

KAPITEL 5

Vätgas – en ny grön bubbla?*

CHRISTIAN SANDSTRÖM

Om författaren

Se sid. 185 för en presentation.

* Citeras som: Sandström, Christian (2024), "Vätgas – en ny grön bubbla?". I Magnus Henrekson (red.), *De norrländska stålsatsningarna – frälsare eller gökunge?* (s. 149–185). Stockholm: Samhällsförlaget.

Sammanfattning och centrala resultat

Studien beskriver ekonomin och tekniken bakom vätgas och ställer detta i relation till de vätgasbaserade satsningar som görs i dagsläget. En grön bubbla uppstår när teknik och ekonomi hamnar i otakt med förväntningarna gällande vad tekniken ska leverera.

Vätgasens fysikaliska egenskaper innebär att produktionen av vätgas kräver betydande mängder naturgas eller elektricitet. Även användning av elektricitet medför ofta en ökad konsumtion av fossila bränslen då 61 procent av all elektricitet som produceras i världen är fossil. Genomgången av tekniken, naturvetenskapen och ekonomin rörande vätgas visar att det finns betydande begränsningar i dagsläget gällande teknikens potential.

Dessa begränsningar ställs sedan mot de satsningar som planeras och de påståenden vi sett rörande vätgasens potential på senare tid. Ledande politiker inom EU och i Sverige har pekat ut vätgas som en central del av den gröna omställningen och erbjuder nu omfattande stöd i form av direkta bidrag, subventionerade lån och kreditgarantier till företag som investerar i produktion baserad på vätgas. I diskrepansen mellan politiskt allokerade stöd och tillhörande retorik och teknikens inneboende begränsningar ökar risken att en grön bubbla skapas.

Samtidigt fyller vätgas många viktiga funktioner i ekonomin, inte minst gällande produktionen av gödningsmedel och borttagande av svavel från tjockolja. Överdrivna förväntningar om vätgasens potential på kort sikt riskerar att slå tillbaka mot vätgasen på längre sikt.

De viktigaste resultaten i studien rörande tekniken och ekonomin kring vätgas är följande:

- Väte förekommer ytterst sällan i fri form, utan tenderar antingen att bindas samman till två väteatomer som vätgas, vilken förkortas H_2 . Väte har också en exceptionellt god förmåga att binda sig till andra atomer och molekyler.
- Vätgas förekommer därför nästan aldrig i fri form i naturen. Den måste utvinnas ur exempelvis vatten eller metangas genom att tillsätta stora mängder energi. Vätgas är därför en energibärare snarare än en energikälla.
- Det går åt mer energi för att framställa vätgas än vad vätgasen i sig genererar när den används. Förbränning av vätgas är således inte utvinning av energi i egentlig mening, det är snarare ett dyrt, ineffektivt och riskabelt sätt att använda en mindre del av den energi som från början togs i anspråk.

- Mer än 95 procent av den vätgas som i dag används produceras från fossila källor som naturgas och olja.
- Om vätgas utvinns ur naturgas är det mer korrekt att säga att naturgas är den egentliga energikällan än att man använder sig av vätgas. Om vätgas utvinns ur elektricitet genom elektrolys är det mer korrekt att kalla energikällan för elektricitet.
- Vätgasproduktion från elektrolys kräver fem till sex gånger mer energi än framställning med hjälp av naturgas. Det är förmodligen den främsta orsaken till att vätgas i så stor utsträckning tillverkas med hjälp av fossila bränslen.

Gällande politiken kring vätgas visar studien följande:

- Antalet medieträffar gällande vätgas har mer än tiodubblats från 2017 till 2022.
- Högt uppsatta politiker inom EU såsom EU-kommissionens ordförande Ursula von der Leyen och kommissionären Frans Timmermans (t.o.m. augusti 2023 ansvarig för EU:s klimatpolitik och dess gröna giv) har gett sitt stöd till vätgasteknologi.
- EU har anslagit 430 miljarder euro i stöd till investeringar baserade på vätgas över en tioårsperiod. Detta belopp motsvarar cirka 80 procent av Sveriges BNP.
- De senaste årens hajp kring vätgas är en produkt av stora offentliga stöd snarare än att tekniken i sig har en stor potential inom energiområdet.
- De politiska förväntningarna på vätgasen verkar inte stå i proportion till vätgasens inneboende utmaningar och det finns risk för en ny grön bubbla.

