



**ENERGIKONTOR  
SYD**

# Vätgas i Kalmar län

Kartläggning och potential 2023



Dokumentinformation

<b>Titel:</b>	Vätgas i Kalmar län
<b>Författare:</b>	Karoline Alvånger
<b>Redaktör:</b>	Elsa Magnusson
<b>Kvalitetsgranskat av:</b>	Pierre Ståhl
<b>Utgivare:</b>	Energikontor Syd
<b>Med stöd från:</b>	Region Kalmar och ERUF genom Tillväxtverket
<b>Utgivet år:</b>	oktober 2023



MED FINANSIERING FRÅN



# Förord

Denna rapport redovisar resultat och slutsatser från förstudien Förnybar vätgas i Kalmar län, ett projekt som finansierats av Region Kalmar och Europeiska regionala utvecklingsfonden. Förstudien har utförts av Energikontor Syd under perioden februari–oktober 2023 med stöd av en referensgrupp med representanter från Oskarshamns kommun, OKG/Uniper, ReH2/Hydri, LRF och Åbro Bryggeri.

Rapporten ger en bakgrund till vätgasens värdekedja från tillverkning, via distribution, till användning. Syftet är att belysa hur framtiden kan se ut för vätgas på ett övergripande plan, men framför allt vilka möjligheter och utmaningar som finns i Kalmar län.

# Innehållsförteckning

1. Sammanfattning .....	5
2. Syfte och metod .....	6
3. Inledning och bakgrund .....	7
3.1. Vätgas .....	7
3.2. Aktörer Kalmar län .....	9
4. Litteraturstudie.....	11
4.1. Produktion.....	11
4.2. Distribution.....	13
4.3. Användning.....	16
4.4. Komplet vätgaskedja.....	23
4.5. Stödformer .....	25
4.6. Tillstånd och regler .....	27
5. Kartläggning och externa aktiviteter .....	29
5.1. Intervjustudie .....	29
5.2. Event.....	32
6. Potential i Kalmar län .....	33
6.1. Fordon/tankställen .....	33
6.2. Industriella processer .....	35
6.3. Energilager.....	35
6.4. Förbränning inom industrin .....	35
6.5. Komplet vätgaskedja.....	35
7. Slutsats och diskussion .....	36
7.1. Produktion.....	36
7.2. Distribution.....	36
7.3. Användningsområden .....	36
7.4. Diskussion Kalmar län.....	37
7.5. Genomförandeprojekt.....	38
7.6. Fortsatt arbete .....	39
8. Källförteckning.....	41

# 1. Sammanfattning

Energikontor Syd har under perioden februari–oktober 2023 genomfört en förstudie med syfte att kartlägga befintliga och potentiella intressenter inom vätgaskedjan i Kalmar län. Målsättningen var att identifiera möjliga aktörer och utreda hur framtida utveckling kan stimuleras för att stärka vätgasens roll i länet. Rapporten vänder sig till befintliga och potentiella aktörer i hela vätgaskedjan samt personer som vill lära sig mer om vätgasens möjligheter och utmaningar.

Vätgas ger möjligheter att minska fossilberoende och öka självförsörjningsgraden inom energiområdet, men medför även nya utmaningar som måste adresseras. Liksom för många nya tekniska lösningar som kräver infrastruktur och stora investeringar bedöms vätgas i många fall kräva stöd innan tekniken är kommersiellt mogen. Det är dock viktigt att vara kritisk och granska var vätgas resursmässigt gör störst nytta och var andra tekniska lösningar är bättre lämpade.

Vid elektrifiering av fordon måste det beaktas att energiomvandlingar innebär förluster och att totalverkningsgraden vid konvertering el-vätgas-el är betydligt lägre än om lagring kan ske i batterier. Vätgas kan dock vara intressant för vissa tillämpningar såsom tunga fordon där (dagens) batteriteknik ger kortare räckvidd, är tyngre och därmed begränsar tillgänglig nyttolast samt kräver längre tid för laddning/tankning.

## Tillämpningar i Kalmar län

- **Intresserade vätgasaktörer finns** - befintliga, de som beviljats stöd för installationer, de som skickat in ansökan om stöd och inte minst finns ett stort intresse för vad vätgasen i framtiden skulle kunna spela för roll i samhället i stort och för enskilda aktörer.
- **Stimulera vätgasutveckling** - samlar lokala aktörer i kluster med komplett värdekedja, information till intressenter om möjligheter, ekonomiska stöd och investeringskalkyler.
- **Elberedskapsperspektiv** - För att få lönsamhet i att producera vätgas vid låga elpriser för elgenerering vid högre priser krävs låga kostnader för utrustning och elprisets volatilitet behöver vara stor. Ur beredskapssynpunkt finns dock lämpliga applikationer för vätgaslager som exempelvis för att generera el till samhällsviktig verksamhet.
- **Vätgas i förbränningsprocesser** - är framför allt intressant för verksamheter som använder fossila bränslen, men kan även komplettera eller ersätta biogas. Speciellt intressant är vätgas för att det inte ger några koldioxidutsläpp.
- **Vätgasproduktion i kombination med fjärrvärme** - där den värme som bildas vid elektrolysen tas tillvara i fjärrvärmenätet. Initialt som komplement till befintliga kraftvärmeverk, men på sikt då verken utrangeras kanske som basvärmekälla.

För att stimulera och utveckla vätgasanvändning i Kalmar län föreslås en **pilot** där Energikontor Syd hittar intressenter till en komplett lokal/regional vätgasvärdekedja. Exempelvis använder flera företag i Kalmar län fossila bränslen för uppvärmning av ugnar, där vätgas skulle kunna vara ett intressant alternativ till gasol. Produktion av vätgasen kan lämpligen ske med lokal förnyelsebar el från vind och/eller sol. Genom att skapa ett demonstrationsprojekt kan ett mindre företag få hjälp med de höga investeringskostnader införandet av ny teknik medför och liknande branscher får ta del av erfarenheter och en utvecklad, och därmed troligen billigare, teknik för vidare spridning av vätgasanvändning.

## 2. Syfte och metod

### Syfte

Förstudiens syfte var att kartlägga befintliga och potentiella intressenter i Kalmar län inom alla de möjliga områden där vätgas kan användas såsom fordonsbränsle, energilagring, industriella processer etc.

Målsättningen var att identifiera möjliga aktörer och utreda hur framtida utveckling kan stimuleras för att stärka vätgasens roll i länet.

### Metod

Förstudien har jobbat på flera olika plan för att uppnå projektets syften:

- Kunskapshöjande aktiviteter där intressenter har fått ta del av ett studiebesök som visade hur vätgaskedjor kan etableras samt ett webinarium som illustrerade dagens befintliga och framtidens planerade och möjliga vätgastillämpningar i Kalmar län.
- Intervjuer med kommuner, företag och andra intressenter för att identifiera befintliga och potentiella aktörer samt vilka branscher i länet som är intressanta för vätgas.
- Litteraturstudier för att kartlägga pågående och planerade initiativ samt teknikutveckling. Omvärldsbevakningen syftade även till att hitta möjliga tillämpningar i Kalmar län, vilka förutsättningar som krävs samt vilka stöd som finns att tillgå vid nyetablering av verksamhet eller inköp av utrustning. Regler och tillstånd kring vätgashantering behandlas även i kortfattad form.
- Utifrån ovanstående arbetspaket har Kalmar läns potential analyserats.

## 3. Inledning och bakgrund

Kalmar län har antagit målet att vara en fossilbränslefri region 2030. I klimat- och energistrategin för länet nämns bland annat följande med koppling till vätgas och den roll den kan spela då fossila bränslen fasas ut [1]:

- Det finns potential för flera industriprocesser att ersätta fossila bränslen med förnybar vätgas, biogas och förnybar biomassa.
- För att minska tillverkningsindustrins utsläpp krävs en kombination av elektrifiering och ökad användning av vätgas, biomassa och biogas.
- För att transporter ska räknas som fossilfria krävs att drivmedlet ger en utsläppsminskning på 70% jämfört med fossila alternativ, vilket i dagsläget innebär el, vätgas, biogas, HVO, FAME eller ED95.

I många områden, inte minst i Kalmar län, har det skett en stor utbyggnad av biogasanvändning och framställning. Det senare främst genom rötning av organiskt material. Biogasen har många fördelar, exempelvis att röttingsrester kan bidra till ett cirkulär system och minskar jordbrukssektorns klimatavtryck, men även nackdelar som att den vid förbränning avger koldioxid. Biogasen räknas dock som förnybar då koldioxiden antas upptas av biomassa i samma takt som den frigörs. Vätgas bör ses som ett komplement snarare än en ersättare för biogas. Biogasproduktion har kapacitetsbegränsningar beroende av tillgänglig råvara och biogas kan framöver antas användas för att ersätta naturgas i allt högre grad. Ytterligare en aspekt är att vätgas har tillkommande tillämpningsområden relativt biogas. Bio- och vätgasens framtid är även avhängig utvecklingen i vår omvärld, där Sverige som litet land är beroende av politiska beslut och utveckling av teknik i Europa och resten av världen. För närvarande sker mycket teknikutveckling inom främst vätgasområdet.

I likhet med utrullning av många andra tekniska lösningar som förutsätter infrastruktur och stora initiala investeringar bedöms vätgas i många fall kräva olika typer av stöd innan den blir fullt ut kommersiellt mogen. Det är dock viktigt att vara kritisk och granska var vätgas resursmässigt gör störst nytta och var andra tekniska lösningar är bättre lämpade. Exempelvis tappar man effektivitet vid energiomvandlingar från el till vätgas i elektrolysör respektive tillbaka till el i bränslecell (mestadels som värme), varför det resursmässigt är smartare med direktelektrifiering där så är möjligt.

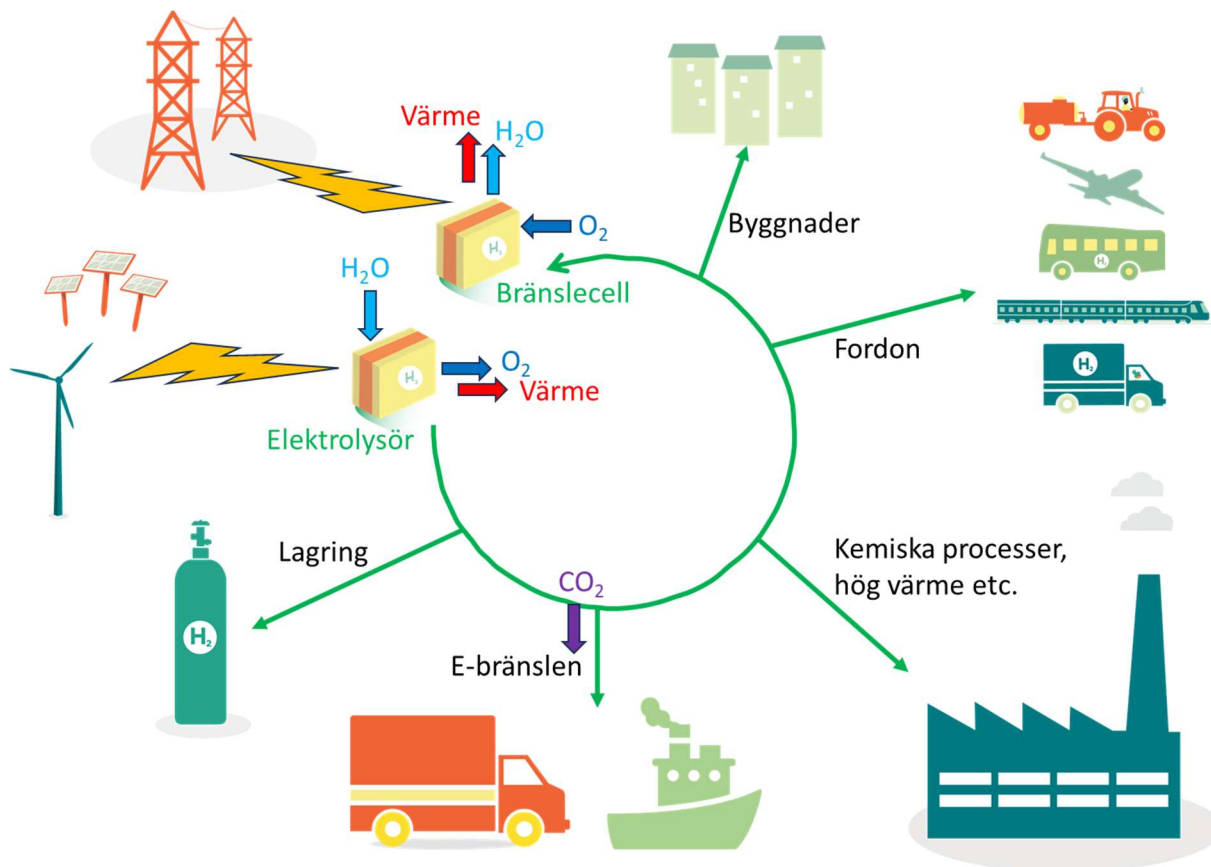
Vätgasen har många möjligheter inom exempelvis industrin, men har även ett flertal utmaningar såsom brist på infrastruktur/distribution och tillgängliga fordon.

### 3.1. Vätgas

Väte är det lättaste grundämnet och mycket vanligt förekommande, dock sällan som ren vätgas. Det är i stället bundet till andra grundämnena, exempelvis syre i vatten eller kol i metan. Vätgas är doftlös, färglös och mycket lättantändlig.

Vätgas har många användningsområden, se Figur 1, men orsaken till att den fått mycket uppmärksamhet i Sverige de senaste åren är framför allt olika industriella tillämpningar där användning av fossila insatsvaror och koldioxidutsläpp förväntas reduceras kraftigt. Exempelvis vid stålframställning eller genom användning av så kallade e-bränslen. Det pågår även utveckling inom

fordonsbranschen och energilagring vid intermittent elproduktion, områden där vätgas kan spela en avgörande roll, men där kommersialisering i stor skala dröjer något.



Figur 1: Illustration av vätgasens användningsområden. Vätgas har en mängd olika tillämpningsområden såsom energilagring, som insatsvara i industriella processer, förbränning och omvandling till el.

2020 publicerade EU en vätgasstrategi för ett klimatneutralt Europa där man prioriterar att utveckla förnybar vätgas, huvudsakligen baserad på vind- och solenergi. Fram till 2024 är EU:s mål att det finns elektrolysanläggningar på minst 6 GW. Behovet av infrastruktur för transport av vätgas antas vara begränsat då produktion inledningsvis kommer ske nära användning, men planering av infrastruktur för överföring på medellånga avstånd samt ett stornät bör inledas.

2030 ser EU elektrolysanläggningar på totalt 40 GW. I denna fas kommer det uppstå behov av vätgasinfrastruktur i hela EU. Det befintliga naturgasnätet skulle delvis kunna anpassas för transport av förnybar vätgas långa sträckor och utveckling av storskaliga anläggningar för lagring av vätgas skulle bli nödvändig.

I en tredje fas, 2030–2050, förväntas tekniken för förnybar vätgas vara mogen för storskalig utbyggnad som når alla sektorer där det är svårt att fasa ut fossila bränslen och där andra alternativ kan vara praktiskt omöjliga eller betydligt dyrare.

Europa är helt beroende av import av många råvaror som används i bränsleceller och elektrolysteknik (till exempel metaller i platinagruppen), vilket för övrigt även gäller många råvaror som används i teknik för förnybar elproduktion. [2]

Energimyndigheten har under 2023 fått i uppdrag av regeringen att samordna arbetet med vätgas i Sverige. Redan 2021 presenterade myndigheten ett förslag till nationell vätgasstrategi som anger



konkreta mål för 2030 och 2045. I denna anges att det ska skapas förutsättningar för 5 GW<sub>el</sub> elektrolysörkapacitet 2030 och ytterligare 10 GW<sub>el</sub> 2045, d.v.s. totalt 15 GW<sub>el</sub>. Det innebär ett ökat elbehov på upp till 126 TWh per år, att jämföra med dagens totala elproduktion som 2021 var 165 TWh [3]. Den ökade vätgasanvändningen väntas framför allt ske inom industrin, men med tiden förutses även fordonstillämpningar öka [4].

Marknaden för förnybar/fossilfri vätgas befinner sig fortfarande i ett mycket tidigt skede av sin utvecklingskurva, där de flesta vätgasprojekten befinner sig i planerings- eller teststadier. Internationellt ligger Kina långt framme och har 93,7 % respektive 99,7 % av världsmarknaden för vätgasdrivna bussar och medelstora lastbilar. Kina är även världsledande vad gäller antalet patent på vätgas- och bränslecellsteknologier. Kommersialiseringen av bränslecellsfordon i Kina drar nytta av skattereduktion och betydande subventioner samtidigt som regeringen accelererar vätgasinfrastrukturprojekt med hjälp av subventioner, bidrag och andra incitament. [5]

Utveckling av ny energiteknik som vätgas är komplicerat och dyrt. För att på sikt uppnå konkurrenskraftiga priser krävs långsiktiga åtaganden från beslutsfattare och långsiktiga investeringar för att säkra volymproduktion. [5]

## 3.2. Aktörer Kalmar län

### Befintliga

#### OKG

Kärnkraftverket i Oskarshamn, OKG, har sedan 1992 egen vätgasproduktion. Vätgasen används till kylning genom att den cirkulerar inuti generatoren och sedan leds över till en värmeväxlare där den lämnar ifrån sig värmen. Vätgas är ett lämpligt kylmedel i generatorer då den leder värme bra, bättre än luft, och kan ta emot mycket spillvärme utan att temperaturen i gasen stiger mycket. Efter att två av totalt tre reaktorer avvecklats finns numera en överkapacitet och vätgas säljs därför till den externa marknaden. Elektrolysör: 0,7 MW. [6] [7]

### På gång

#### Tankställe Oskarshamn

Energimyndigheten har via Regionala elektrifieringspiloter beviljat företaget PS Energi stöd för uppförande av en vätgasmack i Oskarshamn som väntas bli klar under 2024 [8].

