolaget och politikerna.

7.3 Kopplingar mellan intressenter

Ett sista steg i intressentanalysen är undersökningen av kopplingar mellan intressenterna genom att göra social nätverksanalys eller genom kunskapsmappning (Reed et al., 2009). För att undersöka denna fråga ombads respondenterna att rangordna de viktigaste kopplingarna mellan intressentkategorierna. Resultatet stämmer någorlunda överens med tidigare forskning från på området. (Schlund et al., 2022) fann att i Tyskland var teknikleverantörer, forskning och utvecklingsbolag och energibolag i centrum. Ur det svenska perspektivet framkom att precis som i Tyskland att det rankades som en viktig kontakt är teknikleverantörer och energibolag. Forskningsbolag nämndes däremot inte på samma sätt, men flera respondenter pratade istället om olika forskningsinitiativ tillsammans med andra aktörer och med offentlig inblandning. Antingen från energimyndigheten i projekt som energiklivet, eller i lokala projekt med kommun och det lokala näringslivet.

Detta var dock en fråga där det var svårt för respondenterna att avgöra kopplingen mellan andra intressenter än ur sitt eget perspektiv och att de olika respondenterna hade olika nära kopplingar beroende på deras verksamhet.

Resultat och analys - Vätgasens värdekedja

För att besvara forskningsfrågan: Hur ser vätgasens värdekedja ut? Analyseras här vätgasens värdekedja ur olika perspektiv.

Detta avsnitt är baserat på intervjuerna och från litteraturstudien. Här presenteras och diskuteras resultatet av undersökningen av vätgasens värdekedja.

7.4 Vätgasens värdekedja

För att analysera värdekedjan är det enklast att börja med grunddefinitionen, att analysera alla värdeskapande aktiviteter i en kedja från insatsvara till användning av konsumenten, enligt Porter (1998).

Vi ser då att värdekedjan börjar med tillförsel av grön energi från fossilfria energislager. Sedan följer produktion av själva vätgasen, följt av lagring och komprimering. Sedan ska gasen distribueras och säljas till användarna.



Figur 25. Vätgasens värdekedja

Utifrån den här tydliga värdekedjan analyserades vilka utmaningar och möjligheter som det finns för vardera steg. På så sätt vet de olika intressenterna vilka utmaningar de har att arbeta med beroende på var i värdekedjan intressenten verkar. Resultatet från experternas åsikter kring möjligheter och utmaningar presenteras i Figur 22.

Vätgasens värdekedja



Figur 26. Utmaningar och möjligheter med vätgasteknik kopplat till värdekedjans länkar

Bilden som framkommer under intervjuerna är att värdekedjan är dock mer komplex än en enkel kedja. Det inte är helt klart vart i värdenätverket som aktiviteterna kommer att utföras utan detta är något som håller på att utkristallisera sig.

Under intervjuerna ställs även frågan huruvida lagringen kommer ske centralt eller mer lokalt. En del i hur framtidens värdekedja kommer att se ut beror på om det är fristående aktörer som lagrar vätgas, om gasen levereras från en central producent som också lagerhåller eller om lagring sker på plats vid användaren.

Samma sak gäller för produktionen, som kan ske centralt eller lokalt. I dag är ett antal pilotprojekt igång där både traditionella energibolag tillverkar vätgas, men även där industrier som är tidigare energibolagskunder producerar vätgas med spillvärme eller egen förnybar energiproduktion. Pilotprojekten är ofta samarbetsprojekt så det är inte lika tydlig uppdelning i kund och leverantör som i en etablerad värdekedja.

Något som blir tydligt efter intervjuerna är att värdekedjan kommer att se annorlunda ut beroende på vilken intressents perspektiv som analysen sker ur. Trots att de tillhör samma värdekedja är det stor skillnad på exempelvis bönder som vill gå off-grid och minska beroendet av elmarknaden, jämfört med en aktör som Svenska kraftnät eller ett större processindustribolag.

Majoriteten av experterna är övertygade om att ur ett svenskt perspektiv så kommer även värdekedjorna vara lokala, då det saknas ett etablerat distributionsnät för gas inom landet (Ilka von Dalwigk 2021). Detta medför att det kan vara skillnader i värdekedjorna beroende på geografiskt läge. Även företrädaren för Uniper, som är en större aktör som tillverkar vätgas vid kärnkraftverket i Oskarshamn tror att det kommer vara en lokal marknad i första hand, då det ofta är med det lokala näringslivet som nya samarbeten kan inledas.