Summary and key findings

The study describes the economics and technology behind hydrogen and relates this to the hydrogen-based initiatives that are currently underway. A green bubble occurs when technology and economic realities are out of step with expectations of what the technology can deliver.

The physical properties of hydrogen mean that the production of hydrogen requires significant amounts of natural gas or electricity. Also, the use of electricity often results in increased consumption of fossil fuels, as 61% of all electricity produced in the world is fossil-based. The review of the technology, science and economics of hydrogen shows that there are significant limitations in the current state of the technology's potential.

These limitations are juxtaposed with the investments planned and the recent claims of hydrogen's potential. Leading politicians in the European Union and Sweden have identified hydrogen as a key part of the green transition and are now offering extensive government support in the form of direct grants, subsidized loans and credit guarantees to companies investing in hydrogen-based production. The discrepancy between politically allocated support and associated rhetoric and the inherent limitations of the technology increases the risk of a green bubble.

At the same time, hydrogen plays many important roles in the economy, not least in the production of fertilizers and the removal of sulphur from heavy fuel oil. Exaggerated expectations of hydrogen's potential in the short term risk backfiring on hydrogen in the longer term.

The main findings of the study on the technology and economics of hydrogen are as follows:

- Hydrogen rarely occurs in free form but tends to either bond to two hydrogen atoms as hydrogen gas, H₂. Hydrogen also has an exceptionally good ability to bond with other atoms and molecules.
- Hydrogen therefore almost never occurs in free form in nature. It must be extracted from water or methane gas by means of large amounts of energy. Hydrogen is therefore an energy carrier rather than an energy source.

- It takes more energy to produce hydrogen than the hydrogen itself generates when used. Thus, burning hydrogen is not energy recovery in the true sense, but rather an expensive, inefficient, and risky way to use a smaller portion of the energy that was initially expended.
- More than 95% of the hydrogen used today is produced from fossil sources such as natural gas and oil.
- If hydrogen is extracted from natural gas, it is more correct to say that natural gas rather than hydrogen is the energy source. If hydrogen is extracted from water through electrolysis, it is more accurate to denote electricity as the energy source.
- Hydrogen production from electrolysis requires five to six times more energy than hydrogen produced from natural gas production. This is probably the main reason why hydrogen is so widely produced using fossil fuels.

Regarding hydrogen policy, the study shows the following:

- The number of media hits on hydrogen increased more than tenfold from 2017 to 2022.
- High-ranking EU politicians such as European Commission President Ursula von der Leyen and Commissioner Frans Timmermans (until August 2023 responsible for the EU's climate and green policies) have strongly advocated hydrogen as a key component in EU's strategy for achieving zero CO₂ emissions by 2050.
- The European Union has allocated EUR 430 billion to support hydrogen-based investments over a ten-year period. This amount is equivalent to about 80 percent of Sweden's GDP.
- The hype around hydrogen in recent years is a product of large public subsidies rather than the technology's inherent potential to reduce CO₂ emissions.
- The political expectations for hydrogen are not commensurate with its inherent challenges and there is a risk of a new green bubble.

Introduktion

Under 2000-talet har Sverige skapat en serie av gröna bubblor. En grön bubbla kan definieras som en storskalig satsning på industriell omvandling som förväntas leda till ny teknik, förbättrad miljö, klimatnytta, nya arbetstillfällen och återindustrialisering, men som inte lyckas uppnå något av detta. En bubbla kan uppstå när det föreligger en diskrepans mellan å ena sidan tekniska och ekonomiska realiteter och å andra sidan alltför högt uppskrivade förväntningar.

Sandström (2023) identifierar följande mönster gällande ett flertal gröna bubblor inom exempelvis etanolproduktion och biogasproduktion.