#### Tankställe Kalmar

Naturvårdsverket har via Klimatklivet beviljat ReH2 (numera Hydri) stöd för uppförande av 24 vätgasmackar, av vilka en ska uppföras i Kalmar. Stationerna byggs 2024–25 [9].

### Potentiella

Det finns inte mycket kemi- eller stålindustri i Kalmar län, de sektorer som hittills kommit längst inom vätgastillämpningar, men däremot finns det andra branscher som skulle kunna vara intressanta.

Det finns gott om åkerier och offentliga aktörer som har transporter i närområdena kring de tankställen som är på väg att uppföras och som skulle kunna använda vätgasfordon. Vidare sker mycket utveckling kopplat till sjöfart, vilket på sikt kan komma att påverka länets hamnar, men vätgas kommer inledningsvis mest beröra större hamnar.

Det projekteras många vind- och solkraftparker och beroende på el- och vätgasmarknadernas framtida utveckling kan vätgasproduktion/-lager bli intressant vid dessa etableringar. Vätgas kan även omvandlas till ammoniak eller andra e-bränslen för fordonstillämpningar, konstgödselframställning med mera.

Vätgas kan användas i olika värmestillämpningar, antingen i förbränningsprocesser i exempelvis glasugnar eller vid gjuterier, men även den värme som bildas vid elektrolys/vätgastillverkning kan tillvaratas. Denna restvärme skulle bland annat kunna användas i fjärrvärmenät som komplement eller alternativ till konventionella fjärrvärmepannor.

Vätgaslager kan användas i beredskapssyfte för att via gasturbin eller bränslecell framställa el vid störningar i elnätet.

## 4. Litteraturstudie

### 4.1. Produktion

I Sverige används ungefär 180 000 ton vätgas per år (cirka 6 TWh). Gasen framställs huvudsakligen genom reformering av naturgas (67 %). Näst största källan är industriella restströmmar, medan knappt tre procent produceras genom elektrolys. [10]

Vätgas förväntas framöver användas inom nya områden, mestadels i industriprocesser som ersättning för fossila bränslen, men även inom transportsektorn. Den vätgas som tillkommer antas produceras genom elektrolys, vilket kräver stora mängder el. Den elektrifiering som pågår bedöms leda till att Sveriges elförbrukning kan fördubblas till år 2045, från dagens cirka 140 TWh per år till 280 TWh per år. Merparten av ökningen, cirka 60–70%, antas vara vätgasproduktion. [11]

Det finns i dagsläget inga officiella planer på storskalig vätgasproduktion i Kalmar län, men i närområdet, strax söder om Blekinge, projekteras storskalig havsbaserad vindkraft och vätgasproduktion, upp till ca 225 000 ton/år [12].

#### Teknik

Genom **reforming** kan vätgas framställas från kolvätebaserade bränslen som natur- eller biogas, och är vanligt vid till exempel raffinaderier. Processen kräver hög temperatur och närvaro av metallbaserad katalysator. Vattenånga reagerar med metan och bildar koldioxid och vätgas. Verkningsgrad beror på om värmen som bildas tas tillvara och varierar därmed mellan 55–80%. [13]

**Förgasning** är en termokemisk process som omvandlar fasta eller flytande bränslen till en gas med högt energiinnehåll, så kallad syntesgas, som bland annat innehåller metan, vätgas och kolmonoxid. Ren vätgas fås genom olika omvandlingssteg varvid även koldioxid och vatten bildas. [13]

Vid **elektrolys** används elektricitet för att spjälka vattenmolekyler till syre och vätgas. Spjälkningen avger värme och verkningsgraden beror på om värmen tillvaratas. Det finns tre olika tekniker: alkalisk elektrolys (AEC), PEM-elektrolys (PEMEC) och fastoxid-elektrolys (SOEC), se även Tabell 1 nedan. För varje kilo vätgas som framställs går det åt cirka 50 kWh el och 9 kilo vatten [11].



Teknik	AEC	PEMEC	SOEC
Kritiskt material	Små mängder sällsynta jordartsmetaller	Iridium, rutenium, platina	Små mängder sällsynta jordartsmetaller
Temperatur	20–80° C	20–200° C	500–1000° C
Elektrisk effektivitet	65–85%	59–70%	Upp till 100%
Teknikmognadsgrad	Kommersiell sedan mitten av 1900-talet	Kommersiell senaste 5–10 åren	Ny på marknaden, senaste 1–2 åren
Fördelar	<ul style="list-style-type: none"><li>• Låg inköpskostnad</li><li>• Relativt stabil</li><li>• Hög teknikmognadsgrad</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kompakt design</li><li>• H<sub>2</sub> med hög renhet</li><li>• Snabbstartad och -reglerad</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hög effektivitet</li><li>• Lågt energikrav</li><li>• Även syngasproduktion</li></ul>
Utmaningar	<ul style="list-style-type: none"><li>• Högkorrosiv elektrolyt</li><li>• Blandning av syrgas och vätgas</li><li>• Långsam dynamik</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dyra katalysatorer, ädelmetaller</li><li>• Dyra polymermembran</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mekaniskt mindre stabila elektroder</li><li>• Säkerhetsrisker med försegling</li><li>• Livslängd</li></ul>

Tabell 1: Olika elektrolystekniker och deras egenskaper [14]

Vätgas uppstår även som biprodukt vid olika industriella processer såsom exempelvis klortillverkning och det finns forskningsprojekt kring framställning av vätgas med hjälp av cyanobakterier, artificiell fotosyntes med mera [13].

Reformering av fossilgas (naturgas) är vanlig på kontinenten, men är inte aktuell för Kalmar län, där utbyggnad med största sannolikhet kommer ske med hjälp av elektrolysörer. Dels för att det är ett fossilt bränsle och processen orsakar stora koldioxidutsläpp, vilket rimmar illa med regionens klimatambitioner, dels för att det inte finns någon infrastruktur kring naturgas i länet. Det gäller även för den stora expansion som förutspås för industriell vätgasanvändning.

## Ekonomi och miljö

Elpriset utgör den största kostnaden vid produktion av vätgas med elektrolys och förbättrad verkningsgrad hos elektrolysörer har endast marginell inverkan på produktionskostnaden. För att få låg energiförbrukning används katalytiskt aktiva elektroder. I alkaliska elektrolysörer används nickel, som har påtaglig miljöpåverkan vid utvinning. I PEM-elektrolysörer används ett antal ovanliga metaller med begränsad tillgång. En annan utmaning är att de membran som används måste ha speciella egenskaper, vilket gör att man använder så kallade "evighetskemikalier" liknande PFAS, vilka är svåra att bryta ner och kan ha skadliga effekter för både människor och miljö. Mycket forskning sker för att hitta mindre problematiska membranmaterial och destruktionsmetoder som inte ger farliga restprodukter. [11]

Även bränsleceller kan innehålla PFAS [15], vilket är viktigt att ta hänsyn till vid val av tekniska lösningar och leverantörer av elektrolysörer och bränsleceller. Totalt PFAS-förbud är på gång inom EU och väntas träda i kraft tidigast 2025 [16].

Vid havsnära vätgasproduktion kan den syrgas som bildas användas för att syresätta havsbottnar [17]. Detta kan vara intressant för Östersjön.

Elektrolysörer använder mycket vatten, 9 kg vatten per kg producerad vätgas. Generellt är vattentillgången god i Sverige, men det finns platser där färskvatten är en bristvara. Avsaltning av havsvatten är ett alternativ, men är energikrävande och stora mängder salt måste hanteras. [11]

En elektrolysör är uppbyggd av stackar som degraderas över tid vilket resulterar i högre elförbrukning. Hur snabbt stackar degraderas beror på hur elektrolysören körs och vid vilken arbetstemperatur. Normalt behöver de bytas efter cirka 80 000–90 000 driftstimmar, vilket ungefär motsvarar 9–10 år. Kostnaden för ett stackbyte ligger på 20–40% av ursprunglig investeringskostnad. Elektrolysören i sig har en teknisk livslängd på 20–30 år. [18]

Ett sätt att öka intäkterna från en elektrolysör är att delta på en elsystemmarknad genom att reglera upp eller ner elektrolysörens effekt beroende på elsystemets status. Det kan vara en lokal kapacitetsmarknad eller Svenska kraftnäts stödtjänster för att stabilisera elnätets frekvens. Hur stora intäkter vätgasanläggningar kan få från stödtjänster beror dels på framtida ersättningsnivåer för stödtjänster, dels på anläggningens utformning och andra leveransbetingelser. [19]

### Inverkan på elsystemet

Kontinuerlig produktion av vätgas med el från nätet innebär att man utnyttjar elsystemet även vid risk för effektbrist och höga elpriser. För att undvika att producera när elpriset är högt kan man ha variabel produktion, men för att kunna leverera samma volym av vätgas måste man i så fall investera i överkapacitet i elektrolysör samt ett lager. Vill man helt eliminera påverkan på det omgivande elnätet kan man producera vätgas i ett isolerat nät med exempelvis vind- och/eller solkraft. Även detta alternativ kräver större investering i elektrolyskapacitet och lager om samma volym av vätgas ska levereras. Modellen medför dessutom att man troligen inte kan utnyttja tillgänglig elproduktion fullt ut då det skulle kräva än större elektrolysör-kapacitet. Med nuvarande och framtida förväntade priser är det svårt att få ett sådant alternativ att gå ihop ekonomiskt. [11]

## 4.2. Distribution

Vätgas har hög energitäthet per massenhet, men låg per volymenhet, varför det är vanligast att lagra och transportera vätgas i komprimerad eller flytande form. Då vätgasmolekylen är mycket liten ställer det höga krav på att material, skarvar etc. är täta, vilket gäller hela vägen från produktion, via distribution till användning. Förutom risk att tränga ut vid bristande täthet kan vätgas ge upphov till så kallad **vätgasförsprödning** som uppstår då vätgas tränger in i material och orsakar sprickbildning eller svaghet i materialet. När vätgas tränger in kan det ansamlas vid defekter eller spänningskoncentrationer, till exempel sprickor eller skarvar. Den ackumulerade vätgasen kan skapa höga inre tryck som i sin tur leder till sprickbildning och spricktillväxt. Vätgasförsprödning kan leda till brott eller påverka mekanisk hållfasthet.

Ju mer gasen **komprimeras**, desto mindre lagringsutrymme behövs, dock ökar energiförlusterna - 11% för 200 bar, 14% upp till 350 bar och 18% upp till 700 bar [13] - samtidigt som det ställs högre krav på lagringskärl. För lagring av gas används tuber eller tankar i stål, kolfiber eller andra material. För lagring av stora mängder lämpar sig exempelvis bergrum, vilket kan göras genom att det kläs med ett tätskikt [20].

Då vätgas kyls under  $-253^{\circ}\text{C}$  övergår den till **flytande** form, vilket både är mer lätthanterligt och energitätare än gas. För att tillverka flytande väte används kompressorer och värmeväxlare, men det pågår forskning kring att i stället använda magneter och på så sätt minska energiåtgång och därmed kostnaden samt möjliggöra mindre produktionsenheter. [21]

Ytterligare ett alternativ är **kemisk lagring**, antingen som metallhydrid, det vill säga en kemisk förening mellan väte och någon metall, eller som någon annan kemisk förening såsom ammoniak [22].

Vätgas kan transporteras i gasform under högt tryck (200–700 bar) i tankar, tuber eller gasflaskor med hjälp av lastbilar, tåg eller fartyg alternativt via rörledningssystem. Ytterligare en möjlighet är i flytande form i välisolerade kryptankar med hjälp av lämpligt fordon. Vätgas kan även omvandlas kemiskt till exempelvis ammoniak eller metanol före transport. Vilken alternativ som väljs beror på avstånd, volymer och vad gasen ska användas till. Ungefär 85% av all vätgas används lokalt där den framställs och resten transporteras med lastbil eller pipelines. För transporter mellan kontinenter är det kostnadseffektivare med fartygstransporter där vätgasen omvandlats till ammoniak. [11]

## Ledningsnät

Transport av vätgas via ledningar är kostnadseffektivt redan vid relativt små volymer. För att tillgodose industrins behov kommer det därför inledningsvis troligen byggas lokala nät, följt av regionala nät som kopplar samman de lokala och efter 2030 möjligen ett nationellt (och internationellt) stamnät. En sådan infrastruktur möjliggör också avlastning av flaskhalsar i elnätet genom att placering av elektrolysanläggningar kan optimeras relativt tillgänglig kraftproduktion och elnätskapacitet. [11]

En pipeline kan transportera mycket stora energimängder, varför det i vissa fall kan vara ett kostnadseffektivt alternativ jämfört med överföring via elsystemet från exempelvis havsbaserade vindkraftverk.

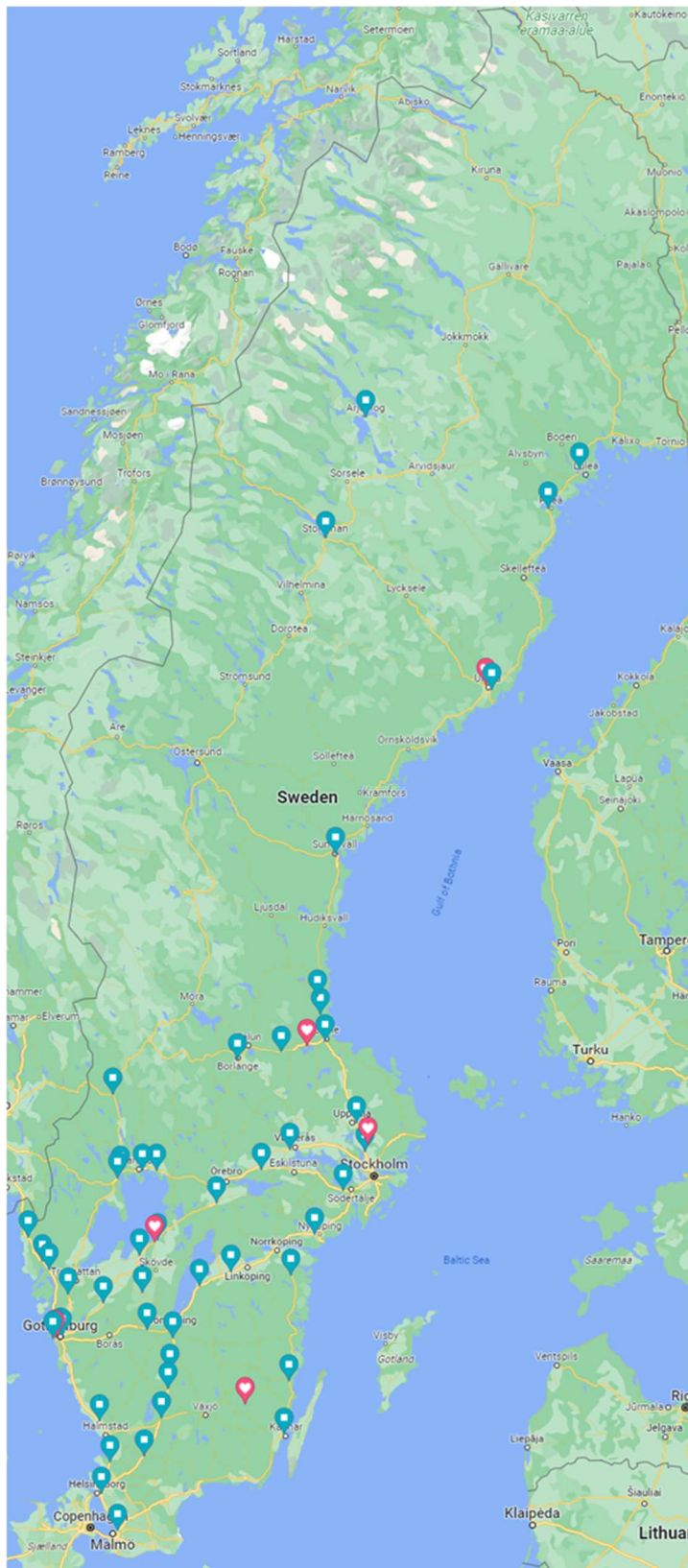
Kostnaden för att lägga en rörledning för vätgasdistribution styrs av markens beskaffenhet och värde, men ett rimligt antagande är att en pipeline kostar 10 miljoner kronor per kilometer. Avstånd och gasvolym har stor betydelse för vad gastransport via pipeline kostar. För att komma under 1 krona per kilo vätgas krävs att minst 4 000 kilo vätgas transporteras per dag. Det finns inga regler för koncession för vätgasledningar. [11]

Flera pipeline-projekt har lanserats de senaste åren, exempelvis:

- Nordic Hydrogen Route som ska knyta ihop producenter och användare längs Bottenviken och vidare till malmfälten, preliminärt från Örnsköldsvik till Kiruna och Vasa i Finland [23].
- Baltic Sea Hydrogen Collector som knyter ihop Sverige och Finland strax norr om Stockholm och som ska gå på Östersjöns botten via Åland, Gotland och Bornholm ner till Tyskland och längs vägen ansluta vätgasproduktion från havsbaserad vindkraft [24].
- European Hydrogen Backbone (nätverk av pipelines genom Europa)
- Tyska och norska aktörer har slutit avtal om vätgas-pipeline från Norge till Tyskland för både reformerad vätgas från norska naturgasfält (med koldioxidinfångning) och vätgas producerad från havsbaserad vindkraft i Norge och i Nordsjön längs pipelinen [25].

- Även Danmark och Tyskland planerar pipelines som ska transportera förnybar vätgas till Tyskland [26] [27].