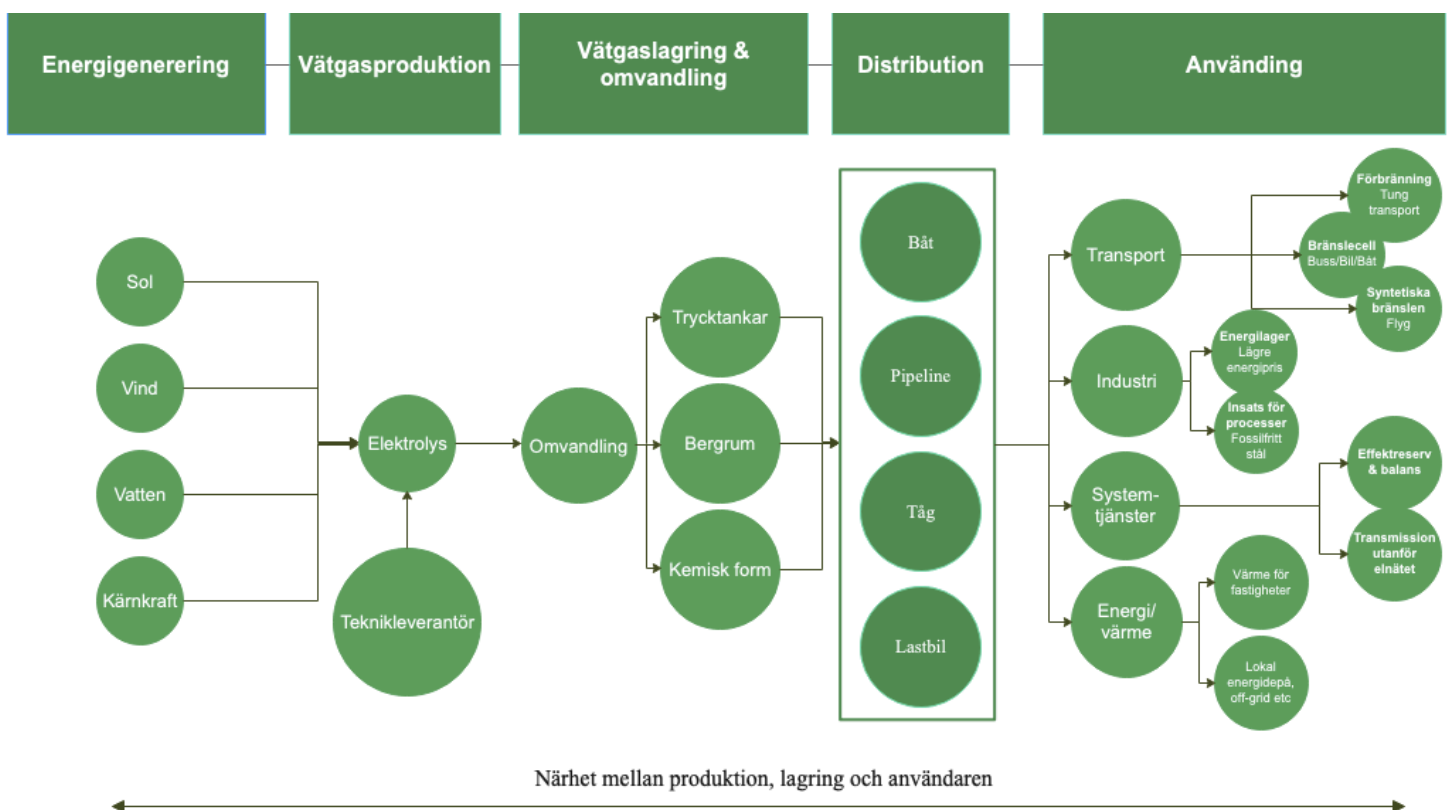
När experterna får frågan om vilken tidsperiod vätgaslagring framförallt kommer att användas till på den svenska marknaden så går åsikterna isär. Några anser att det främst är för kortare intervall, som dagar eller veckor som det finns lönsamhet för. Andra

respondenter menar att det är över säsonger som är det mest troliga. Dock med tillägget att energimarknaden inte är lika logisk längre i och med den senaste tidens volatilitet. Att lagra över säsonger blir då en mer svårkalkylerad affär.