Bubblan skapas

- 1 Offentligt och privat ägda bolag gör satsningar på ny teknik, exempelvis kring biogas, etanol eller andra "förnybara" bränslen, inte sällan i samverkan med en privat aktör och ett lärosäte.
- 2 Stora delar av kostnaderna täcks av bidrag, antingen från EU eller en myndighet, exempelvis Energimyndigheten eller Naturvårdsverket. Dessa bidrag kombineras med medel från de offentligt ägda bolagen.
- 3 Ett fåtal kritiska röster hörs, men betraktas som olyckskorpar och lyckas sällan påverka förloppet.

Expansionsfasen

- 4 Invigningstal och medial uppståndelse där ord som "världsledande" och "världsunik" blandas med förhoppningar om återindustrialisering och gröna jobb.
5. Trots tekniska begränsningar och betydande osäkerhet växer satsningarna i omfång då tillgången till bidrag och offentliga kreditgarantier gör företag immuna mot risker.

Kollapsen

6. Investeringarna misslyckas, omvärldsförändringar synliggör de problem som borde ha uppmärksammats tidigare. Lågkonjunktur, politiska omvälvningar eller fluktuationer i priset på insatsvaror som el eller olja gör att satsningen nu framstår som omöjlig.
- 7 Bubblan avslutas med en städprocess där företagare, tjänstemän och politiker tvingas skriva ner värden, hantera förluster och i regel också ansöka om ännu mer offentlig finansiering.

Det finns flera exempel på detta mönster. Det kommunägda Sekab i Örnköldsvik skapade miljardsskulder för skattebetalarna. Ett annat illustrativt exempel är Göteborg Energis satsning Gobigas (Sandström och Björnemalm, 2022, 2023).

Med utgångspunkt i studier av dessa bubblor går det att identifiera ett antal faktorer som gemensamt ger upphov till gröna bubblor (Sandström och Björnemalm, 2023; Sandström och Alm, 2022):

- 1 Särintressen påverkar politiken till sin fördel.
- 2 Ingen risk är för stor när någon annan betalar.
- 3 Offentligt ägda bolag skapar en grogrund för gröna bubblor.
- 4 Ingen ställer kritiska frågor förrän det är för sent.

1.1 Väte – en grön bubbla?

Väte och vätgas har på senare tid framställts som en avgörande pusselbit för att nå målet om fossilfrihet. Finns det någon grund för dessa förhoppningar eller riskerar de vätgasbaserade satsningarna att bli ännu en grön bubbla?

Väte är den minsta av alla atomer; i den meningen kan den sägas vara universums minsta byggsten. Trots det utgörs universum till 75 procent av väte. I dag tror många att ny teknik baserad på vätgas är nyckeln till att omvandla i stort sett varje tung och smutsig industri till en grön näring. Dessa försök behöver förstås med utgångspunkt i vätets och vätgasens kemiska och fysikaliska egenskaper, vilka i sin tur ger upphov till såväl tekniska som ekonomiska utmaningar.

I stort sett dagligen annonseras någonstans i världen ytterligare en storskalig satsning på vätgas för någon ny, icke beprövad industriell tillämpning. EU har slagit fast att väte kommer att vara en central komponent i hur EU uppnår nollutsläpp av koldioxid redan 2050. En stor del av pandemistödets olika lån kommer dessutom att användas specifikt för att utveckla vätgasen som energibärande. I denna studie kommer följande frågor besvaras:

- 1 Vad vet vi om vätgas som energislag?
- 2 Vilka utmaningar och begränsningar är kopplade till vätgas?
- 3 Vilken roll har politiken gällande vätgas?

Med utgångspunkt i svaren på dessa frågor är det upp till läsaren att avgöra huruvida vätgas riskerar att bli ännu en grön bubbla. Det har skrivits spaltmeter om vätgas och då det gjorts så stora investeringar de senaste åren sker också framsteg. Syftet med studien är inte att granska all litteratur som finns om vätgas och därefter ge ett samlat omdöme om dess potential. Målet är snarare att ställa vätgasens fysikaliska, tekniska och ekonomiska egenskaper i relation till de förväntningar som växt fram gällande vätgasens potential.

Studien inleds med en genomgång av väteets fysikaliska och kemiska egenskaper. Därefter beskrivs den hajp som skapats runt vätegasen och vilken roll politiken haft i att skapa denna hajp. Sedan diskuteras stålprojekten i Norrland som ett viktigt exempel på hur politiskt beslutade stöd skapar en diskrepans mellan vätegasens inneboende begränsningar och förväntningarna på dess potential.