## Tankställen



Principen för en tankstation är att vätgas lagras nära produktionen av vätgas, antingen vid 50 bar eller 200–350 bar. De högre trycken används om vätgasen ska distribueras till annan plats, annars nyttjas lågtryckslager vid tankstationen. Stationen kan ha en eller flera kompressorer som höjer trycket. Olika tryck behövs för olika fyllningar, där tomma tankar kräver ca. 200–350 bar, tankning av tunga fordon eller en halv tank i en personbil behöver ett lager på ca. 500–700 bar. För snabbtankning av personbilar behövs ett lager på ca. 850–1000 bar. Vätgas blir varm då den fylls från ett högre till ett lägre tryck, varför det behövs kylning i tankstationen, vanligtvis ner till  $-40^{\circ}\text{C}$ . Tungas fordon tankas vid 350 bar och personbilar vid 700 bar. [13]

Det finns i september 2023 sex publika tankstationer med vätgas i Sverige. Under de senaste åren har ytterligare ett stort antal etableringar beviljats stöd, se Figur 2, och fler kan tillkomma i kommande utlysningar. Om och när samtliga av de beviljade stationerna kommer vara i drift är okänt, men några är under uppförande och kommer troligen att öppna inom det närmsta året.

Det har inte gått att få fram aktuella priser för tankning.

Figur 2: Befintliga publika vätgastankstationer [121], röda punkter, samt vätgasstationer som beviljats stöd via Energimyndighetens Regionala elektrifieringspiloter [8], Naturvårdsverkets Klimatklivet [9] eller via EU i projektet Greater4H [122], blå punkter. Karta från Google Maps.

### 4.3. Användning

Vätgas är en energibärare med många tillämpningsområden, varav bränsleceller är ett. I bränsleceller framställs el från vätgas och syre. Elen kan användas för utmatning på elnätet, drivning av elmotor etc. Värt att ha i åtanke är dock att energiomvandlingar medför effektförluster, i fallet bränslecell vid framställning av vätgas (elektrolysör), vid kompression av gasen och slutligen då el skapas i bränslecellen. Direktelektrifiering är därför många gånger att föredra då så är möjligt, men vätgas kan vara ett bra alternativ inom områden som är svåra att elektrifiera på annat sätt.

I Sverige används ungefär 180 000 ton vätgas per år (cirka 6 TWh), främst i raffinaderier (72%) och som råvara inom kemisk industri (27%). Resten (1%) utnyttjas i metallurgiska processer eller som drivmedel. [10]

Vätgas är lättantändlig (4–77% luftinblandning), vilket gör att man ska ha respekt för potentiella risker. Samtidigt ska man veta att även acetylen, som används mycket inom exempelvis svetsning, har ett brett brännbarhetsområde (2,3–100%). [11]

Som kuriosa kan nämnas att NASA har använt flytande vätgas som raketbränsle sedan början av 1960-talet [28] och numera även jobbar med exempelvis bränsleceller i rymdfarkoster [29].

#### Fordon

Vätgas kan användas inom fordonssektorn på tre olika sätt:

- En **bränslecell** omvandlar vätgas till el som i sin tur driver fordonet. Det är denna tillämpning som oftast avses då man pratar om vätgasfordon och det bedrivs mycket forskning och utveckling. Bränsleceller kombineras med batterier för att klara varierande effektuttag.
- Vätgas kan användas som bränsle i en **förbränningsmotor**. Tillämpningarna är än så länge mycket begränsade men viss forskning pågår.
- **E-bränslen** framställs genom att vätgas kombineras med koldioxid eller kväve. Koldioxiden kan komma från rökgaser, produktion av flytande biodrivmedel, uppgradering av biogas eller fångas in från luft. Kväve tas från luften. Elektrobränslen är särskilt intressanta för sektorer som sjöfart och flyg, vilka är svåra att elektrifiera samt att flytande bränslen med hög energitäthet är svåra att ersätta. De största utmaningarna för e-bränslen är låg energiomvandlingseffektivitet och höga produktionskostnader. [11]

Vätgasanvändning liknar på många sätt dagens bensin- och diesellösningar, då tankning sker vid stationer, fordon kan köras lika långa sträckor som motsvarande fossildrivna och tanktiden är jämförbar. [5]

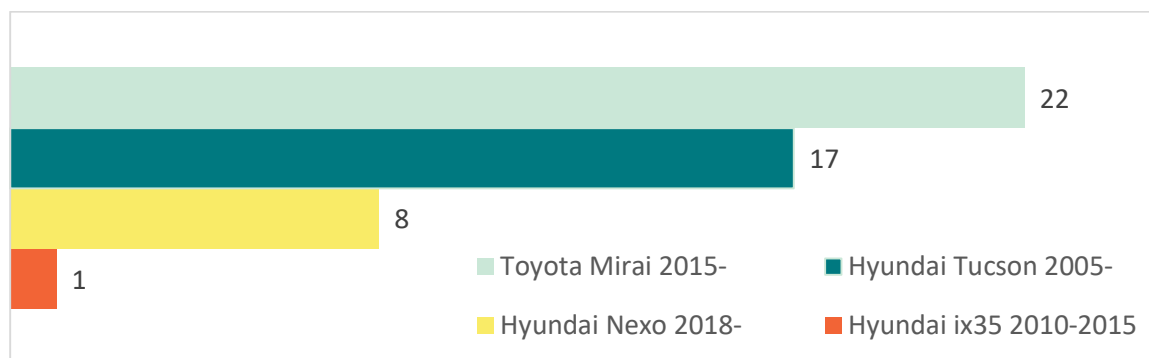
#### Personbilar

Det finns två märken som säljer serietillverkade vätgasbilar på den svenska marknaden, Hyundai och Toyota, medan Honda har utgått på grund av låga försäljningssiffror [30] [31] [32]. Ett flertal personbilstillverkare jobbar med konceptet och fler modeller kommer troligen lanseras om marknaden växer [33]. Det finns endast ett fåtal vätgasbilar registrerade i Sverige, se Tabell 2 och Figur 3 nedan.



	Nyregistrerade	Importerade	Exporterade	Skrotade	Skillnad relativt föregående år
2016	19	0	0	0	19
2017	14	0	0	1	13
2018	5	0	0	0	5
2019	2	0	1	1	0
2020	5	0	1	3	1
2021	16	1	8	1	8
2022	2	0	3	3	-4
okt 2023	2	1	0	2	1
	65	2	13	11	

Tabell 2: Registrering av vätgasbilar i Sverige januari 2016–3 oktober 2023, källa: car.info



Figur 3: Fabrikat och modeller på registrerade vätgasbilar i Sverige 3 oktober 2023, källa: car.info

### Lastbilar

Ett antal tillverkare säljer bränslecellsdrivna dragbilar och lastbilar, exempelvis King Long [34] och Hyundai [35]. Flera andra har prototyper som testas på allmän väg såsom Mercedes-Benz [36] och Volvo [37]. De prototyper som provkörs väntas finnas på marknaden under andra halvan av 2020-talet. Scania har tagit fram kundfordon som drivs med bränsleceller, exempelvis sopbilar i Göteborg [38]. Under 2024–25 kommer Scania göra sina första kommersiella leveranser av vätgaslastbilar till kunder i Schweiz [39], men satsar, med hänvisning till mindre energiförluster, huvudsakligen på batteridrift.

En batterielektrisk lastbil har med dagens teknik betydligt tyngre drivlina än motsvarande dieseldrivna eller vätgaselektriska motsvarigheter (6–7 ton jämfört med 3 resp. 2 ton). Många bedömer dock att teknikutvecklingen kommer reducera batterivikten, vilket skulle innebära att vätgasdrivna bränslecellsfordon inte har någon markant viktfördel framför batterifordon efter 2030. Fler batterier kan ge samma räckvidd som för bränslecellsvarianten, men då till priset av ytterligare minskad kapacitet för nyttolast. För fordon som används i flerskift, det vill säga utnyttjas över stor del av dygnet, överväger fördelen att bränslecellsfordon behöver kortare tid för tankning jämfört med laddning av batterifordon. [10]

### Bussar

Bussar i linjetrafik står för förutsägbar avsättning av den energibärare de använder, ofta över längre tid knuten till upphandlingar. Det ger offentliga aktörer en unik möjlighet att främja utbyggnad av

infrastruktur och stötta aktörer i olika delar av värdekedjan. Detta gäller även vätgas, där dessutom verksamheter som inte är knutna till transportsektorn skulle kunna dra nytta av en stärkt ställning för vätgas i allmänhet.

Sedan flera år har Solaris bussar som drivs med bränsleceller på marknaden [40] och nyligen började Mercedes-Benz serietillverka batteribussar med längre räckvidd tack vare en bränslecell [41].

### Tåg

Alstom tillverkar sedan flera år vätgaståg för användning på sträckor som saknar el och därför trafikeras med dieselfordon [42]. Även Stadler [43] säljer vätgaståg och CAF [44], Talgo [45] samt Siemens [46] håller på med utveckling.

Bland de icke-elektrifierade tåglinjerna i Sverige är det Inlandsbanan som kommit längst med utredning av vätgaståg [47], bl.a. har Alstom demonstrerat ett av sina tåg på delar av sträckan [48].

### Anläggningsmaskiner och specialfordon

Det finns några tillverkare som satsat på vätgas, exempelvis King Long med sin dumper [49].

Flera tillverkare har tagit fram prototyper av anläggningsmaskiner som drivs av bränsleceller som exempelvis Hyundais grävmaskin [50] och gaffeltruck [51] samt Volvo CE:s dumper [52]. För anläggningsmaskiner kan batterielektrisk drift vara en utmaning då det oftast saknas infrastruktur för laddning på anläggningsiter.

Som en del av sin satsning på att bli fossilfria konverterar Stockholms Hamnar tillsammans med samarbetspartners arbetsfordon till vätgasdrift, först ut en roro-traktor som väntas tas i drift under hösten 2023 [53]. En tillverkare som sedan flera år testat ett likande koncept är Terberg [54].

### Lantbruk

Det finns utmaningar med batteridrift av lantbruksmaskiner då de ofta använder hög effekt, vilket kräver stor batterikapacitet och därmed ökad tyngd relativt dagens maskiner. Tyngre traktorer leder till att jorden packas hårdare, vilket gör den mer svårarbetad, torrare och att det växer sämre. [55] Används istället vätgas och bränsleceller kan fordonens vikt hållas nere.

Flera traktortillverkare jobbar med vätgasprototyper, exempelvis Fendt [56], New Holland [57] och Kubota [58]. Bränslecellstraktorer uppskattas bli ca 40% dyrare än konventionella dieseltraktorer [58]. Det finns kommersiellt tillgängliga varianter av traktorer som blandar vätgas med diesel i förbränningsmotorer, så som New Holland [59]. Det finns även företag som konverterar traktorer till olika typer av e-bränslen, exempelvis ammoniak.

Bränsleceller är konstruerade för att användas under konstant last och uppnår maximal effektivitet när de inte körs på full effekt. För att optimera en vätgasdriven traktor är det därför lämpligt att installera en sekundärkälla, exempelvis batterier, som tillför energi vid hög last eller snabb acceleration samt tillvaratar energi vid retardation. Dieseldrivna traktorer har ofta formpressade tankar i oregelbundna former. Det är inte möjligt för vätgastankar eftersom det leder till höga tryck i hörn och kanter, vilket ökar risk för läckage. Antingen kan flera små fast installerade vätgastankar användas eller en utbytbar kasset. Kassetter kan placeras i frontlyften i stället för en frontvikt eller direkt på redskapet som används och byts enkelt vid tankning, varför tankning kan ske under lång tid med lågt tryck. [60]

## Sjöfart

I Norge godkändes under mars 2023 en färja som drivs av flytande vätgas för trafik [61]. I Sverige jobbar Gotlandsbolaget med att ta fram vätgasdrivna färjor med förhoppningen att de ska tas i drift senast 2030 [62].

Kopplat till den maritima sektorn har byggandet av en e-bränslefabrik nyligen påbörjats i Örnsköldsvik. Där ska fartygsbränsle framställas genom att man tillverkar vätgas som sedan via en kemisk reaktion med koldioxid som fångats in från ett kraftvärmeverk omvandlas till e-metanol [63]. Metanol är flytande i rumstemperatur, vilket gör den enklare att använda än vätgas då den kan hanteras på liknande sätt som dagens fossila fartygsbränslen. Även ammoniak är en vätska som kan framställas från vätgas genom att tillföra kväve och är ett bränsle många tror kommer vara tongivande inom sjöfarten inom några decennier [64].

## Flyg

Flera av de stora aktörerna inom flygbranschen jobbar med vätgas, exempelvis har flygbolaget Lufthansa ett projekt där man utvecklar underhåll och andra markbundna processer kring flytande vätgas i en labbmiljö kring ett trafikflygplan som tagits ur drift [65]. Flygplanstillverkaren Airbus jobbar med ett koncept där vätgas används i gasturbiner kombinerat med bränsleceller [66].

Rolls-Royce utvecklar vätgas som flygbränsle för medelstora plan med krav på längre räckvidd än vad batteridrift klarar och tror att lösningar med bränsleceller kan finnas i slutet av det här decenniet. På sikt anses flytande vätgas ha större potential, framför allt vid längre flygningar. [67]

Flygbolaget Bra, Skellefteå flygplats, Skellefteå Kraft samt flygplansutvecklaren Zeroavia samarbetar för vätgaselektriska flyg i kommersiell trafik från Skellefteå med start 2026–27. [68]

## Industriella processer

Redan idag används stora mängder vätgas som förbrukningsvara för diverse processer inom industrin, exempelvis inom petrokemi eller ammoniakframställning [69].

Användning inom industriella processer väntas även framöver bli mycket större än inom fordonstrafik och då inte enbart inom befintliga tillämpningar utan framför allt nya. I Norrbotten planeras exempelvis omfattande användning av vätgas för fossilfri framställning av järnsvamp som ersättning för dagens användning av stenkolk vid reduktion av järnmalm. Ett företag planerar att starta konstgödsel- och ammoniakfabrik i Luleå där ammoniak ska framställas med hjälp av vätgas som produceras i fabriken [70].

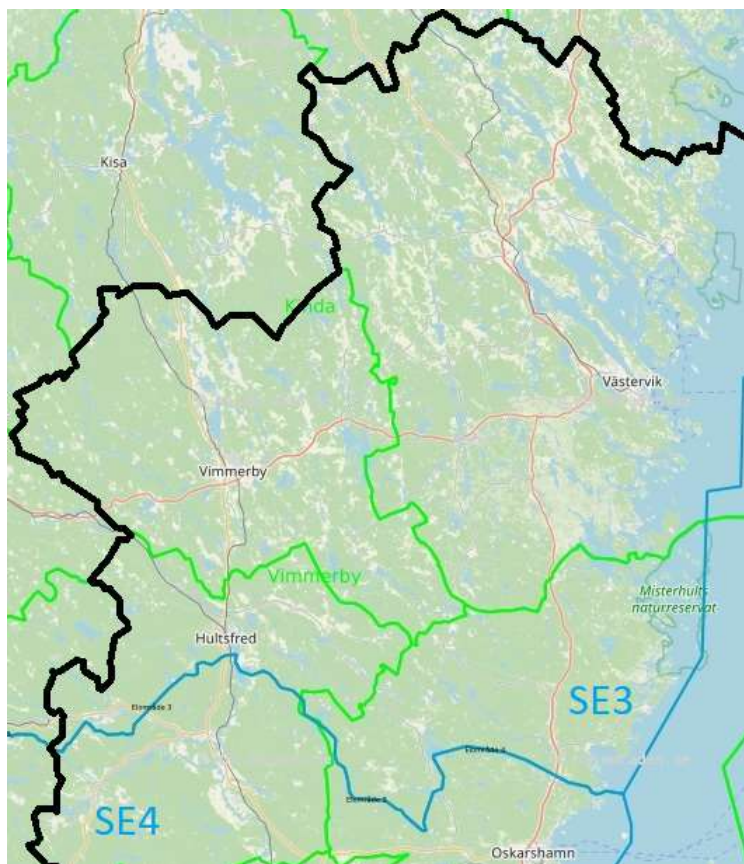
Delar av kemiindustrin använder fossil metanol i sina processer. Genom att använda infångad koldioxid, olika restströmmar, biogas samt vätgas ska Perstorp i Stenungsund framställa förnybar metanol och på så sätt minska sin klimatpåverkan. [71]

## Energilager/elgenerering

De senaste åren har elmarknaden varit turbulent med extremt volatila priser. I framför allt södra delen av landet har det periodvis varit historiskt höga priser samtidigt som marknaden allt oftare svänger över åt andra hållet och har mycket låga alternativt t.o.m. negativa priser. Det är normalt med svängningar beroende av tillgång och efterfrågan, vilket gör att det exempelvis oftare är billigare på natten då efterfrågan är lägre än då alla industrier drar igång en måndagsmorgon. Även tillgång

varierar ofta cykliskt beroende på exempelvis vattentillgång, vindar, revisionsavstängningar och haverier, men efter det ryska anfallskriget mot Ukraina har även det starka fossilgasberoendet inom energiförsörjningen blivit väldigt tydligt i framför allt Centraleuropa. Den snabbt påtvingade omställningen från rysk naturgas har periodvis påverkat även de svenska elpriserna, då vårt elsystem är sammankopplat med exempelvis det tyska och polska.

Södra Sverige är långt ifrån självförsörjande på elenergi, vilket gör området beroende av import från resten av landet eller via någon utlandsförbindelse. En omvärld med mer turbulent elmarknad har därför främst drabbat de sydligaste elområdena med stundtals mycket höga elpriser. Större delen av Kalmar län ligger i elområde SE4, den landsdel som historiskt haft allra högst priser, medan en mindre del ligger i SE3, se Figur 4, som har varit något mindre drabbat.