Orsaken till att det dagsläget är samarbeten, pilotprojekt och ingen vanlig handel hänger ihop med att det ännu är det inte lönsamt med vätgasen för många applikationer. Utan det som efterfrågas är annat än den ekonomiska vinningen, som att vara en förebild i klimatfrågan.

Många av satsningarna inom Sverige hänger också på att det skjuts till pengar i form av initiativ från myndigheter eller lokala satsningar på förnybart. Detta gör också att värdekedjan och de ekonomiska kalkylerna blir mer otydliga. Trots att det inte alltid finns lönsamhet idag så är den samlade bilden av experterna att det kommer vara en lönsam marknad framöver inte minst i och med att policys kring andra utsläpp från andra kraftslag träder in. Det finns också andra applikationer där vätgas och elektrolys redan idag är den överlägsna teknologin, inte minst utomlands.

För att fånga upp komplexiteten hos värdekedjan skapar jag ett en utökad värdekedja, där de olika användningsområdena får ta större plats.



Figur 27. Utökad värdekedja med fler användningsområden

Det är alltså en värdekedja som har flera olika energikällor, produktionssätt, lagringsmetoder och användningsområden där alla bitar inte har fallit på plats ännu.

En dimension av analysen är att undersöka hur nära det är mellan energigenereringen och användningen. För att få svar på detta ställdes detta som fråga till respondenterna under

intervjuerna. Svaren varierade beroende på respondentens perspektiv. Då kedjan inte är etablerad finns det flera möjligheter. På ena sidan av spektrumet sker produktion centralt av stora energibolag, lagras centralt och sedan distribueras ut till användarna med stort avstånd i värdekedjan. På andra sidan av spektrumet är det slutanvändaren som samtidigt står för energigenerering, produktion och lagring. Var lagringen hamnar beror dels på vilken typ av aktörskategori som det gäller, exempelvis är en kategori lantbrukare som vill gå off-grid, då följer det naturligt att hela värdekedjan är lokalt. En annan faktor som påverkar är elmarknadsregleringen, det kommer att finnas en vinning i att skydda sig från höga elpriser. Detta i samband med att infrastruktur inte är utbyggd gör att produktionen förmodligen kommer att hamna närmre användaren i de flesta fallen. Fler av experterna framhöll också att transport kostar, så att om möjlighet för lokal produktion finns så finns en fördel i att ta bort transportsteget.

8 Diskussion av resultat

8.1.1 Diskussion av intressentanalysen

Att använda intressentanalys för att undersöka vätgas som teknik och energibärare fungerade bra. Det framkom tydligt att det var fanns några huvudaktörer som är har stor påverkan på att vätgasen och hur vätgaslagring ska etableras i Sverige.

Under litteraturstudien framgick att optimismen gällande vätgas var hög och i policydokumenten ses vätgas ofta som en självklar del som lösningen i omställningen till förnybar energi. Väldigt många möjligheter och visioner presenteras. Detta speglas också i intressentanalysen där alla huvudaktörer hamnar i den övre halvan av intresseaxeln.

Detta är ett intressant fynd som står i kontrast till hur mycket i värdekedjan som inte är på plats ännu. Detta var även en reflektion några av respondenterna tog upp. Många intressenter har högt intresse, men att makten att påverka inte finns eller att det hänger på andra aktörer som måste ta första steget.

Intressentanalysen pekade också på i vilket tidigt stadium tekniken är i då flera intressenter kunde ha flera roller. Exempelvis är det flera kunder som också potentiellt kan vara leverantörer.

8.1.2 Reflektioner kring metod och genomförande av intressentanalys

Även om det fungerade bra att använda modellen för att analysera en teknik/energibärare, så blir det ett vidare undersökningsområde än att bara undersöka företag eller en produkt. Fler aktörer stämmer in på kriterierna för att vara en intressent då det finns så pass många applikationer. Det gick att följa teorins olika steg och analysmetoden producerade fram ett resultat. Att antalet respondenter var så pass lågt för en undersökning som blir väldigt bred påverkar tillförlitligheten, framförallt när det framkom att de olika respondenterna hade skilda perspektiv på många av frågorna.