2 Vätets fysikaliska och tekniska egenskaper

För att förstå ekonomin och realismen i att använda vätgas industriellt behöver vätets kemiska och fysikaliska egenskaper beskrivas.

2.1 Väte: universums minsta atom

Väte är universums minsta och enklaste atom och var det första ämne som skapades vid Big bang. 75 procent av all materia i universum består av väte, nästan en fjärdedel är helium medan mindre än en procent är syre. Planeten jorden sticker ut i bemärkelsen att väte i fri form inte existerar och att det finns så många andra ämnen utöver väte och helium.

Väte består av en proton och en elektron. Vätgas är 14 gånger lättare än luft. I atmosfären finns inte något fritt väte. Luften består av kväve (78 procent), syre (21 procent), en liten del koldioxid (0,0415 procent) samt några andra gaser.

Att väte väger så lite och atomen är så liten innebär att den är svår att kapsla in och lagra, vilket gör vätgas dyr att lagra, förvara och transportera. Ett ämne blir mer reaktivt om det har ett elektronskal som är lätt att fylla upp; väte blir som en följd av detta en exceptionellt reaktiv atom som snabbt söker sig till en annan väteatom och bildar vätgas, H_2 .

Alternativt reagerar vätet med andra ämnen och blir byggstenar i större, sammansatta molekyler, till exempel vatten (H_2O) eller olika kolväten som metan (CH_4) och socker ($C_{12}H_{22}O_{11}$).

Per volymenhet innehåller väte mycket lite energi. Den låga energidensiteten innebär att stora volymer krävs om vätgas ska användas för energilagring eller energialstring.

2.2 Väte är inte en direkt energikälla

Som en följd av att såväl vätejoner (H^+) som vätgas (H_2) är mycket reaktiva förekommer de praktiskt taget inte i fri form i naturen utan tenderar att bindas och skapa andra ämnen, främst vatten och olika kolväten, såsom olja, naturgas, socker och cellulosa. Det går med andra ord inte att utvinna vätgas på samma sätt som man när man hittar och utvinner olja

eller naturgas. Väte måste därför framställas via energitillförsel för att åstadkomma en kemisk reaktion som resulterar i väte i fri form. Väte är därför inte en primär energikälla, utan ska snarare ses som en energibärare (energivektor).

2.3 Lagring och transport av vätgas

För att väte ska kunna transporteras måste det komprimeras, vilket ofta innebär att det måste göras om till flytande form. Emellertid kräver detta att temperaturen sänks till under $-252,7$ °C. För lagring av vätgas i komprimerad form krävs ett mycket högt tryck, vilket innebär att särskilda behållare behöver användas. Sådan komprimering kräver i sig stora mängder energi och vätgasmolekylens ringa storlek och höga reaktivitet ställer stora krav på lagringskärlen, vilket leder till tunga kärl som är dyra att utveckla och transportera (Furfari, 2022).

2.4 Hantering av vätgas är farligt

Att ett ämne är reaktivt, svårt att lagra, innehåller mycket energi och förekommer i gasform är en explosiv kombination. Handhavandet av vätgas kräver stor försiktighet och det finns flera historiska exempel på olyckor. Så sent som 2019 exploderade en tankstation i norska Sandvika. Furfari (2020, s. 98) uttrycker uttrycker det som att *“pure hydrogen is dangerous to the same degree as dynamite”*.

Distribution av väte är således en utmaning. Att bygga upp en infrastruktur för laddning med vätgas, transport av vätgas och vätgasanvändning i tätt bebyggda områden kräver stora tekniska framsteg jämfört med var tekniken i dag befinner sig.

Sammanfattningsvis kan sägas att även om färdig vätgas innehåller stora mängder energi krävs det stora mängder energi och ingenjörskap för att få fram väte i fri form. Väte ger förvisso bara vatten som restprodukt, men vägen dit är lång och går via ett flertal osäkra, energikrävande och farliga steg som sammantaget reser betydande frågetecken gällande vätgasens ekonomiska och miljömässiga potential.