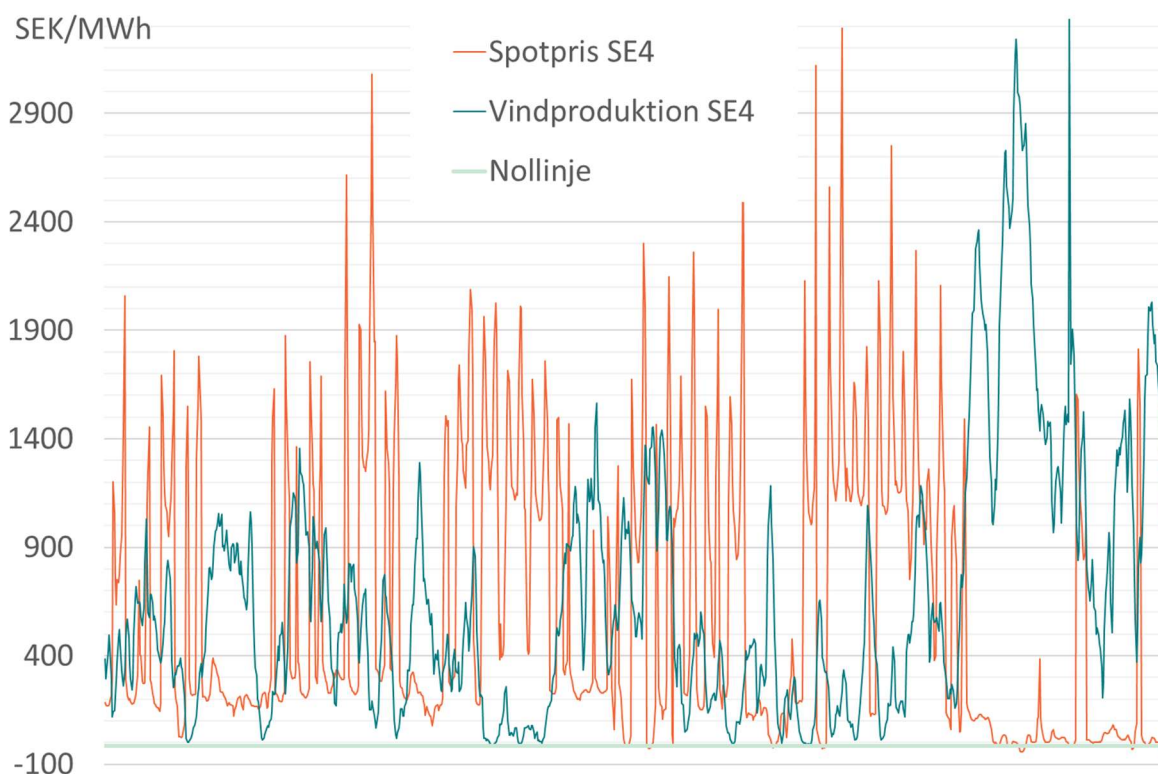
Figur 4: Delar av Kalmar län ligger i elområde SE3 – hela Västerviks och Vimmerby kommuner samt norra delarna av kommunerna Hultsfred och Oskarshamn. Karta nätområden.se

En parameter som tros påverka elpriset alltmer framöver är kraftig utbyggnad av väderberoende elproduktion. Det är sannolikt att bra produktionsförhållanden för sol- och vindkraft alltmer kommer sammanfalla med låga elpriser, något som gör att många exploitörer tittar på möjlighet till energilagring. Ett sätt att göra det är via vätgas, en energibärare som även kan nyttjas på andra sätt.

Vätgas har sämre verkningsgrad än batterier, men kan å andra sidan lagra större mängder energi under längre perioder. Batterier passar därmed bättre för kortvariga variationer, medan vätgas till exempel kan överbrygga vindkraftens svängningar i tidsperioder om veckor. [11]

I Figur 5 visas spotpris och vindkraftsproduktion i elområde SE4. Observera att spotpriser inte bara är beroende av utbud och efterfrågan i det specifika elområdet, utan även i sammankopplade

elområden samt aktuella överföringskapaciteter mellan elområdena. Ofta, men långt ifrån alltid, gäller att hög vindkraftsproduktion sammanfaller med låga elpriser. För att inte sälja till låga eller kanske t.o.m. negativa priser, skulle ett möjligt alternativ vara att producera vätgas. Det skulle kunna påverka lönsamheten för vindkraft på två sätt – dels minskar tillgänglig produktion på elmarknaden, vilket torde öka priser, dels kan vätgas produceras då elen är billig. Om detta blir en lönsam affär beror huvudsakligen på möjligheter att få avsättning för producerad vätgas samt drift- och investeringskostnader för vätgasproduktionen. Ytterligare ett alternativ är att producera el från vätgasen då elpriserna är högre. Den senare varianten förutsätter att det finns tillräckliga lager att tillvarata vätgasen och att det finns bränslecell för elproduktion, vilket förutsätter ytterligare investeringar och underhållskostnader.



Figur 5: Spotpris samt producerad vindkraft i elområde SE4 under perioden 2023-08-14 – 2023-09-25 [72] [73]

Både produktion av vätgas och produktion av el från vätgas medför förluster, den totala systemverkningsgraden är cirka 30% (högre om värme kan tillvaratas). Det innebär att elpriset måste variera med en faktor på minst tre enbart för att täcka den rörliga kostnaden om omvandlingen el- vätgas-el ska bli lönsam. För att täcka investerings- och underhållskostnader måste prisvariationerna vara betydligt större och beror på utnyttjandegrad för anläggningen. Är drifttiden 2000 timmar per år kan skillnaden i elpris in och priset för såld el behöva vara tiofaldig för att även täcka fasta kostnader. [11]

Vilka prisvariationer som kommer finnas på framtidens elmarknader är omöjligt att sia om, men klart är att det krävs noggranna analyser inför eventuella investeringar i energilager/elgenerering. Kan elen användas inom den egna verksamheten, exempelvis inom ett fabriksområde, kan kalkylen bli mer gynnsam då man kan räkna bort överföringsavgifter etc.

Vätgaslager skulle kunna användas i beredskapssyfte genom att generera el via gasturbiner eller bränsleceller. Gasturbiner, exempelvis de som ingår i Svenska kraftnäts störningsreserv, har

traditionellt körts på fossila bränslen, men det bedrivs forskning av bland annat Siemens på hur förnybara bränslen som vätgas kan användas i stället [74].

För att öka möjliga intäkter kan elproduktionen delta på en elsystemmarknad, antingen en lokal kapacitetsmarknad eller Svenska kraftnäts stödtjänster för att stabilisera elnätets frekvens. Hur stora intäkterna kan bli beror både på framtida ersättningsnivåer för stödtjänster samt på anläggningens utformning.

Ytterligare ett användningsområde för elproduktion från en bränslecell är laddning av fordon eller annan utrustning på platser där elnät saknas eller inte är dimensionerat för de stora belastningar som kan uppstå vid exempelvis en byggarbetsplats med många elfordon [75].

## Uppvärmning

Ovako i Hofors invigde under september 2023 en elektrolysanläggning som gör det möjligt att ersätta gasol med vätgas vid uppvärmning av stål inför valsning [76].

I stora delar av Europa är det vanligt att använda natur- eller stadsgas för uppvärmning inom industrisektorn och hushåll, medan det är mycket mer begränsat i Sverige. Vätgas kan injiceras i naturgasnätet vilket skulle ge avsättning för vätgas och sänka naturgasens klimatpåverkan [69]. I Sverige finns gasnät längs västkusten från Trelleborg till Stenungsund samt med en avgrening upp till Gislaved.

## Biprodukter

Vid elektrolys bildas, förutom vätgas, även värme och syre. Kan man tillvarata dessa flöden höjs anläggningens totala verkningsgrad. En idealisk placering av elektrolysörer är exempelvis i reningsverk där både spillvärme och syrgas kan nyttjas i behandlingsprocessen [77].

Var anläggningen befinner sig har betydelse för om det går att få avsättning för restflödena, vilket potentiellt kan öka intäkterna med i storleksordningen 5–10%. Dock förutsätter det kompletterande investeringar för exempelvis anslutning till ett fjärrvärmenät eller utrustning för omhändertagande och lagring av syrgas. [11]

### Värme

De elektrolysörer som är kommersiella idag håller en arbetstemperatur som är lägre än vad konventionella fjärrvärmenät kräver. Det kan ändå vara möjligt att nyttja värmen, exempelvis med hjälp av en värmepump. För att kunna leverera till ett fjärrvärmenät krävs att nätet ligger relativt nära, att anslutningsavgiften är gynnsam samt att det finns efterfrågan på tillkommande värme [10]. Värme kan även tillvaratas i exempelvis interna industriprocesser.

Karlstads Energi har långt framskridna planer på att lokalisera vätgastillverkning vid ett befintligt kraftvärmeverk för att kunna tillvarata restvärmen från elektrolysören i fjärrvärmenätet [78].

### Syrgas

För varje kilo väte som bildas i en elektrolysör, bildas även åtta kilo syre. Om vätgasproduktion via elektrolys växer kraftigt kommer mängden syrgas snabbt att överstiga efterfrågan. Syrgas framställs idag relativt enkelt på andra sätt än via elektrolys. [10] [77]

En viktig aspekt att ta hänsyn till är renhetsgraden, d.v.s. den faktiska halten syrgas, då det även kan förekomma en liten del vattenånga och vätgas. Vissa användningsområden kräver hög renhet och då måste syrgasen torkas vid lågt tryck för att sedan komprimeras, vilket är dyrt och kan vara komplicerat. [77]

Syrgas kan användas till [77]:

- Verkstadsindustri – svetsning och lödning
- Pappersindustri - delignifiering och blekning av massa
- Fiskodlingar - Syrgas kan förbättra lagertäthet, hålla djuren sjukdomsfria samt produktivitet och lönsamhet hög.
- Syresättning av havsbottnar för att motverka övergödning.
- Vattenreningsverk - Byter man från luft till syrgas och återanvänder syret går det åt mindre energi i avloppsreningsprocessen. Ytterligare fördel är att det krävs ett mindre gasflöde med ren syrgas, vilken minskar tiden för processen.
- Kraftvärmeverk - Ökad syrgashalt kan bidra till ökad verkningsgrad vid förbränning av avfall och bibränslen samt potentiellt effektivare koldioxidinfångning genom att rökgasen innehåller färre kväveföreningar. I befintliga pannor kan det vara klokt att tillföra syrgas till rökgasrecirkulation i en blandningskammare innan den går in i pannan för att undvika övertemperaturer.
- Vård - Syrgas är viktig inom vården och klassas som läkemedel, varför det krävs tillstånd för en anläggning som ska leverera medicinsk syrgas. Idag tillverkas medicinsk syrgas i Sverige genom luftseparering, vilket är en billigare teknik än elektrolys. För syrgas som används som läkemedel, medicinskt oxygen, finns särskilda standarder som specificerar syrgasens renhetsgrad samt hur den ska tillverkas och användas. Dessa standarder är för närvarande skrivna så att syrgas från elektrolys inte är tillåten för medicinskt bruk. För att leverera medicinskt oxygen krävs att anläggningen betalar för registrering av läkemedel samt löpande kostnader för tillverkningstillstånd.

#### 4.4. Kompletta vätgaskedja

Ibland används begreppet **vätgaskluster** eller **Hydrogen Valleys** om ett geografiskt område där vätgas används inom flera olika användningsområden och gärna täcker hela vätgaskedjan från produktion till slutlig användning. EU kommissionen har avsatt 200 miljoner Euro för att utveckla dessa genom ett "Clean Hydrogen Partnership" [79]. Genom lokal symbios kan man få bättre totalekonomi och lära av varandra samtidigt som satsningen stärks av att flera aktörer jobbar mot samma mål. Nedan görs en kort genomgång av ett urval svenska initiativ, från teoretiska studier till implementerade.

##### Skåne

Ett examensarbete som studerat olika kombinationer av sol- och vindkraft tillsammans med vätgasproduktion kom fram till att den mest ekonomiskt gynnsamma varianten var en anläggning där solcellerna matchar befintlig installerad vindkraftseffekt och där elektrolysören enbart körs med egenproducerad el, d.v.s. utan stöttning från det omgivande elnätet. Det bedöms även vara mer

lönsamt att sälja vätgasen till industrin än att etablera en vätgastankstation. Förutom olika storlekar på solcellspark studerades kontinuerlig vätgasproduktion, produktionsstopp under natten samt variabel produktion i ett off-grid nät. [18]

Vid gynnsamma väderförhållanden producerar hybridparken mer el än vad elektrolysören förbrukar, vilket gör att överskottsel kan säljas, dock troligen till lågt pris då elproduktionen kan vara hög i hela elområdet. Frågan om det är mer lönsamt att lagra denna el i ett batteri- eller vätgaslager i stället för att sälja till elnätet har inte utretts. [18]

## Falkenberg

En förstudie har undersökt förutsättningar för att etablera en vätgastankstation i Falkenberg nära motorväg E6/E20, där det dagligen passerar mycket tunga transporter. Befintlig gasinfrastruktur antas kunna användas för ytterligare vätgasdistribution och elnätskapaciteten i kommunen är förhållandevis god. Vätgas produceras från en planerad solcellspark i närområdet och inom tankstationens lokalisering för att undvika transport av vätgas. Spillvärme som produceras vid produktion av vätgas bedöms kunna ledas till det befintliga fjärrvärmenätet och fungera som stöd vid framledning av fjärrvärme. Syrgas är billigt att framställa och det finns därför inga planer på att samla in den för vidare användning. [80]

Det har inte gjorts någon analys av faktiska kostnader för etablering eller antagande kring avsättning för vätgasen. Inte heller finns några avsiktsförklaringar kring införskaffande av fordon från privata eller offentliga aktörer.

## Trelleborg

I Trelleborg samarbetar hamnen, bostads- och energibolaget samt kommunen sedan några år för att ta fram en långsiktig plan för att dra maximal nytta av vätgastekniken. Satsningen är starkt kopplad till den tunga rullande trafik som kommer in i Trelleborgs Hamn [81]. Det skissas bland annat på nya energilösningar i ett planerat fastighetsområde där exempelvis lagring av överskottsel i vätgas ingår [82]. Kommunen satsar inte bara på personbilar, utan har även tecknat avtal om vätgasdriven skolbuss och sopbil [83]. Tankstation börjar byggas hösten 2023 [81]. Kommunen ingår även i det EU-finansierade Nordic Hydrogen Corridor-projektet. [84]

## Mariestad

Under namnet ElectriVillage driver Mariestads kommun sedan flera år olika projekt för att minska klimatpåverkan [85]. Två av initiativen har bäring mot vätgas:

- Solcellsdriven vätgastankstation som öppnades 2019. Enligt car.info fanns 2023-09-22 tolv vätgasfordon registrerade i Mariestads kommun.
- Förskola som ska bli självförsörjande gällande el och värme med hjälp av solceller, batterier, elektrolysör, vätgaslager och bränslecell

## Sjöbo

Kommunala Sjöbohem har investerat 8 miljoner i ett system som består av solceller, ett mindre vindkraftverk, batteri, elektrolysör, kompressor, vätgaslager och bränslecell som försörjer den egna kontorsfastigheten. Spillvärme från elektrolysör och bränslecell gör att fjärrvärmebehovet minskar. Elöverskott säljs på nätet, lagras i batteri eller säsongslagras i vätgas. Under 2023 räknar man med att



utöka systemet med ytterligare elektrolysör- och lagringskapacitet för att kunna tanka företagets planerade vätgasfordon. [86]

## Älghult

I Uppvidinge kommun har några företagare bildat ett gemensamt bolag för att via el från ett eget befintligt vindkraftverk tillverka och distribuera vätgas. Elektrolysör och tankställe färdigställdes under sommaren 2023 och initialt är tanken att det är företagets egna fordon som kommer använda vätgasen. [87]



Bild 1: Invigning av vätgastankstation i Älghult. Foto: Karoline Alvånger, Energikontor Syd

## 4.5. Stödformer

Då nya tekniska lösningar ska etableras är det vanligt med olika typer av stöd eller subventioner för att investeringar ska göras och utveckling ske till dess att tekniken har nått kommersiell mognad.

I en rapport från VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, nämns bland annat att politiken genom utformning av exempelvis subventioner, energiskatter, utsläppsskatter och -avgifter, kilometerskatter, miljöavgifter etc. påverkar förutsättningar för tekniklösningar såsom vätgas. Det ligger utanför denna rapports fokus att gräva djupare i dessa frågor, men som för alla andra energifrågor är det viktigt att det finns långsiktiga spelregler så att investerare, företag med flera intressenter vet vad man har att förhålla sig till. [5]

För att ta del av stöd gäller det många gånger att hitta ett program/en finansiär som har en aktuell utlysning som matchar. Nedan beskrivs ett antal olika möjligheter som kommer finnas tillgängliga alternativt har varit det tidigare under 2023. Ofta saknas information om kommande utlysningar och nya möjligheter att söka stöd kan tillkomma, så det är en god idé att kontinuerligt hålla sig informerad om vad som är på gång, exempelvis via Energikontor Syds olika kanaler.