För en första översiktsstudie fungerade metoden, men för att få högre tillförlitlighet bör antingen undersökningsområdet specificeras mer eller så bör det vara högre antal respondenter så att det blir flera från varje intressentkategori. För att göra en socialnätverksanalys med kartläggning av hela nätverket bör det finnas mer data tillgängligt.

8.1.3 Diskussion av vätgasens värdekedja

Det framgick under undersökningen att det finns ett antal värdekedjor under det större värdenätverket och att beroende på intressent eller applikation så kan värdekedjan se väldigt annorlunda ut.

Även om vätgas är en produkt så är det i de flesta fall här en energibärare, precis som elektricitet, vilket gör att undersökningsområdet blir väldigt brett.

Intressanta observationer är dels att lagring av vätgas förmodligen kommer att lagras och användas lokalt på den svenska marknaden. Samt att även här skiljer det sig stort i hur de olika intressenterna ser på tidshorisonter för lagring. Det skiljer sig även stort när det kommer till möjligheter som finns för de olika aktörerna. Exempelvis OKG har mycket

god tillgång på el och kunnig personal, där osäker tillgång på primärenergi och arbetskraft med rätt utbildning har varit en trång sektor för andra.

Det viktigaste resultatet av undersökningen bör vara hur brett fält det är och att det finns många olika vägar för vätgas och vätgaslagring att etableras på marknaden, men att inget är klart ännu.

8.1.4 Reflektioner kring metod och genomförande av intressentanalys

För att analysera värdekedjan adderade intervjuerna mycket förståelse för komplexiteten, som inte framgick från litteraturstudien.

Inom ramen för undersökningen ingick både att identifiera värdekedjan för tekniken och var lagring skulle hamna i värdekedjan. Då värdekedjan inte är helt fastställd blev detta en avancerad uppgift där svaren från undersökningen ofta var att det beror på hur utvecklingen kommer att se ut framåt. Att intervjua ett antal experter tills att det ej gick att få ut mer kunskap gav dock mycket förståelse för hur marknaden ser ut och vilka utmaningar som finns framåt.

När osäkerheten om hur värdekedjan kommer att se ut finns det en poäng i att minska scopet och undersöka delarna mer specifikt.

9 Slutsats

9.1 Summering

Grön vätgas är identifierad som en nyckel teknik för att klara nationella och europeiska miljömål. Teknik, applikationer och affärsmöjligheter utvecklas i snabb takt.

I studien framkommer att alla identifierade intressenter har högt intresse för vätgasteknik och lagring och optimismen är stor inom området. Dock är det endast ett fåtal aktörer som har både stor makt och stort intresse, där de viktigaste är teknikleverantörer, myndigheter och energiproducenter. Dessa aktörer kommer att ha stor påverkan för hur utvecklingen ser ut framåt.

Marknaden är under utveckling och det är ännu inte klart vem som ska göra vad. Många intressenter har dubbla roller och kan vara både potentiell kund och producent. Många initiativ är kopplade till offentliga satsningar. Det är så pilotanläggningar byggs och de första verksamheterna blir verklighet. Detta är början på att realisera policydokumenten om det framtida energisystemet.

Analysen av värdekedjan visar att trots att vätgas kan ses som en produkt så är värdekedjans komplexitet hög och det finns många olika värdekedjor beroende på applikation.

Ytterligare en dimension av värdekedjans komplexitet beror på att vätgaslagring och produktion förmodligen kommer ske lokalt närmre användaren vilket ger upphov till lokala värdekedjor. Vätgasen har säkerligen en plats på många olika ställen i det framtida energisystemet och värdekedjan håller på att utkristalliseras, men än är inget klart.

För att policydokumenten ska bli verklighet krävs synkroniserade satsningar inom de olika delarna i värdekedjan och att aktörerna har en samsyn så att alla delar kommer på plats i rätt sekvens. Synkronisering krävs även för satsningar mellan de underliggande och lokala värdekedjorna.

Om spelreglerna blir tydliga och investeringarna görs som krävs för att systemet ska fungera, ser framtiden ljus ut för vätgas och vätgaslagring i Sverige.

9.2 Förslag till vidare undersökning

Då syftet var att skapa en nulägesbild av aktörer och värdekedjor på marknaden är analysen översiktlig. Nulägesbilden är en bra utgångspunkt för att kunna analysera komponenterna mer på djupet, något som prioriterades bort till förmån för det breda perspektivet i denna rapport.

Ett resultat av analysen är att under den övergripande värdekedjan finns ett komplext värdenätverk som börjar växa fram, med underliggande mer separata värdekedjor för de olika tillämpningarna av vätgasen.

Ett förslag på vidare forskning är att undersöka värdekedjorna på djupet för de olika tillämpningarna. På så sätt blir det tydligare hur länkarna skapar värde för just den specifika tillämpningen. Ett exempel på forskningsfråga blir då:

- *Hur ser värdenätverket ut för att använda vätgaslagring som arbitragemöjlighet vid prispförändringar?*

Ett annat förslag är att göra en intressentanalys för de separata tillämpningarna för att få mindre generella grupper och en intressentanalys som är mer relevant för den specifika slutkunden. Ett exempel på forskningsfråga blir då:

- *Vilka intressenter finns det för storskalig vätgaslagring i berggrum? Vad har dem för makt och intresse?*

I uppsatsen gjordes ingen ekonomisk analys av värdekedjan. Detta är en av huvudfaktorerna på hur marknaden kommer att utvecklas. Enligt experterna sker utvecklingen så pass snabbt att den finansiella kalkylen förändras och tidigare gjorda analyser blir snabbt inaktuella. För att kunna göra analysen på djupet bör även här de underliggande separata värdekedjorna att analyseras. Några förslag på ekonomiska frågor som kan undersökas djupare är:

- *Hur lönsamheten ser ut med vätgas och vätgaslagring för de olika värdekedjorna?*
- *Hur stora behöver fluktueringarna i elpris vara för att vätgaslagring och användning ska vara lönsamt?*
- *Hur ser lönsamheten ut för vätgasprojekten utan subventioner och stöd?*

Två hinder för utvecklingen framkom under undersökningen. Dels var utvecklingen beroende av ett fåtal teknikleverantörer med långa leveranstider. Det hade varit intressant att granska trösklarna för att ta sig in på den marknaden och göra lönsamhetsberäkningar för ett teknikleverantörsföretag. Förslag på fråga:

- *Case-studie: Hur ser trösklarna ut för att etablera sig på marknaden för elektrolysörer?*

Det andra hindret som framkom var att det var brist på kompetens inom området. Inom 30 år ska vätgas stå för 25 procent av EUs energi. Det kommer därmed behövas mycket kompetens inom området. Ett förslag på fråga är då:

- *Hur ska kunskapsbehovet tillfredsställas inför omställningen till ett energisystem med vätgas?*

10 Källförteckning

2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ACAR, C. & DINCER, I. 2018. 3.1 Hydrogen Production. *In: DINCER, I. (ed.) Comprehensive Energy Systems*. Oxford: Elsevier.
- AHSAN, D. & PEDERSEN, S. 2018. The influence of stakeholder groups in operation and maintenance services of offshore wind farms: Lesson from Denmark. *Renewable Energy*, 125, 819-828.
- ALLEE, V. 2003. Value networks and evolving business models for the knowledge economy. *Handbook on knowledge management*. Springer.
- ANNA NORDLING, R. E. & ALEXANDER HEMBJER, A. M. 2015. Energilagring - Teknik för lagring av el.
- ARMAROLI, N. & BALZANI, V. 2011. The hydrogen issue. *ChemSusChem*, 4, 21-36.
- ATILHAN, S., PARK, S., EL-HALWAGI, M. M., ATILHAN, M., MOORE, M. & NIELSEN, R. B. 2021. Green hydrogen as an alternative fuel for the shipping industry. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 31, 100668.
- BERTUCCIOLI, L., CHAN, A., HART, D., LEHNER, F., MADDEN, B. & STANDEN, E. 2014. Study on development of water electrolysis in the EU. *Fuel cells and hydrogen joint undertaking*, 1-160.
- BHASKAR, A., ASSADI, M. & NIKPEY SOMEHSARAEI, H. 2020. Decarbonization of the Iron and Steel Industry with Direct Reduction of Iron Ore with Green Hydrogen. *Energies*, 13, 758.
- CAMMACK, R., FREY, M. & ROBSON, R. 2001. *Hydrogen as a fuel: learning from nature*, CRC Press.
- CERVANTES, G. C. 2021. Nordiskt elbråk kan trissa upp elpriserna ytterligare. *Tidningen näringslivet*, 2021-11-28.
- CRABTREE, G. W., DRESSELHAUS, M. S. & BUCHANAN, M. V. 2004. The hydrogen economy. *Physics today*, 57, 39-44.
- DENSCOMBE, M. 2014. *Forskningshandboken: för småskaliga forskningsprojekt inom samhällsvetenskaperna*, Studentlitteratur.
- EDEN, C. & ACKERMANN, F. 1998. *Making strategy: The journey of strategic management*, Sage.
- EDWARDS, P., KUZNETSOV, V. & DAVID, B. 2007. Hydrogen energy. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences*, 365, 1043-56.
- EHTESHAMI, S. M. M. & CHAN, S. H. 2014. The role of hydrogen and fuel cells to store renewable energy in the future energy network – potentials and challenges. *Energy Policy*, 73, 103-109.