## Naturvårdsverket

- **Klimatklivet:** inom vätgasområdet ges stöd för investeringar i produktion, infrastruktur, lagring, transport, tankstationer för vätgas, fordon för transport på väg, järnväg, inre vattenvägar och sjötransport, konvertering till förnybar vätgas inom industrin och inlandshamnar. Stöd kan beviljas till företag, offentliga aktörer eller andra organisationer, dock ej privatpersoner. De åtgärder som beräknas ge störst minskning av växthusgaser per investerad krona får stöd. Senaste ansökningsomgången för Klimatklivet var 18–29/9 2023 och nästa väntas öppna i början av 2024. [88] [89]

### Tillväxtverket

- **Regionalfondsprogrammet för Småland och Öarna:** Senaste ansökningsomgången var 8/8–12/9 2023 och gällde projekt och förstudier inom energieffektivisering, smarta energisystem, smarta nät, smart lagring samt cirkulär och resurseffektiv ekonomi. Stödet utgick med max 40% och var riktat till organisationer som jobbar med små och medelstora företag, högskola och akademi samt offentlig sektor. [90]
- **Regionalt investeringsstöd:** I Kalmar län ingår kommunerna Emmaboda, Hultsfred, Högsby, Oskarshamn, Torsås och Västervik i stödområde 3. Där kan stöd beviljas till investeringar i materiella och immateriella tillgångar om verksamheten bedöms bli lönsam och varaktig. Det görs individuell prövning av stödets storlek med hänsyn till investeringens betydelse för samhället och tillväxt samt typ av investering, investeringskostnad, typ av företag samt var i landet företaget verkar. Ansökan sker löpande fram till 31/12 2026. [91]

### Energimyndigheten

- **Klimatpremien:** finns för vissa miljölastbilar, elektriska arbetsmaskiner och miljöarbetsmaskiner med max 20% av miljöfordonets inköpspris. Stödet kan sökas av företag, kommuner och regioner och det beräknas finnas fram t.o.m. 2024. Inskickade ansökningar behandlas löpande. [92]
- **Industriklivet:** har tre delområden - processindustrins utsläpp av växthusgaser, negativa utsläpp samt strategiskt viktiga insatser inom industrin. Inom det första området ingår inte konventionella bränslebyten. Vätgastillämpningar faller troligen främst inom område tre. Stödnivå beroende av typ av projekt och organisation samt företagsstorlek. Stöd kan ges för investeringar. Ansökan är kontinuerligt öppen. [93]
- **Industrins energi- och klimatomställning (2019–26):** fokuserar på nettonollutsläpp från industrins processer, energi- och resurseffektiva produktionsprocesser samt hållbart företagande inom industrin [94]. Senaste utlysningen stängde 30/8 2023 [95].
- **FFI Nollutsläpp:** stödjer forsknings- och utvecklingsaktiviteter med hög innovationsgrad som bidrar till att utveckla och integrera fossilfria och elektrifierade fordon med ladd- och tankinfrastruktur och användare. Programmet tar emot ansökningar kontinuerligt, senaste ansökningsfönster t.o.m. 5/9 2023. Stödnivå beroende av typ av projekt och organisation samt företagsstorlek. [96]
- **Elbusspremie:** för kollektivtrafik. Premien kan betalas ut till batterielektriska bussar, laddhybrider, bränslecellsbusar och trådbussar för mer än 14 passagerare. För kollektivtrafikmyndighet, kommun eller aktiebolag med befogenhet att upphandla kollektivtrafik är premien 20% av elbussens inköpspris, dock max 100% av mellanskillnaden

mellan inköpspris för elbussen och närmast jämförbara dieselbuss. För trafikföretag utgör premien 40% av mellanskillnaden mellan en elbuss och närmast jämförbara dieselbuss. [97]

- **Regionala elektrifieringspiloter:** stödjer elektrifiering av godstransporter. Senaste utlysningen stängde 15/9 2023 och var inriktad på publik snabbbladdning av tunga fordon, men tidigare har stöd getts även till vätgastankstationer. Utlysningar planerade hösten 2023 och våren 2024 med delvis andra inriktningar än senaste utlysningen. [98]
- **Hållbara transportsystem** (2023–28), minst en utlysning per år [99]. Tidigare utlysning Bidra till utvecklingen av framtidens resilienta och fossilfria transportsystem stängde 3/10 2023 [100]
- **CETPartnership:** är en del av EU:s ramprogram och består av flera moduler, där exempelvis Hydrogen and renewable fuels kan passa för vätgastillämpningar. Årliga utlysningar t.o.m. 2027, ansökningsfönster 2023 är 20/9–22/11. [101]
- **EU:s innovationsfond:** för demonstration av mycket innovativa tekniker, processer eller produkter som är tillräckligt mogna och som har betydande potential att minska utsläpp av växthusgaser. Ca två utlysningar per år fram till 2030, senaste stängde 19/9 2023. [102] [103]
- Kommande utlysningar: **Pilot- och demonstrationsprojekt**, december 2023 [104]
- Tidigare utlysning: Fossilfritt flyg för framtiden, stängde 4/10 2023 [105]

## Europeiska kommissionen

- **Clean Hydrogen Partnership:** ska bidra till EU:s gröna giv och vätgasstrategi och har haft fyra utlysningar sedan 2019, den senaste stängde 18/4 2023. [106]
- **Europeisk vätgasbank:** stödjer producenter av förnybar vätgas och subventionerar via en fast premie per kg producerad vätgas under högst tio års drift. Minsta nyinstallerad elektrolysörkapacitet 5 MW på en plats. Den första auktionen planeras att öppna den 23/11 2023. [107]

## Trafikverket

- **Fonden för ett sammanlänkat Europa (Connecting Europe Facility, CEF):** för projekt med koppling till de transeuropeiska nätverken för transporter (TEN-T) och omfattar områdena transport, digital och energi, där Trafikverket hanterar transportområdet. Senaste utlysning Militär mobilitet stängde 21/9 2023. [108]

## 4.6. Tillstånd och regler

### Skatter

El för framställning av vätgas genom elektrolys beskattas inte enligt Energiskattedirektivet. Inte heller el som produceras och förbrukas på fartyg eller annat transportmedel är skattepliktig, vilket innebär att el som tillverkas av vätgas i en bränslecell i ett fordon är skattefri. På motsvarande sätt är vätgas som används för uppvärmningsändamål inom tillverkningsindustri inte skattepliktig, då vätgas inte är en energiprodukt enligt Energiskattedirektivet. [11]

## Tillstånd

Vätgasproduktion och -tankstation anses vara miljöfarlig verksamhet och tillståndsprövas enligt miljöbalken och miljöprövningsförordningen. Det behövs även tillstånd enligt Sevesolagen och hos den lokala Räddningstjänsten samt att riskanalys och riskutredning måste göras. Länsstyrelsen beslutar om verksamheten medför betydande miljöpåverkan och en miljökonsekvensutredning (MKB) behöver göras. MSB har ett flertal föreskrifter för hur olika brandfarliga och explosiva ämnen ska hanteras. Beroende på mängd och om det vatten som behövs för vätgasproduktion tas från mark, sjö eller vattendrag i närområdet, kan det krävas tillstånd eller anmälan. Det saknas idag tydliga branschstandarder för uppförande av vätgasanläggningar. En standard för vätgas håller på att tas fram och även riktlinjer för hanteringen av gasen. [18]

## 5. Kartläggning och externa aktiviteter

### 5.1. Intervjustudie

**Antal intervjuer:** 39, varav befintliga eller potentiella producenter 12, distributörer 4, och/eller användare 14, övriga 19. Majoriteten av de intervjuade aktörerna är verksamma i Kalmar län, men även några intressanta företag utanför länet har kontaktats som goda exempel.

**Metod:** Ett stort antal aktörer kontaktades via e-post. De som var intresserade av att medverka fick innan intervjuerna, som genomfördes digitalt via Teams, frågeformulär samt mer information om studien. Totalt kontaktades 62 aktörer.

De aktörer som kontaktades var:

- Näringslivskontor i samtliga kommuner i Kalmar län, har kännedom om lokalt näringsliv och kunde i vissa fall tipsa om aktörer
- Vindkraftexploatörer med projekt i Kalmar län
- Kärnkraftverket OKG, befintlig vätgasaktör i Kalmar län
- Företag som jobbar med etablering av vätgastankstationer eller andra vätgastillämpningar
- Företag i Kalmar län som visat intresse för energifrågor eller som har bedömts intressanta av energikontoret, aktuell kommun eller annan intervjuad aktör. Exempel på branscher: lantbruk, livsmedel, tillverkningsindustri, gjuterier, glas, fordonstillverkning, avfallshantering
- Räddningstjänster, har kännedom om tillståndspliktiga verksamheter
- Ett urval åkerier, huvudparten kontaktades via ett parallellt projekt som utfördes av Energifordon Sverige
- Kalmar Länstrafik (Region Kalmar)

#### Gemensamt

Ett flertal av de aktörer som funderar på vätgasinvesteringar anger att det är nödvändigt att de beviljas någon typ av stöd för att de ska gå vidare med sin planering.

Många anser att det är nödvändigt att vätgas är förnybar, medan andra fokuserar på att den är fossilfri. Endast i undantagsfall har det angetts att vätgasens framställningsmetod/ursprung saknar betydelse.

De möjligheter som aktörerna ser med vätgas är som fossilfria fordonsbränslen - antingen i bränsleceller eller som beståndsdel i e-bränsle, inom industriella processer, inom energilagring för att öka självförsörjningsgrad och/eller bidra till balans i elnätet (stödtjänster), restflöden i form av värme och syrgas eller som ersättning till fossila gaser. På fordonssidan nämns ofta tunga vägtransporter, men det ses även möjligheter inom andra segment såsom marina sektorn, flyg och icke vägbundna tunga fordon. Vad gäller energilagring råder viss oenighet kring lönsamhet och systemnytta, främst

på grund av dålig verkningsgrad. Några aktörer lyfter frågan kring resiliens, det vill säga förmåga att hantera störningar och då specifikt i elförsörjningen, samt möjligheter kring vätgas kopplat till krissituationer.

Som främsta utmaningar för vätgas nämns

- bristfälliga regelverk
- den enorma mängd el som krävs om alla planerade industriella vätgassatsningar genomförs
- avsaknad av långsiktiga beslut inom energisektorn med förutsägbara villkor
- kunskapsbrist hos allmänhet samt offentliga myndigheter som beviljar tillstånd
- dålig verkningsgrad
- prisbilden nu samt osäkerhet kring kostnader i framtiden
- få tunga fordon på marknaden och avsaknad av infrastruktur för distribution

Några aktörer tar även upp säkerhetsfrågor samt att små bakslag kan ge stora konsekvenser via stor spridning i media.

För att vätgas ska få genomslag i Kalmar län pekar aktörerna på faktorer som att man kan knyta ihop lokala kluster med komplett värdekedja från produktion till användning där även sidoflöden som vatten, värme och syre tillvaratas. Andra viktiga pusselbitar kan vara politisk vilja och att den tar sig konkreta uttryck som exempelvis investeringar i den offentliga fordonsflottan. Man anger även att det är viktigt med information till företag och andra intressenter om vätgasens möjligheter, ekonomiska stöd tills dess att vätgasmarknaden mognat samt ekonomiska kalkyler för investeringar. För energikrävande verksamheter pekas specifikt på att det måste finnas tillgång till vätgas och att den har konkurrenskraftigt pris. Ytterligare ett argument som framförs är att fossila alternativ måste göras dyrare. Som med all ny teknik måste det finnas ekonomiska incitament för att byta till exempelvis vätgasfordon. Det måste dessutom vara smidigt och det behöver finnas tillräckligt med tankställen.

## Producenter

Det finns en befintlig producent i länet sedan flera decennier (kärnkraft) som tillverkar vätgas för egen användning, men som numera har överskott och även säljer externt. Ytterligare en tillkommer i samband med tankstationsetablering och där sker vätgasproduktion huvudsakligen via egen vindkraft. Bland potentiella vätgasproducenter finns ett intresse hos vindkraftexploatörer, men först i ett senare skede när teknik och marknad mognat. Högst prioriterat är att få tillstånd och att bygga vindkraftverk. Det finns även företag som funderar på att producera vätgas från el producerad med egna solceller, där några ser en möjlighet att lagra energi i vätgas för att använda då den egna elproduktionen inte täcker behoven eller då elpriset är högt. Andra användningsområden som nämns av dessa företag är att köra egna fordon på den producerade vätgasen eller att använda vätgas i uppvärmningssyfte.

Bland dem som redan är igång alternativt har projekterat vätgastillverkning vill inte någon ange produktionspris. En aktör nämner som målbild att kund betalar 50 kr/kg vid tankning, vilket denna aktör anser förutsätter storskalig framställning. Idag säljs vätgas vid pump för 90–160 kr/kg i Sverige. Ett pris som troligen är subventionerat och inte motsvarar dagens produktionspriser.

## Distributörer

Två aktörer har fått stöd för etablering av vätgastankställen i Kalmar län, en aktör i Oskarshamn via Elektrifieringspilot (klart under 2023) och en i Kalmar via Klimatklivet (dröjer troligen ytterligare

något år). Förstudien har intervjuat ytterligare en aktör som har fått stöd för tankställen på andra orter i landet, men som är intresserad av att söka fler och då eventuellt även i Kalmar län. Den senare aktören nämner även att de gärna bygger en vätgasmack om det finns användare som förbinder sig att tillsammans tanka 250 kg/dygn, motsvarande 5–6 lastbilar alternativt 15–20 bussar. Då personbilar generellt rullar betydligt färre mil än exempelvis bussar eller lastbilar krävs avsevärt många fler för att få täckning för ett tankställe relativt tunga fordon.

Etableringen i Oskarshamn kommer sälja vätgas som producerats av utomstående tillverkare på annan plats. I Kalmar kommer delar av vätgasen tillverkas lokalt via egen vindkraft och egen elektrolysör och resten, åtminstone initialt, transporteras dit. Generellt är man intresserade av korta transportvägar för vätgas som köps in.

Ingen distributör vill/kan ange pris vid tankning, men en aktör anser att ett attraktivt pris skulle vara 60–70 kr/kg för att vara jämförbart med andra bränslen på marknaden.

## Användare

Kärnkraftverket OKG har sedan det byggdes använt vätgas för kylning av generatorer.

Aktörer planerar att använda vätgas i företagets egen fordonssflotta, som energilager för att jämna ut produktion från solceller eller som bränsle i uppvärmningsprocesser. Ett företag har även planer på att tillvarata värme och syre som bildas som biprodukter vid den egna elektrolysören för användning i produktionsprocesser.

Förstudien har inte kunnat få fram vad användare betalar för vätgas.

## Kommuner och region

Det finns en stor spridning i kunskap och få har kommit i kontakt med vätgasfrågor. En kommun har aktivt jobbat med frågan i en intern förstudie kring lokal produktion av vätgas samt etablering av ett tankställe. En kommun väckte frågan om spillvärme från vätgasproduktion skulle kunna driva ett nytt litet fjärrvärmenät.

Kalmar Länstrafik har utrett länets oelektrifierade tågbanor, se avsnitt 6.1 Fordon nedan, där vätgas fanns med som ett alternativ som valdes bort.

## Räddningstjänst

Räddningstjänsten är tillstånds- och tillsynsmyndighet för förvaring av brandfarlig gas. Viss mängd brandfarliga varor får hanteras utan tillstånd (ca 60 kg gasol i villa), vilket gör att det kan finnas intresse av att hålla sig under gränsvärden om det i framtiden blir aktuellt med vätgaslager vid bostäder.

Räddningstjänsten påpekar att vätgas har ett stort brännbarhetsområde och är lättantändligt, vilket medför större risker vid lagring och hantering. Vid exempelvis en trafikolycka blir riskområdet större vid läckage av gas som man inte ser jämfört med vätska.

## Övriga

Det finns ett fåtal aktörer som inte specifikt är intresserade av att använda vätgas, men som ser att restprodukterna värme och syrgas, som uppstår vid vätgastillverkning, är intressanta för deras verksamhet. Det kan exempelvis handla om livsmedelstillverkning. Det har även föreslagits att

företag som använder mycket värme, såsom sågverk som torkar timmer, skulle kunna vara möjliga användare av spillvärme från elektrolysör. En aktör nämner möjligheten att omvandla mellan biogas och vätgas beroende på marknadsförutsättningar för respektive gas.

## 5.2. Event

### Studiebesök med seminarium

När: 2023-05-22

Var: Älghult, Uppvidinge kommun

Antal deltagare: 39 på plats, 1 föredragshållare via länk

Innehåll:

- Mariestads kommun, pionjärer inom energiområdet med både tankställe och förskola med vätgas, berättade om varför de som offentlig aktör valt att satsa på energiomställning samt vad de dragit för lärdomar.
- Uppvidinge Vätgas, lokala entreprenörer som satsar på hela värdekedjan från vindkraftverk, via produktion och tankning, till användning av vätgas i företagens fordon, berättade om sin satsning samt visade elektrolysör och tankställe.



*Bild 2: Företagarna bakom vätgassatsningen i Uppvidinge kommun. Foto: Johanna Wallin, Energikontor Syd*

### Webbinarium

När: 2023-10-03

Var: Teams (digitalt)

Antal deltagare: 70 inklusive föredragshållare

Innehåll:

- Kärnkraftverket OKG berättade om vätgasproduktion och -användning.
- Fordonstillverkaren Scania beskrev framtiden för vätgas i tunga fordon.
- Avfalls- och återvinningsföretaget Renova delgav erfarenheter av vätgas- och batterifordon.
- Energikontor Syd redovisade projektresultat från denna förstudie.
- Miljöfordon Sverige berättade om gröna energigaser för tunga transporter.
- Åbro Bryggeri pratade om sina planer kring vätgasdriven produktion och distribution.
- Systemintegratören Euromekanik beskrev hur de jobbar med vätgas till tankstationer och industri.





## 6. Potential i Kalmar län

### 6.1. Fordon/tankställen

Som nämnts tidigare innebär energiomvandlingar förluster och totalverkningsgraden vid konvertering el-vätgas-el är betydligt sämre än om lagring kan ske i batterier. Vad gäller fordonsutbud, teknisk mognad och ladd-/tankinfrastruktur ligger marknaden för batterielektriska fordon längre fram inom samtliga segment jämfört med bränslecellselektriska motsvarigheter. Vätgas kan dock vara intressant för tillämpningar där direktelektrifiering är svår att åstadkomma. Det gäller framför allt tunga fordon då (dagens) batteriteknik ger kortare räckvidd, är tyngre och därmed begränsar tillgänglig nyttolast samt kräver längre tid för laddning/tankning. Det senare kan vara ett problem för fordon som i princip körs dygnet runt.