- EIA. 2022. *Hydrogen explained* [Online]. Available: <https://www.eia.gov/energyexplained/hydrogen/use-of-hydrogen.php> [Accessed 2022-05-03].
- ENERGIMYNDIGHETEN. 2020. *Sveriges energi- och klimatmål* [Online]. Available: <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/sveriges-energi--och-klimatmal/> [Accessed 2022-05-02].
- ENERGIMYNDIGHETEN. 2021a. *Energibalans* [Online]. <http://www.energimyndigheten.se/>: Energimyndigheten. Available: <http://www.energimyndigheten.se/om-oss/press/energisystemet/energibalans/> [Accessed 2021-04-02 2021].
- ENERGIMYNDIGHETEN 2021b. *Energiläget 2021*. Swedish Energy Agency Eskilstuna.
- ENERGIMYNDIGHETEN. 2021c. *Hållbar elektrifiering* [Online]. Available: <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/hallbar-elektrifiering> [Accessed 2022-05-10].
- ENERGIMYNDIGHETEN. 2021d. *Om elcertifikatsystemet* [Online]. Available: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/elcertifikatsystemet/om-elcertifikatsystemet/> [Accessed 2022-05-27].
- ENERGIMYNDIGHETEN 2022a. Förslag till Sveriges nationella strategi för vätgas, elektrobränslen och ammoniak. *In: ENERGIMYNDIGHETEN (ed.). Arkitektkopia AB.*
- ENERGIMYNDIGHETEN 2022b. *H2 Green Steel förbereder för fossilfri stålproduktion i Boden.*
- ENERGIMYNDIGHETEN 2022c. *Nuläget på elmarknaden April 2022.*
- FAN, L., TU, Z. & CHAN, S. H. 2021. Recent development of hydrogen and fuel cell technologies: A review. *Energy Reports*, 7, 8421-8446.
- FISCHER, M., WERBER, M. & SCHWARTZ, P. V. 2009. Batteries: Higher energy density than gasoline? *Energy Policy*, 37, 2639-2641.
- FREEMAN, R. E., HARRISON, J. S., WICKS, A. C., PARMAR, B. L. & DE COLLE, S. 2010. Stakeholder theory: The state of the art.
- FREEMAN, R. E., HARRISON, J. S., WICKS, A. C. & PROQUEST 2007. *Managing for stakeholders : survival, reputation, and success*, New Haven, Yale University Press.
- FUCHS, N. *Water electrolysis explained – the basis for most Power-to-X processes* [Online]. Available: <https://ptx-hub.org/water-electrolysis-explained/> [Accessed 2022-05-29].
- FUEL CELLS HYDROGEN 2 JOINT UNDERTAKING 2019. *Hydrogen roadmap Europe : a sustainable pathway for the European energy transition*, Publications Office.

- GANDIA, L. M., ARZAMENDI, G. & DIÉGUEZ, P. M. 2013. *Renewable hydrogen technologies: production, purification, storage, applications and safety*, Newnes.
- GRUE, J. 2022. *GRÖN VÄTGAS ÄR FRAMTIDENS BRÄNSLE* [Online]. Available: <https://www.cowi.se/insights/groen-vaetgas-aer-framtidens-braensle> [Accessed 2022-06-01].
- H2ACCELERATE. 2021. *ABOUT H2ACCELERATE* [Online]. Available: <https://h2accelerate.eu/about/> [Accessed 2022-05-21].
- HEDEN, H. 2015. *Energimarknadsinspektionen : en sekellång historia*, Energimarknadsinspektionen.
- ILKA VON DALWIGK , J. S., SARA GHAEM 2021. Vätgas för flexibelt och robust energisystem. Energimyndigheten.
- IVA 2022. Om vätgas och dess roll i elsystemet
- KAPLINSKY, R. & MORRIS, M. 2000. *A handbook for value chain research*, University of Sussex, Institute of Development Studies Brighton.
- KONSUMENTERNAS ENERGIMARKNADSBYRÅ. 2020. *Elområden* [Online]. Available: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/elmarknaden/elomraden/> [Accessed 2022-06-18].
- KULKARNI, T. S., GYMAMA. (2015). ENZYMATIC GLUCOSE BIOFUEL CELL AND ITS APPLICATION. JOURNAL OF BIOCHIPS & TISSUE CHIPS. VOLUME 5. 1000111. 10.4172/21530777.1000111. 2015. Enzymatic Glucose Biofuel Cell and its Application. *Journal of Biochips & Tissue chips*, 5.
- LINDHOLM, K. *Elmarknadens utveckling* [Online]. Available: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/elsystemet/elhandel/elmarknadens-utveckling> [Accessed 2022-04-10].
- LONGORIA, G., LYNCH, M. & CURTIS, J. 2021. Green hydrogen for heating and its impact on the power system. *international journal of hydrogen energy*, 46, 26725-26740.
- MILJÖDEPARTEMENTET. 2021. *Regeringen satsar på omställningen till fossilfri industri genom Industriklivet* [Online]. Available: <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2021/12/regeringen-satsar-pa-omstallningen-till-fossilfri-industri-genom-industriklivet/> [Accessed 2022-05-21].
- MITCHELL, R. K., AGLE, B. R. & WOOD, D. J. 1997. Toward a theory of stakeholder identification and salience: Defining the principle of who and what really counts. *Academy of management review*, 22, 853-886.
- NATURVÅRDSVERKET. 2021. *Klimatklivet ger stöd för uppbyggnad av tankstationer för fossilfri vätgas* [Online]. Available:

<https://www.naturvardsverket.se/om-oss/aktuellt/nyheter-och-pressmeddelanden/klimatklivet-ger-stod-for-uppbygggnad-av-tankstationer-for-fossilfri-vatgas/> [Accessed 2022-05-20].

NORDLING, A. 2016. Sveriges

framtida elnät

En delrapport. Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), 2016.

PORTER, M. E. 1998. *Competitive advantage : creating and sustaining superior performance : with a new introduction*, New York ; London, Free Press.

REED, M. S., GRAVES, A., DANDY, N., POSTHUMUS, H., HUBACEK, K., MORRIS, J., PRELL, C., QUINN, C. H. & STRINGER, L. C. 2009. Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *Journal of environmental management*, 90, 1933-1949.

ROSEN, M. A. & KOOHI-FAYEGH, S. 2016. The prospects for hydrogen as an energy carrier: an overview of hydrogen energy and hydrogen energy systems. *Energy, Ecology and Environment*, 1, 10-29.

SCHLUND, D., SCHULTE, S. & SPRENGER, T. 2022. The who's who of a hydrogen market ramp-up: A stakeholder analysis for Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154, 111810.

SHIVA KUMAR, S. & HIMABINDU, V. 2019. Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review. *Materials Science for Energy Technologies*, 2, 442-454.

SVENSKA KRAFTNÄT. 2021a. *Den gemensamma elmarknaden i Europa* [Online]. Available: <https://www.svk.se/press-och-nyheter/temasidor/tema-elmarknad-och-elpriser/den-gemensamma-elmarknaden-i-europa/> [Accessed 2022-06-01].

SVENSKA KRAFTNÄT. 2021b. *Om elmarknaden* [Online]. Available: <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-elmarknaden/> [Accessed 2022-04-01].

SVENSKA KRAFTNÄT 2021c. Systemutvecklingsplan 2022–2031.

SVENSKA KRAFTNÄT. 2021d. *Vårt uppdrag* [Online]. Available: <https://www.svk.se/om-oss/verksamhet/> [Accessed 2022-06-18].

SVENSKA KRAFTNÄT. 2022. *Karta över transmissionsnätet* [Online]. Available: <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-transmissionsnatet/transmissionsnatskarta/> [Accessed 2022-05-29].