#### Kollektivtrafik

##### Bussar

För aktuella upphandlingar av linjetrafik med buss och serviceresor har Region Kalmar utvärderat tillgång till fordon och energislag och bedömt att vätgas inte är ett alternativ. Däremot kan det bli en del batterifordon, då de klarar aktuella distanser. Om 10 år, inför nästa upphandling, kan läget vara annorlunda avseende vilka tekniker som bedöms möjliga. [109]



##### Tåg

Kalmar och Jönköpings länstrafik har tillsammans utrett hur icke-elektrifierade tågbanor skulle kunna göras fossilfria [110]. I Kalmar län är det Stångådals- och Tjustbanan som trafikeras av dieseldrivna tåg, se Figur 6. Utredningen ledde till upphandling av tåg med dubbla driftsätt, el samt förbränningsmotor certifierad för HVO. På sikt kan förbränningsmotorn bytas ut mot batteripack. [109]

Det finns flera anledningar till att vätgas inte bedöms som lämpligt [109]:

- Både biogas och vätgas är explosiva gaser, varför det finns stränga **säkerhetsregler** kring tankning, service etc. Tankning med gas skulle kräva **ombyggnader av stationsområdena** i Kalmar och Linköping, då det krävs rejäla säkerhetsavstånd till elledningar som driver elektriska tåg. Tågbanor och stationsområden är normalt statlig infrastruktur och ledtider för infrastrukturåtgärder är decennielånga, om man lyckas få med en åtgärd i den nationella planen. Gasdrift av tågen skulle ha medfört **enorma infrastrukturkostnader** och det bedömdes mer prioriterat att driva andra frågor mot Trafikverket. Banorna har dessutom få resenärer.
- Gaståg kräver ombyggnad av tågdepåer där tågen repareras/servas då det krävs expansionsluckor i taken i händelse av en explosion.
- För lägre kostnader för upphandlingar, service och reservdelar är det viktigt att ha **så få tågtyper som möjligt**.

Region Kalmars tågbanor kan inte jämföras med Inlandsbanan, som har planer på vätgasdrift [47], då den senare har annan ägarstruktur med mer lokal rådgivning. Inlandsbanan kan också ha identifierat tankningsplatser där elledningar inte hänger över stationsområden. [109]



Figur 6: De icke-elektrifierade järnvägslinjerna Stångådals- och Tjustbanan, källa: [111]

Trafikverket genomför ett antal utredningar kopplade till Stångådals- och Tjustbanan, bland annat en nationell utredning kring dess funktion för regional utveckling som ska vara klar under våren 2024 [111]. I en skrivelse till Trafikverket i augusti 2023 pekar de berörda regionerna främst på att banorna måste vara driftsäkra samt att de måste anslutas till den framtida centralstationen i Linköping [112].

### Flyg

En utredning har gjorts om vätgasanvändning vid Kalmar Öland Airport. Rapporten tar upp elförsörjning för vätgasproduktion, nödvändig infrastruktur och hur stora mängder som kan komma att behövas på flygplatsen, dock behandlas exempelvis inte teknisk mognad för vätgasflygplan i utredningen. [113]

### Tankställen

Två tankstationer är på gång i länet, i Oskarshamn och Kalmar, samtidigt som efterfrågan ännu inte kommit igång. Beroende på hur marknaden för vätgasfordon utvecklas kan det på sikt bli aktuellt med fler etableringar. Ett sätt att accelerera utvecklingen är om ett eller flera åkerier/företag och/eller kommuner/andra offentliga aktörer är villiga att vara föregångare och köpa in vätgasfordon antingen nära någon av de stödbeviljade mackarna eller helt ny etablering som på så sätt skulle få viss garanterad avsättning, vilket underlättar en investering. Det är i princip omöjligt att göra en ekonomisk kalkyl för en sådan utveckling då den är starkt beroende av möjligheter till etableringsstöd, prisutveckling för elektrolysörer och tankstationsinfrastruktur liksom att det finns lämpliga fordon på marknaden och hur de är prissatta relativt alternativa fordonstyper.

## 6.2. Industriella processer

Med dagens teknik är de industriella processer som är intressanta för vätgas främst inom stål- och kemiindustri, sektorer som är mycket sparsamt representerade i Kalmar län.

## 6.3. Energilager

Det är svårt att veta om el-vätgas-el-omvandling, med vätgasproduktion vid låga elpriser och elgenerering vid högre priser, blir en lönsam affär i framtiden, då det är mycket starkt beroende av prisutveckling för ingående komponenter och elmarknadens volatilitet. Ur **beredskapssynpunkt** finns det dock lämpliga applikationer för vätgaslager, som exempelvis för att generera el till samhällsviktig verksamhet och lantbruk med djurbesättningar i händelse av störningar i den ordinarie elförsörjningen. Vad som är tekniskt och samhällsekonomisk mest fördelaktigt måste utredas i varje unikt fall.

## 6.4. Förbränning inom industrin

Vätgas i förbränningsprocesser är framför allt intressant för verksamheter som använder fossila bränslen, men kan även ersätta eller komplettera biogas. Speciellt intressant är vätgas för att det inte ger några koldioxidutsläpp. I Kalmar län finns ett antal branscher där vätgas skulle kunna vara intressant för att **ersätta gasol** såsom gjuterier och glasindustrin.

## 6.5. Komplet vätgaskedja

Ett lantbruk har visat intresse för att på den egna gården producera vätgas för användning i lantbruksfordon. Detta hade varit väldigt intressant att demonstrera, men kräver dels stora investeringar, men framför allt saknas ändamålsenliga fordon på marknaden. För att genomföra en sådan pilot krävs nära samarbete med exempelvis traktortillverkare som är intresserad av att testköra vätgasprototyp, vilket kan bli svårt då någon sådan tillverkare inte finns i landet.

Ett **lantbruk** som vill bli självförsörjande avseende gårdens el och vätgasdrivna traktorer får räkna med höga installationskostnader för elektrolysör, bränslecell och annan nödvändig utrustning. Även fordon förväntas vara dyrare. Positivt, förutom minskad miljöbelastning och självförsörjning, är att jordbruksfastigheter ofta har goda möjligheter till egen elproduktion och gott om plats för övriga nödvändiga installationer. Viktigt att ha med i planeringen är dock att gårdens vattenförbrukning kommer öka, framför allt under sommarhalvåret då traktorer körs mycket. Finns djurbesättning är det än mer angeläget att säkra tillräcklig vattentillgång.

En kommun planerar ett nytt fjärrvärmenät i ett mindre samhälle. I ett sådant fall skulle man kunna tänka sig att använda restvärme från vätgasproduktion, men man får lägre temperatur än vad som normalt används i fjärrvärmenät. Antingen kan man bygga ett lågtemperaturnät eller höja temperaturen, vilket exempelvis kan göras med värmepump eller förbränningspanna [114]. Det är enklare att integrera restvärme i ett befintligt nät som redan har en värmekälla och där restvärmen som uppstår vid vätgasproduktion blir ett komplement.

Det är bra att beakta restflöden då ny vätgasproduktion planeras för att höja systemnytta och lönsamhet.

## 7. Slutsats och diskussion

Vätgas ger möjligheter att minska fossilberoendet och öka både Sveriges och Kalmar läns självförsörjningsgrad inom energiområdet, men medför även nya utmaningar som måste adresseras. En sådan fråga är nationella säkerhetsaspekter vid storskalig etablering av vätgas och precis som inom elförsörjningen krävs särskilda överväganden kring exempelvis sekretess och skydd [5].

Den expansion som planeras inom el- och vätgassektorerna fram till 2045 är en av de största infrastruktursatsningar som någonsin gjorts i Sverige och förändrar drastiskt det svenska energisystemet [115].

### 7.1. Produktion

Svenskproducerad förnybar vätgas väntas stå för det mesta av landets behov, då den antas vara konkurrenskraftig relativt importerad vätgas. Det kan även vara möjligt att Sverige exporterar vätgas. Exempelvis kommer Tyskland behöva importera mycket innan den egna kapaciteten är utbyggd. En kraftig expansion av elektrolysrkapacitet sker 2035–40 då den stora omställningen inom stålindustrin väntas ske. Huvuddelen av vätgasproduktionen sker i norra delen av landet med lokal tillverkning nära regionala kluster av användare. [115]

### 7.2. Distribution

För att uppnå ett resurseffektivt vätgassystem bör distributionskedjor hållas så korta som möjligt, d.v.s. produktion sker så nära användning som möjligt. Vid storskalig produktion och användning kan det dock löna sig att bygga gasledningar, vilka även kan bidra till ökad redundans och lagerhållning.

För att marknaden för vätgasfordon ska komma igång är det nödvändigt att det finns tillräckligt med tankstationer anpassade till fordonens geografiska användningsområden.

### 7.3. Användningsområden

#### Fordon

Vid elektrifiering av fordon är det viktigt att ta hänsyn till att energiomvandlingar innebär förluster och totalverkningsgraden vid konvertering el-vätgas-el är betydligt lägre än om lagring kan ske i batterier. Vätgas kan dock vara intressant för vissa tillämpningar såsom **tunga fordon** där (dagens) batteriteknik ger kortare räckvidd, är tyngre och därmed begränsar tillgänglig nyttolast samt kräver längre tid för laddning/tankning. Det senare kan vara ett problem för fordon som i princip körs dygnet runt.

Inom **lantbruk** kan vätgas vara ett bättre alternativ vid elektrifiering än batterier då många maskiner dels kräver stor effekt, dels används under långa arbetspass, vilket skulle kräva stora och tunga batterier. Extra tyngd kan vara ett stort problem då det packar jorden, vilket gör den mer svårarbetad. Bränslecellsdrivna traktorer väntas komma ut på marknaden inom några år.

**Räddningstjänsten** har utmaningar kring elektrifiering av sina fordon, bl.a. för att de kan vara på uttryckning under långa perioder och för att larm kan komma direkt efter att fordon återvänt från föregående uttryckning. Att ladda fordon längre stunder kan därför vara svårt. [5]

Om vätgastankstationer blir mer allmänna och det finns lämpliga fordon tillgängliga skulle vätgasfordon kunna vara en möjlighet till elektrifiering. Givetvis krävs utredning av säkerhetsaspekter kring den typen av fordon vid exempelvis brandbekämpning.

### Industriella processer

Den stora användningen inom industrin förväntas i norra Sverige (stålindustri) samt kemiindustri längs västkusten. Ytterligare lokala tillämpningar är sannolika, men utgör då en mindre del av industrins totala förbrukning i landet.

### Energilager/generering

Med tanke på de stora energiförluster som sker vid omvandling el-vätgas-el är det svårt att se att investeringar i bränsleceller för att sälja el vid höga elpriser och/eller erbjuda elsystemtjänster vid effektbrist kan vara företagsekonomiskt lönsamma. För sådana tillämpningar finns mer effektiva lösningar.

Dock kan vätgaslager i kombination med bränsleceller/gasturbiner i allra högsta grad vara intressant sett ur ett **beredskap**sperspektiv.

Vätgasproducenter kan troligen delta på stödtjänstmarknader både enklare och mer ekonomiskt fördelaktigt genom att reglera ner vätgasproduktion då elsystemet är i ett ansträngt läge snarare än att producera el från vätgas i en bristsituation.

### Förbränning inom industrin

Ett mycket intressant användningsområde för vätgas är för att **ersätta fossila gaser** såsom gasol.

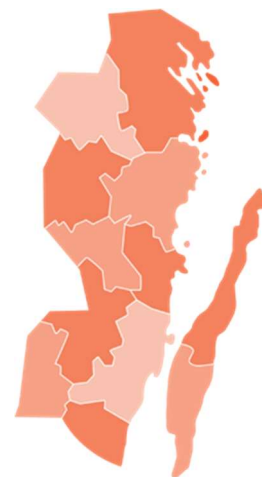
### Biprodukter

Systemnyttan av vätgas kan ökas om man **tillvaratar** de **biflöden** som uppstår, värme och syrgas, vilket kan ske i exempelvis vattenreningsverk eller en fiskodling. Det borde även vara intressant för fjärrvärmeföretag att undersöka vätgasproduktion i egen eller annan aktörs regi och användning av den värme som uppstår i fjärrvärm nätet. Initialt som komplement till befintliga värmeverk, men på sikt då verken uttrangeras kanske som basvärmekälla. Hur framtidens energipolitik kommer att se ut är svårt att förutse, men med fossilfri vätgasframställning står man väl rustad då vätgas inte orsakar några koldioxidutsläpp och därmed har låg klimatpåverkan.

## 7.4. Diskussion Kalmar län

I och med att det kommer öppnas två nya vätgastankstationer i Kalmar län skulle åkerier, offentliga aktörer och andra intressenter kunna börja köra **vätgasfordon i närtrafik** vid dessa etableringar. För att det ska bli verklighet krävs dock vilja att satsa och vara föregångare samt troligen även möjlighet till stöd för att kunna köpa in fordon. I takt med att infrastrukturen för vätgastankställen byggs ut i landet ökar möjligheterna även för fjärrtrafik.

Det säkerhetspolitiska läget och samhällets förmåga att hantera kriser uppmärksammas allt mer och ett sätt att **stärka beredskapen** för samhällsviktiga verksamheter kan vara att använda vätgas och bränsleceller/gasturbiner i händelse av störningar i elförsörjningen.



Kommuner och regionen kan utreda vilka behov som finns inom de egna verksamheterna och om detta skulle vara en bra lösning.

Flera industrier använder fossila bränslen såsom gasol i sin verksamhet. I många fall kan det vara möjligt att helt **ersätta** alternativt blanda ut **gasolen** med vätgas.

Allt pekar på att det i framtiden kommer framställas mycket vätgas via elektrolys. Vid val av lokalisering av elektrolysörer är det lämpligt att beakta **synergieffekter** och sträva efter att tillvarata biflöden. Kan exempelvis restvärme tas tillvara i ett fjärrvärmenät höjs både totalverkningsgraden och lönsamheten.

## 7.5. Genomförandeprojekt

### Industriell tillämpning

Det finns flera företag i Kalmar län som använder fossila bränslen för olika uppvärmningssyften, exempelvis i glashyttornas invärmningsugnar eller på vissa gjuterier. Höga energipriser i kombination med att flertalet företag vill fasa ut fossila bränslen gör att man undersöker alternativ till gasol. Går det att byta till el gör man helst det av kostnadsskäl, bättre verkningsgrad och för att det är enklare att hantera än gas. För vissa tillämpningar krävs dock öppen låga för att uppnå rätt egenskaper i processen och då kan vätgas vara ett intressant alternativ till gasol. Produktion av vätgasen skulle lämpligen kunna ske med hjälp av lokal förnyelsebar el från vind och/eller sol.

Det finns dock viss tveksamhet hos glasbruk då det saknas bred erfarenhet från användning av vätgas och det är oklart hur glasets egenskaper påverkas. Samtidigt antas det ge nya möjligheter då vätgas brinner med varmare låga. Det har inte gått att identifiera något bruk som vill ta täten, utan man vill gärna avvakta att utvecklingen kommer längre samt att det är en ekonomiskt hårt pressad bransch. Värt att nämna är dock att Orrefors Kosta Bodas glasbruk i Kosta använder inköpt vätgas i några av sina processer sedan ca 20 år.

### Beräkningsexempel

Då det finns många osäkerhetsfaktorer kopplade till vätgasframställning och -användning på glasbruk görs ett förenklat räkneexempel då ett mindre bruks gasolförbrukning och -kostnader jämförs med vilket pris de kan betala för inköpt vätgas för att alternativen ska vara ekonomiskt jämförbara om man inte tar med investeringar som krävs för bränslekonvertering. Observera att eventuella framtida höjningar av beskattning av fossila bränslen eller företagets vilja/krav att bli fossilfria inte vägts in.

Kostnaden för gasol baseras på en mindre hyttas inköp och hyreskostnader för gasolfaskor under 2022. Utifrån totala kostnader och förbrukning har en kostnad per kg beräknats, se fetmarkerad text på raden gasol i Tabell 3.

Kostnad för inköp av vätgas är mycket osäker då det inte finns någon offentlig statistik och den därmed är beroende av de avtal företaget kan sluta. I beräkningsexemplet har ansatts 60 kr/kg baserat på uppgift om att det kostar 40–60 kr/kg att producera vätgas med elektrolys [116]. Utifrån det antagna kilopriset och den årliga förbrukningen, omräknad baserat på vätgasens högre energidensitet, har årskostnad beräknats för vätgasanvändning, se fetmarkerad text på raden vätgas i Tabell 3.

	Värmevärde [kWh/kg] (LHV) [117] [118]	kg/år	Kostnad/kg [116]	Årskostnad	Lika årskostnad	
<b>Gasol (propan 95)</b>	12,8617	34 860	<b>9,08 kr</b>	316 365 kr	9,08 kr	23,28 kr
<b>Vätgas</b>	33,1495	13 525	60,00 kr	<b>811 521 kr</b>	23,39 kr	60,00 kr

Tabell 3: Jämförelse mellan energigaskostnader för ett litet glasbruk att använda gasol respektive vätgas.

Som framgår av räkneexemplet ovan finns det i dagsläget inget ekonomiskt incitament för glasbruket att gå över till vätgas. Observera även att byte av energigas skulle medföra investeringar för att anpassa kringutrustning såsom brännare, rörledningar etc. För att årskostnaden för gas ska hamna på samma nivå krävs antingen att vätgasen kommer ner i pris eller att gasolen blir betydligt dyrare, se kursiverad text i Tabell 3.