TANG, O., REHME, J., CERIN, P. & HUISINGH, D. 2021. Hydrogen production in the Swedish power sector: Considering operational volatilities and long-term uncertainties. *Energy Policy*, 148, 111990.

U.S DEPARTMENT OF ENERGY. *Hydrogen Storage* [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage> [Accessed 2022-05-23].

- UNIPER. 2021. *Så bidrar vätgasen till klimatomställningen av Sverige* [Online]. Available: <https://www.uniper.energy/sverige/nyheter/sa-bidrar-vaetgasen-till-klimatomstaellningen-av-sverige/> [Accessed 2022-06-02].
- URSUA, A., GANDIA, L. M. & SANCHIS, P. 2012. Hydrogen Production From Water Electrolysis: Current Status and Future Trends. *Proceedings of the IEEE*, 100, 410-426.
- VÄTGAS SVERIGE. 2016. *Vätgas som energilagring* [Online]. Available: <https://vatgas.se/faktabank/energilagring/> [Accessed 2022-06-01].
- VÄTGAS SVERIGE. 2021. *Vätgas och säkerhet* [Online]. Available: <https://vatgas.se/faktabank/sakerhet/> [Accessed].
- WALLMARK, C., MOHSENI, F., SCHAAP, G. & LARSSON, M. 2014. Vätgasinfrastruktur För Transporter: Fakta Och Konzeptplan För Sverige 2014-2020. *Sweco, Rapport HIT-1-NIP-SE*.
- YAO, J. G., BUI, M. & MAC DOWELL, N. 2019. Grid-scale energy storage with net-zero emissions: comparing the options. *Sustainable Energy & Fuels*, 3, 3147-3162.
- ZÜTTEL, A. 2004. Hydrogen storage methods. *Naturwissenschaften*, 91, 157-172.
- ÅHMAN, M. 2016. *Elmarknadens omvandling: Reglering, vägval och drivkrafter för elsystemets utveckling till 2050*, Lund University.

11 Bilagor

Intervjufrågor

Bakgrund

1. Berätta kortfattat om din bakgrund?
2. Hur många års erfarenhet har du av energibranschen?
3. Beskriv kortfattat hur du/eller din arbetsgivare är en del av värdekedjan för vätgasproduktion och lagring i Sverige?
4. Vilka anser du är dom huvudsakliga aktörerna kan kopplas till vätgaslagring i Sverige?
5. Vilka aktörer har störst makt/möjlighet att påverka hur marknaden kommer att utvecklas?
6. Av aktörerna som tidigare respondenter svarat, är det någon aktör som saknas?
7. Vilka aktörer har störst intresse att marknaden utvecklas? (Poängsätt aktörerna från 1-10)
8. Vilka aktörer har störst intresse att marknaden utvecklas? (Poängsätt aktörerna från 1-10)

Värdekedjan:

1. Beskriv vätgasens värdekedja från ert perspektiv
2. Var i värdekedjan finns det störst möjligheter idag?
3. Var i värdekedjan finns det utmaningar idag?
4. Tror du att produktion och lagring kommer ske centralt eller lokalt?
5. När det kommer till vätgaslagring, tror du att det kommer ske över kort eller lång tidsperiod?
6. I värdekedjan finns det ett antal applikationer, hur ser du på vätgasproduktion och lagring kopplat till de olika slutkunderna?
7. För de olika intressentkategorierna i värdekedjan, vilka möjligheter och utmaningar ser du där? Kommer lagring ske i anslutning till någon av intressenterna?
8. Hur ofta har ni kontakt med de olika aktörerna och vilka är era viktigaste kontakter?

För att underlätta den strukturerade delen av intervjun användes även ett Exceldokument i samband med telefonintervjuer där aktörerna var listade, med definitioner och exempel och där poängsättning kunde ske.

Intervjuade experter

Namn	Arbetsplats	Datum	Teknik	Intressentkategori
Jonas Lindmark	Energimyndigheten	2022-06-11	Telefon	Regulatorer/institutioner
Tage Eriksson	Solar Hydro Genesis	2022-06-11	Telefon	Konsult/Utveckling/Marknadsplats
Catharina Torp	Inventura / Aker Clean Hydrogen	2022-06-11	Telefon	Konsult/Producent
Jenny Wirandi	Uniper / OKG	2022-06-16	Telefon	Energibolag / vätgasproducent