Det är dock troligt att framtida priser för vätgas respektive gasol kommer vara mer lika, då elektrolysörtekniken utvecklas, vilket väntas sänka kostnaderna, samtidigt som det verkar troligt att fossila bränslen kommer beskattas eller på annat sätt bli dyrare att använda. Hur långt bort en sådan förändring ligger är omöjligt att veta. Även om/när prisskillnaderna minskar kommer företaget fortfarande behöva investera för konvertering av kringutrustning, en kostnad som kan vara svår att ta för ett mindre företag om det inte finns möjlighet till stöd.

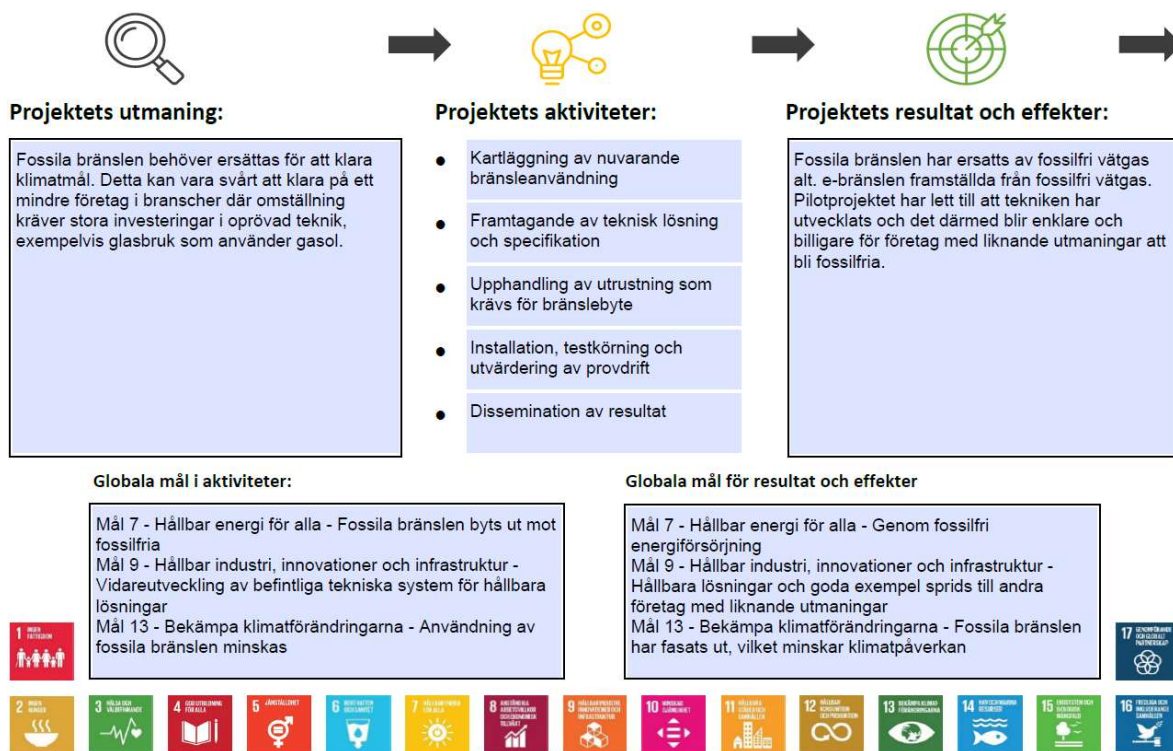
För denna typ av bränslekonvertering bör någon av följande stödformer vara relevanta, med reservation för utformning av framtida utlysningar, för mer detaljer se avsnitt 4.5 Stödformer.

- Klimatklivet
- Industriklivet
- Industrins energi- och klimatomställning
- CETPartnership
- Pilot- och demonstrationsprojekt

## 7.6. Fortsatt arbete

Ett sätt att komma vidare med planering och genomförande av en vätgastillämpning är att en enskild aktör, som har planer men inte nödvändiga resurser, går samman med andra intressenter, gärna för att bilda en komplett lokal/regional värdekedja. För att jobba med ansökan och få hjälp i planerings- och implementationsfaserna är det lämpligt att ta in en part med erfarenhet av projektansökningar, -framdrift och -redovisningar såsom Energikontor Syd. Genom energikontorets mångåriga erfarenhet och stora kontaktnät inom både offentlig förvaltning och näringslivet från det lokala till det europeiska perspektivet finns det goda möjligheter att ta del av tidigare erfarenheter, att nätverka och att sprida resultat för att på så vis bilda ringar på vattnet och accelerera vätgasutvecklingen.

Region Kalmar har i remissutgåvan av den regionala utvecklingsstrategin [119] pekat ut några prioriterade utvecklingsområden, varav hållbar samhällsplanering är ett. Inom detta område ingår målet att Kalmar län är en fossilbränslefri region 2030. Till detta mål kan man knyta utfasning av fossila bränslen inom industrin, förslagsvis det exempel som behandlas i avsnitt 7.4 Diskussion Kalmar län. Figur 7 nedan visar de utmaningar ett sådant projekt ämnar lösa, vilka aktiviteter som ingår, resultat samt vilka globala mål som adresseras.



Figur 7: Utkast till projekt där ett företag fasar ut användning av fossila bränslen i sin verksamhet, redovisat enligt Region Kalmars mall [120].



## 8. Källförteckning

- [1] Länsstyrelsen Kalmar län, "Klimat- och energistrategi f Kalmar län 2019-2023," 2019.
- [2] Europeiska kommissionen, "En vätgasstrategi för ett klimatneutralt Europa," 2020.
- [3] SCB, "Elproduktion och förbrukning i Sverige," 09 11 2022. [Online]. Available: <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/elektricitet-i-sverige/>. [Använd 07 07 2023].
- [4] Energimyndigheten, "Förslag till Sveriges nationella strategi för vätgas, elektrobränslen och ammoniak," 2022.
- [5] VTI, "Regeringsuppdrag om elektrifieringen av transporter," 2023.
- [6] Uniper, "Oskarshamn – en liten stad med stora (vätgas)ambitioner," 14 02 2022. [Online]. Available: <https://www.uniper.energy/sverige/nyheter/oskarshamn-en-liten-stad-med-stora-vatgasambitioner/>. [Använd 23 08 2023].
- [7] Ny Teknik, "Kärnkraftverket säljer inte bara el – nu också vätgas," 26 01 2022. [Online]. Available: <https://www.nyteknik.se/nyheter/karnkraftverket-saljer-inte-bara-el-nu-ocksa-vatgas/386744>. [Använd 23 08 2023].
- [8] Energimyndigheten, "Beviljande projekt inom Regionala Elektrifieringspiloter," 08 03 2023. [Online]. Available: <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/transporter/transporteffektivt-samhalle/regionala-elektrifieringspiloter/beviljade-projekt-inom-regionala-elektrifieringspiloter/>. [Använd 24 08 2023].
- [9] Naturvårdsverket, "Beviljade ansökningar till Klimatklivet 2023-03-20," 20 03 2023. [Online]. Available: <https://www.naturvardsverket.se/496297/contentassets/afe5314a4ea242c69ff0332e15af2626/beviljade-ansokningar-till-klimatklivet-2023-03-20.xlsx>. [Använd 24 08 2023].
- [10] IVA Kungl. IngenjörsvetenskapsAkademien, "Vätgasens roll för tunga vägtransporter," 2022.
- [11] IVA Kungl. IngenjörsvetenskapsAkademien, "Om vätgas och dess roll i elsystemet," 2022.
- [12] OX2, "OX2 utvecklar storskalig energipark utanför Sveriges södra kust," 24 03 2023. [Online]. Available: <https://www.ox2.com/sv/pressrum/pressmeddelanden/2023/ox2-utvecklar-storskalig-energi-park-utanfor-sveriges-sodra-kust/>. [Använd 14 07 2023].
- [13] Energikontor Sydost, "Förnybar vätgas i Kronoberg – en förstudie," 2020.
- [14] Rise, "Studie över elektrolyst-teknologier idag och i framtiden," 2021.
- [15] IVL Svenska miljöinstitutet, "Miljöeffekter av elnät och energilagring," 01 2021. [Online]. Available: <https://www.ivl.se/download/18.2f05652c1775c6085c018c2/1613114321946/C573.pdf>. [Använd 19 09 2023].
- [16] Regeringskansliet, "Sverige står bakom EU-lagförslag om stopp för användning av PFAS-ämnen," 07 02 2023. [Online]. Available: [Sverige står bakom EU-lagförslag om stopp för användning av PFAS-ämnen](https://www.regeringen.se/pressrum/pressmeddelanden/2023/07/sverige-star-bakom-eu-lagfor-slag-om-stopp-for-anvandning-av-pfas-amnen/). [Använd 19 09 2023].
- [17] Energiforsk, "Framtiden och avsättning för vätgasen – Vad blåser det för vindar?," 18 04 2023. [Online]. Available: <https://energiforsk.se/media/32453/framtiden-och-avsattning-fo-r-va-tgas-pm.pdf>. [Använd 17 05 2023].
- [18] L. Neckmar, "Hybridpark med vätgasproduktion," Lunds Tekniska Högskola, 2023.
- [19] Rise, "Vätgassystems potential och värde för att tillhandahålla systemtjänster till elnätet," 2022.
- [20] LKAB, "HYBRIT: Nästa milstolpe nådd – pilotanläggningen för vätgaslagring i drift," 22 09 2022. [Online]. Available: <https://lkab.com/press/hybrit-nasta-milstolpe-nadd-pilotanlaggnigen-for-vatgaslagring-i-drift/>. [Använd 14 07 2023].
- [21] NyTeknik, "De ska tillverka flytande vätgas billigare – med magneter," 24 02 2023. [Online]. Available: <https://www.nyteknik.se/vatgas/de-ska-tillverka-flytande-vatgas-billigare-med-magneter-1/1667701>. [Använd 14 07 2023].
- [22] Sweco, "Hydrogen storage," 01 12 2022. [Online]. Available: <https://energiforsk.se/media/31942/va-taslager-kunskapso-versikt-och-teknikanalys-camila-varela.pdf>. [Använd 23 08 2023].

- [23] Nordion Energi, "Pressmeddelande: Nordion Energi och Gasgrid Finland lanserar Nordic Hydrogen Route," 22 04 2022. [Online]. Available: <https://nordichydrogenroute.com/sv/nyheter/pressmeddelande-nordion-energi-och-gasgrid-finland-lanserar-nordic-hydrogen-route-europas-forsta-storskaliga-och-gransoverskridande-vatgasinfrastruktur/>. [Använd 14 07 2023].
- [24] Baltic Sea Hydrogen Collector, "About BHC," [Online]. Available: <https://balticseahydrogencollector.com/about-the-project/>. [Använd 14 07 2023].
- [25] RWE, "Hydrogen pipeline in the North Sea," 2023. [Online]. Available: <https://www.rwe.com/en/research-and-development/project-plans/hydrogen-pipeline-in-the-north-sea/>. [Använd 14 07 2023].
- [26] Energinet, "Energinet and Gasunie make progress on cross-border green hydrogen infrastructure," 12 05 2023. [Online]. Available: <https://en.energinet.dk/about-our-news/news/2023/05/12/energinet-and-gasunie-make-progress-on-cross-border-green-hydrogen-infrastructure/>. [Använd 14 07 2023].
- [27] Energinet, "Hybrid interconnector between Germany and Denmark: Amprion and Energinet agree on close cooperation," 27 04 2023. [Online]. Available: <https://en.energinet.dk/about-our-news/news/2023/04/27/>. [Använd 14 07 2023].
- [28] NASA, "Centaur: America's Workhorse in Space," 05 12 2012. [Online]. Available: <https://www.nasa.gov/centers/glenn/about/history/centaur.html>. [Använd 22 08 2023].
- [29] NASA, "Space Applications of Hydrogen and Fuel Cells," [Online]. Available: <https://www.nasa.gov/content/space-applications-of-hydrogen-and-fuel-cells>. [Använd 22 08 2023].
- [30] Hyundai, "Nexo," [Online]. Available: <https://www.hyundai.se/bilar/nexo>. [Använd 07 07 2023].
- [31] Toyota, "Mirai," [Online]. Available: <https://www.toyota.se/bilar/mirai>. [Använd 07 07 2023].
- [32] Teknikens Värld, "Honda dumpar vätgasbilen Clarity," 23 06 2021. [Online]. Available: <https://teknikensvarld.expressen.se/nyheter/bil-och-trafik/elbil-laddhybrid/honda-dumpar-vatgasbilen-clarity/>. [Använd 07 07 2023].
- [33] Toyota, "Corolla Cross H2 Concept med vätgasdriven förbränningsmotor – visar Toyotas diversifierade väg mot koldioxidneutralitet," 06 12 2022. [Online]. Available: <https://sverige.toyota/nyheter/pressreleaser/corolla-cross-h2-concept-med-vatgasdriven-forbranningsmotor-visar-toyotas-diversifierade-vag-mot-koldioxidneutralitet>. [Använd 07 07 2023].
- [34] King Long, "KT610 6X4 Fuel Cell Semi Tractor," [Online]. Available: [https://www.king-long.com/kt610-6x4-fuel-cell-semi-tractor\\_p42.html](https://www.king-long.com/kt610-6x4-fuel-cell-semi-tractor_p42.html). [Använd 11 07 2023].
- [35] Hyundai, "Hyundai Motor Premieres Commercialized Model of Its XCIENT Fuel Cell Tractor and Vision for Hydrogen Mobility in US," 03 05 2023. [Online]. Available: <https://trucknbus.hyundai.com/hydrogen/en/pr-center/newsroom/news-20230503?sn=BL00200506>. [Använd 12 07 2023].
- [36] Mercedes-Benz, "Mercedes-Benz vätedrivna lastbil godkänd för tester på allmän väg," 28 10 2021. [Online]. Available: <https://www.mynewsdesk.com/se/mercedes-benz-sverige/pressreleases/mercedes-benz-vaetedrivna-lastbil-godkaend-foer-tester-paa-allmaen-vaeg-3140109>. [Använd 12 07 2023].
- [37] Volvo, "Premiär: Volvo Lastvagnar testar vätgasdrivna ellastbilar på allmän väg," 08 05 2023. [Online]. Available: <https://www.volvogroup.com/se/news-and-media/news/2023/may/news-4534634.html>. [Använd 12 07 2023].
- [38] Scania, "Vätgasdriven sopbil rullar i Göteborg," 17 06 2021. [Online]. Available: <https://www.scania.com/se/sv/home/newsroom/news/2021/Vatgasdriven-sopbil-Goteborg.html>. [Använd 12 07 2023].
- [39] Scania, "Scania to deliver fuel cell trucks to Switzerland," 08 11 2022. [Online]. Available: <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2022/scania-to-deliver-fuel-cell-trucks-to-switzerland.html>. [Använd 12 07 2023].
- [40] Solaris, "Hydrogen," [Online]. Available: <https://www.solarisbus.com/en/vehicles/zero-emissions/hydrogen>. [Använd 12 07 2023].
- [41] Mercedes-Benz, "Mercedes-Benz eCitaro fuel cell – längre räckvidd tack vare bränslecell," 2023. [Online]. Available: [https://www.mercedes-benz-bus.com/sv\\_SE/brand/news/2023/world-premiere-global-public-transport-summit-2023-eCitaro-fuel-cell.html](https://www.mercedes-benz-bus.com/sv_SE/brand/news/2023/world-premiere-global-public-transport-summit-2023-eCitaro-fuel-cell.html). [Använd 12 07 2023].
- [42] Alstom, "A world leader in green traction solutions," [Online]. Available: <https://www.alstom.com/world-leader-green-traction-solutions>. [Använd 10 07 2023].
- [43] Stadler, "Flirt H2," [Online]. Available: <https://www.stadlerail.com/en/flirt-h2/details/>. [Använd 10 07 2023].

- [44] FCH2Rail, "FCH2Rail," [Online]. Available: <https://www.fch2rail.eu/en/projects/fch2rail>. [Använd 10 07 2023].
- [45] Talgo, "Talgo initiates dynamic testing of Spain's first dual hydrogen train," 31 05 2022. [Online]. Available: <https://www.talgo.com/-/talgo-comienza-las-pruebas-din%C3%A1micas-del-primer-tren-dual-de-hidr%C3%B3geno-de-espa%C3%B1a>. [Använd 10 07 2023].
- [46] Siemens, "H2goesRail – a joint project with DB," [Online]. Available: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/references/h2goesrail.html>. [Använd 10 07 2023].
- [47] Sveriges Radio, "Inlandsbanan vill köra tågen på vätgas," 08 04 2023. [Online]. Available: <https://sverigesradio.se/artikel/inlandsbanan-vill-kora-tagen-pa-vatgas>. [Använd 10 07 2023].
- [48] NyTeknik, "Passar vätgaståget in på den svenska järnvägen?," 25 08 2021. [Online]. Available: <https://www.nyteknik.se/nyheter/passar-vatgastaget-in-pa-den-svenska-jarnvagen/1613487>. [Använd 10 07 2023].
- [49] King Long, "KD810 8X4 Fuel Cell Dump Truck," [Online]. Available: [https://www.king-long.com/kd810-8x4-fuel-cell-dump-truck\\_p43.html](https://www.king-long.com/kd810-8x4-fuel-cell-dump-truck_p43.html). [Använd 11 07 2023].
- [50] Hyundai, "Bauma 2022," 2022. [Online]. Available: <https://www.hyundai-ce.eu/en/lp/bauma2022>. [Använd 11 07 2023].
- [51] Aju Korea Daily, "Forklift equipped with Hyundai Mobis fuel cell power pack selected for state demonstration," 30 11 2022. [Online]. Available: <https://www.ajudaily.com/view/20221130155148650>. [Använd 11 07 2023].
- [52] Swecon, "Volvo CE påbörjar testning av världens första vätgasdrivna dumperprototyp," 13 06 2022. [Online]. Available: <https://www.mynewsdesk.com/se/swecon/pressreleases/volvo-ce-paaboerjar-testning-av-vaerldens-foersta-vaetgasdrivna-dumperprototyp-3188433>. [Använd 11 07 2023].
- [53] Stockholms Hamnar, "Milstolpe passerad i Stockholms Hamnars vätgassatsning," 18 01 2023. [Online]. Available: <https://www.stockholmshamnar.se/om-oss/nyheter/2023/milstolpe-passerad-i-stockholms-hamnars-vatgassatsning/>. [Använd 10 07 2023].
- [54] Terberg, "Hydrogen Terminal Tractor Development," [Online]. Available: <https://www.terbergspecialvehicles.com/en/development/hydrogen/>. [Använd 11 07 2023].
- [55] Elbilen, "Därför dröjer elektrifieringen av jordbruket," 26 05 2021. [Online]. Available: <https://elbilen.se/artiklar/darfor-drojer-elektrifieringen-av-jordbruket/>. [Använd 11 07 2023].
- [56] Fendt, "Fendt shows first hydrogen tractor at German Hydrogen Summit," 27 02 2023. [Online]. Available: <https://www.fendt.com/int/fendt-shows-first-hydrogen-tractor-at-german-hydrogen-summit>. [Använd 11 07 2023].
- [57] New Holland, "Special Projects," [Online]. Available: <https://agriculture.newholland.com/en-us/nar/our-vision/special-projects>. [Använd 11 07 2023].
- [58] Nikkei Asia, "Kubota to roll out first fuel cell tractor in 2025, eyeing U.S. and Europe," 02 06 2022. [Online]. Available: <https://asia.nikkei.com/Spotlight/Environment/Climate-Change/Kubota-to-roll-out-first-fuel-cell-tractor-in-2025-eyeing-U.S.-and-Europe>. [Använd 11 07 2023].
- [59] New Holland, "H2 Dual Power," [Online]. Available: <https://h2dualpower.com/en>. [Använd 11 07 2023].
- [60] Berggren S m.fl., "Vätgasens möjligheter inom lantbruket," SLU, 2022.
- [61] Norled, "Hydra i drift," 2023. [Online]. Available: <https://www.norled.no/nyheter/hydra-i-drift/>. [Använd 07 07 2023].
- [62] Gotlandsbolaget, "Destination Zero," [Online]. Available: <https://gotlandsbolaget.se/destination-zero/>. [Använd 07 07 2023].
- [63] Liquid Wind, "Ørsted breaks ground on FlagshipONE – Liquid Wind's first electrofuel development project," 24 05 2023. [Online]. Available: <https://www.liquidwind.se/news/rsted-breaks-ground-on-flagshipone-liquid-winds-first-electrofuel-development-projectnbspnbsp>. [Använd 07 07 2023].
- [64] IEA, "World Energy Outlook 2022," 2022.
- [65] Lufthansa, "Hydrogen aviation lab Hamburg," [Online]. Available: <https://cleantechhub.lufthansagroup.com/en/focus-areas/between-and-beyond/hydrogen-aviation-lab-hamburg.html>. [Använd 12 07 2023].
- [66] Airbus, "At Airbus, hydrogen power gathers pace," 20 06 2023. [Online]. Available: <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2023-06-at-airbus-hydrogen-power-gathers-pace>. [Använd 12 07 2023].

- [67] NyTeknik, "Rolls-Royce norska elflygsbolag: Vätgas blir viktigt för medeldistanser," 18 06 2023. [Online]. Available: <https://www.nyteknik.se/farkost/rolls-royce-norska-elflygsbolag-vatgas-blir-viktigt-for-medeldistanser/2766590>. [Använd 12 07 2023].
- [68] NyTeknik, "Då ska vätgasflyget lyfta i Skellefteå: "En viktig lösning"," 29 03 2023. [Online]. Available: <https://www.nyteknik.se/farkost/da-ska-vatgasflyget-lyfta-i-skelleftea-en-viktig-losning/2018074>. [Använd 12 07 2023].
- [69] Rise, "Vätgasens potentiella värde som bränsle för framdrift av fordon samt andra industriella processer," 2022.
- [70] Fertiberia, "Green Wolverine Project," 19 10 2021. [Online]. Available: [https://www.grupofertiberia.com/media/605649/20211015-np-planta-fertiberia-suecia\\_def\\_en-1.pdf](https://www.grupofertiberia.com/media/605649/20211015-np-planta-fertiberia-suecia_def_en-1.pdf). [Använd 14 07 2023].
- [71] Perstorp, "Project Air granted environmental permit," 13 06 2023. [Online]. Available: [https://www.perstorp.com/en/news\\_center/pressreleases/2023/project\\_air\\_granted\\_environmental\\_permit](https://www.perstorp.com/en/news_center/pressreleases/2023/project_air_granted_environmental_permit). [Använd 12 07 2023].
- [72] Nordpool, "Day-ahead prices," [Online]. Available: <https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/ALL1/Hourly/?view=table>. [Använd 07 09 2023].
- [73] Svenska kraftnät, "Produktionsstatistik," [Online]. Available: <https://mimer.svk.se/ProductionConsumption/ProductionIndex>. [Använd 07 09 2023].
- [74] Siemens, "Zero Emission Hydrogen Turbine Center," [Online]. Available: <https://www.siemens-energy.com/global/en/priorities/future-technologies/hydrogen/zehtc.html>. [Använd 12 07 2023].
- [75] NyTeknik, "Maskinerna drivs av bränslecellen från en Toyota Mirai," 21 02 2023. [Online]. Available: <https://www.nyteknik.se/toyota-vatgas/maskinerna-drivs-av-branslecellen-fran-en-toyota-mirai/1605152>. [Använd 11 07 2023].
- [76] Ovako, "Sveriges största elektrolysanläggning väntas starta i september," 08 06 2023. [Online]. Available: <https://ovako-se.newsroom.cision.com/releasedetail.html?sveriges-storsta-elektrolysanlaggning-vantas-starta-i-september&releasidentifier=C469AA7CA49431EA>. [Använd 12 07 2023].
- [77] Rise, "Syrgasens potentiella värde och möjligheter," 2023.
- [78] Karlstads Energi, "Ett steg närmare vätgasproduktion i Karlstad," 26 08 2022. [Online]. Available: <https://www.karlstadsenergi.se/nyheter/ett-steg-narmare-vatgasproduktion-i-karlstad/>. [Använd 13 07 2023].
- [79] Europeiska kommissionen, "Hydrogen Valleys strategic for the autonomy of the EU," 01 03 2023. [Online]. Available: [https://research-and-innovation.ec.europa.eu/news/all-research-and-innovation-news/hydrogen-valleys-strategic-autonomy-eu-2023-03-01\\_en](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/news/all-research-and-innovation-news/hydrogen-valleys-strategic-autonomy-eu-2023-03-01_en). [Använd 06 10 2023].
- [80] Energiforsk, "Förnybar energi för produktion av vätgas som drivmedel," 2022.
- [81] Trelleborgs Energi, "Vätgassatsningen tar fart med godkända vindkraftverk i Trelleborgs Hamn," 07 07 2023. [Online]. Available: <https://trelleborgsenergi.se/nyheter/vatgassatsningen-tar-fart-med-godkanda-vindkraftverk-i-trelleborgs-hamn/>. [Använd 13 07 2023].
- [82] Trelleborgs Energi, "Unik energilösning tas fram för Västra Sjöstaden," 15 06 2023. [Online]. Available: <https://trelleborgsenergi.se/nyheter/unik-energilosning-tas-fram-for-vastra-sjostaden/>. [Använd 13 07 2023].
- [83] Trelleborgs Energi, "H2X och Trelleborgs kommun tecknar avtal om vätgasdriven skolbuss och sopbil," 21 04 2022. [Online]. Available: <https://trelleborgsenergi.se/nyheter/h2x-och-trelleborgs-kommun-tecknar-avtal-om-vatgasdriven-skolbuss-och-sopbil/>. [Använd 13 07 2023].
- [84] Trelleborgs Energi, "Vätgas," [Online]. Available: <https://trelleborgsenergi.se/energilosningar/vatgas/>. [Använd 13 07 2023].
- [85] Mariestads kommun, "ElectriVillage Mariestad," [Online]. Available: <https://mariestad.se/Mariestads-kommun/Hallbarhet--miljo/Strategiskt-hallbarhetsarbete/Agenda-2030/ElectriVillage-Mariestad>. [Använd 12 07 2023].
- [86] Elinstallatören, "Vätgas-investeringen: "Fantastiskt bra affär med dagens elpriser"," 05 09 2022. [Online]. Available: <https://www.elinstallatoren.se/2022/09/vatgas-investeringen-fantastiskt-bra-affar-med-dagens-elpriser/>. [Använd 13 07 2023].
- [87] Smålandsposten, "Vätgastillverkningen snart igång – till midsommar ska man kunna tanka," 12 06 2023. [Online]. Available: <https://www.smp.se/uppvidinge/vatgastillverkningen-snart-igang-till-midsommar-ska-man-kunna-tanka/>. [Använd 14 07 2023].

- [88] Naturvårdsverket, "Tankstationer," [Online]. Available: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/klimatklivet/for-dig-som-vill-soka-stod/tankstationer/>. [Använd 19 09 2023].
- [89] Naturvårdsverket, "Klimatklivets ansökningsperiod 2023," 16 05 2023. [Online]. Available: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/klimatklivet/for-dig-som-vill-soka-stod/fragor-och-svar-om-klimatklivets-ansokningsperiod-2023/>. [Använd 15 08 2023].
- [90] Tillväxtverket, "Ökad takt i klimatomställningen och utvecklingen för en bättre miljö," [Online]. Available: <https://tillvaxtverket.se/tillvaxtverket/sokfinansiering/utlysningar/utlysningar/okadtaktiklimatomstallningenochutvecklingenforenbattremiljo.4664.html>. [Använd 15 08 2023].
- [91] Tillväxtverket, "Regionalt investeringsstöd," [Online]. Available: <https://tillvaxtverket.se/tillvaxtverket/sokfinansiering/utlysningar/utlysningar/regionaltinvesteringsstod.3519.html>. [Använd 15 08 2023].
- [92] Energimyndigheten, "Klimatpremien," 15 03 2023. [Online]. Available: <https://www.energimyndigheten.se/klimat-miljo/transporter/transporteffektivt-samhalle/klimatpremie/>. [Använd 16 08 2023].
- [93] Energimyndigheten, "Industriklivet," 01 02 2023. [Online]. Available: <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/industri/industriklivet/>. [Använd 16 08 2023].
- [94] Energimyndigheten, "Industrins energi- och klimatomställning," 12 01 2023. [Online]. Available: <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/industri/industrins-energi--och-klimatomstallning/>. [Använd 16 08 2023].
- [95] Energimyndigheten, "Stöd för forskningsprojekt inom Industrins energi- och klimatomställning och Industriklivet," 22 03 2023. [Online]. Available: <https://www.energimyndigheten.se/utlysningar/stod-for-projekt-inom-industrins-energi--och-klimatomstallning-och-industriklivet/>. [Använd 16 08 2023].
- [96] Energimyndigheten, "Sök stöd för att utveckla och integrera fossilfria och elektrifierade fordon," [Online]. Available: <https://www.energimyndigheten.se/utlysningar/sok-stod-for-att-utveckla-och-integrera-fossilfria-och-elektrifierade-fordon2/>. [Använd 16 08 2023].
- [97] Energimyndigheten, "Elbusspremie," 26 06 2023. [Online]. Available: <https://www.energimyndigheten.se/klimat-miljo/transporter/transporteffektivt-samhalle/elbusspremie/>. [Använd 16 08 2023].
- [98] Energimyndigheten, "Regionala elektrifieringspiloter för tunga transporter," 03 07 2023. [Online]. Available: <https://www.energimyndigheten.se/klimat-miljo/transporter/transporteffektivt-samhalle/regionala-elektrifieringspiloter/>. [Använd 16 08 2023].
- [99] Energimyndigheten, "Hållbara transportsystem," 25 05 2023. [Online]. Available: <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/transporter/hallbara-transportssystem/>. [Använd 16 08 2023].
- [100] Energimyndigheten, "Bidra till utvecklingen av framtidens resilienta och fossilfria transportsystem," 07 06 2023. [Online]. Available: <https://www.energimyndigheten.se/utlysningar/bidra-till-utvecklingen-av-framtidens-resilienta-och-fossilfria-transportssystem/>. [Använd 16 08 2023].
- [101] Energimyndigheten, "Clean Energy Transition (CETPartnership)," 28 06 2023. [Online]. Available: <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/internationella-insatser/horizont-europa/partnerskapet-clean-energy-transition-cetpartnership/>. [Använd 16 08 2023].
- [102] Energimyndigheten, "EU:s innovationsfond," 10 11 2022. [Online]. Available: <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/internationella-insatser/eus-innovationsfond/>. [Använd 16 08 2023].
- [103] Europeiska kommissionen, "Innovationsfonden: 100 miljoner euro till innovativa småskaliga projekt för ren teknik," 30 03 2023. [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/sv/ip\\_23\\_2062](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/sv/ip_23_2062). [Använd 16 08 2023].
- [104] Energimyndigheten, "Pilot- och demonstrationsprojekt," 01 06 2023. [Online]. Available: <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/stod-till-affarsideer-test-och-lansering/pilot-och-demonstrationsprojekt/>. [Använd 22 09 2023].
- [105] Energimyndigheten, "Fossilfritt flyg för framtiden," [Online]. Available: <https://www.energimyndigheten.se/utlysningar/fossilfritt-flyg-for-framtiden---2023/>. [Använd 16 08 2023].

- [106] EU, "Clean Hydrogen Partnership," [Online]. Available: [https://www.clean-hydrogen.europa.eu/apply-funding/call-proposals-0\\_en](https://www.clean-hydrogen.europa.eu/apply-funding/call-proposals-0_en). [Använd 16 08 2023].
- [107] Europeiska kommissionen, "Upcoming EU Hydrogen Bank pilot auction: European Commission publishes Terms & Conditions," 30 08 2023. [Online]. Available: [https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/upcoming-eu-hydrogen-bank-pilot-auction-european-commission-publishes-terms-conditions-2023-08-30\\_sv](https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/upcoming-eu-hydrogen-bank-pilot-auction-european-commission-publishes-terms-conditions-2023-08-30_sv). [Använd 15 09 2023].
- [108] Trafikverket, "Ansök om bidrag från Fonden för ett sammanlänkat Europa (CEF)," 26 06 2023. [Online]. Available: <https://bransch.trafikverket.se/tjanster/ansok-om/ansok-om-bidrag/finansiering/>. [Använd 17 08 2023].
- [109] Y. Aldentun, Interviewee, *Mailkonversation*. [Intervju]. 27 06 2023.
- [110] Region Kalmar, "Miljövänligare tågresor," [Online]. Available: <https://utveckling.regionkalmar.se/utvecklingsomraden/kollektivtrafik/utredningsarbete/miljovanligare-tagresor/>. [Använd 13 07 2023].
- [111] Trafikverket, "Stångådals- och Tjustbanan," 08 03 2023. [Online]. Available: <https://www.trafikverket.se/aktuellt-i-lanet/ostergotland/stangadals--och-tjustbanan/>. [Använd 13 07 2023].
- [112] Region Kalmar, "Gemensam prioritering av järnvägsåtgärder," 23 08 2023. [Online]. Available: <https://www.regionkalmar.se/nyhetslista/gemensam-prioritering-av-jarnvagsatgarder/>. [Använd 12 09 2023].
- [113] Nilsson Energy, "Projekt Grön Flygplats - Om vätgasens inverkan på svenska regionala flygplatser," 2023.
- [114] Tidningen Energi, "Så kan vätgas stärka fjärrvärmern," 26 05 2023. [Online]. Available: <https://www.energi.se/artiklar/2023/maj-2023/sa-kan-vatgas-starka-fjarrvarmen/>. [Använd 19 09 2023].
- [115] Energiforsk, "The role of gas and gas infrastructure in Swedish decarbonisation pathways 2020-2045," 2021.
- [116] Vätgas Sverige, "FAQ," [Online]. Available: <https://vatgas.se/fakta/faq/>. [Använd 25 09 2023].
- [117] Jernkontoret, "Jernkontorets energihandbok - Propan 95," [Online]. Available: <https://www.energihandbok.se/konstanter/propan-95>. [Använd 23 09 2023].
- [118] Jernkontoret, "Jernkontorets energihandbok - Vätgas (H2)," [Online]. Available: <https://www.energihandbok.se/konstanter/vatgas-h2>. [Använd 25 09 2023].
- [119] Region Kalmar, "Regional utvecklingsstrategi för Kalmar län 2030," [Online]. Available: <https://utveckling.regionkalmar.se/globalassets/utvecklingsomraden/biblioteksutveckling/klimat-att-vaxa-i-rus-2030.pdf>. [Använd 26 09 2023].
- [120] Region Kalmar, "Tidig projektidé kopplat till hållbarhetsmålen i Agenda 2030," [Online]. Available: [https://utveckling.regionkalmar.se/globalassets/finansiering-och-stod/projektstod/utveckla-din-projektide/230512\\_3.8-testa-din-projektide-med-hallbarhetsmalen-och-agenda-2030-ifyllbar.pdf](https://utveckling.regionkalmar.se/globalassets/finansiering-och-stod/projektstod/utveckla-din-projektide/230512_3.8-testa-din-projektide-med-hallbarhetsmalen-och-agenda-2030-ifyllbar.pdf). [Använd 26 09 2023].
- [121] Vätgas Sverige, "Tanka vätgas," [Online]. Available: <https://vatgas.se/fakta/utbyggnad-av-vatgastankstationer-tanka-vatgas-vatgastankstationer/>. [Använd 24 08 2023].
- [122] Greater4H, "H2 map - Greater4H," [Online]. Available: <https://greater4h.com/h2-map/>. [Använd 24 08 2023].