2.5 Vätgas är en potent växthusgas

Ilissa Ocko, klimatforskare vid Environmental Defense Fund i Washington, säger till Bloomberg att vätgas är en avsevärt mer potent växthusgas än vad många människor inser. Transport och lagring av vätgas är i själva verket mycket svårt. När vätgasen läcker ut är den en indirekt växthusgas. En rapport från brittiska regeringen visar att samma mängd vätgas som koldioxid kan ha 33 gånger större inverkan på klimatet än koldioxid. Detta

beror på att vätgasen är så reaktiv och sätter i gång seriereaktioner, vilka i sin tur bidrar till mer växthusgaser i atmosfären (Warwick m.fl., 2022).

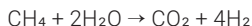
Vätgas som läcker ut absorberas till viss del av bakterier i marken. I tillägg kommer en del av vätgasen att reagera med hydroxidjoner, OH^- , och bilda vatten, H_2O . Detta är ett problem för i normalfallet reagerar hydroxidjonerna med metangas, CH_4 och neutraliserar metangasen, vilken är en 80 gånger mer potent växthusgas än koldioxid. Det innebär att när vätgas i stället reagerar med hydroxidjonerna riskerar effekterna på klimatet att bli betydligt allvarligare. Detta har poängterats av ett antal forskare vid Princeton University Engineering School, bland annat i den ansedda tidskriften *Nature* (Bertagni m.fl., 2022).

Det finns flera andra problem med läckage av vätgas. I den marknära delen av atmosfären skapar vätgasen ett antal seriereaktioner som i förlängningen ökar produktionen av ozon, O_3 , som inte bara är en växthusgas utan också är giftigt och en viktig orsak till smog. Högre upp, i stratosfären, leder vätgasen till att mängden vattenånga ökar, vilket innebär att mer värme stannar kvar i atmosfären.

2.6 Framställning av vätgas

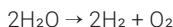
Vätgas kan framställas ur fossila källor eller genom elektrolys av vatten. Dessa två framställningsmetoder beskrivs mer ingående nedan.

Vätgas framställs ofta från metan (naturgas), CH_4 . Metan innehåller många väteatomer per kolatom, vilket innebär att det blir mer effektivt att utvinna vätgasen ur metan. Stora mängder värme behöver tillföras i en process som ser ut på följande sätt:



CO_2 är en önskad restprodukt och därför betraktas vätgas som framställs på det här sättet inte som grön. Denna vätgas kallas ibland för grå vätgas, då den leder till utsläpp av CO_2 .

Ett alternativt sätt att utvinna vätgas är att klyva vatten till syre och vätgas enligt följande reaktion:



Denna process är renare eftersom syre är den enda restprodukten. Reaktionen skapas genom att två elektroder sänks ner i vatten. När el tillförs kommer vätet att falla ut vid den ena elektroden medan syret faller ut vid den andra.

Dilemmat med så kallad grön vätgas är att det går åt stora mängder elektricitet för att separera väte och syre. Forskare lyfte fram detta problem redan 1912:

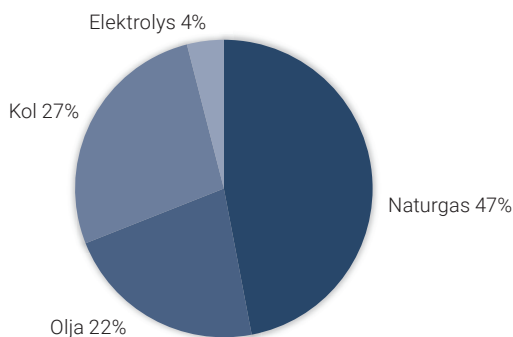
The efficiency of electrolysis apparatus reaches 90–95% of the theory: hydrogen is nearly pure (1% oxygen), but the very high cost price of the installations and electricity makes that it is only remunerate for oxygen production.

Paul Baud, *Chimie Industrielle*, Masson, Paris, 1912

Processen har dessutom bara en verkningsgrad på mellan 60 och 70 procent. Processen är trög och känslig, så den kräver stabil och förutsägbar eltilförsel, det vill säga raka motsatsen till el producerad med intermittenta kraftkällor som vindkraft och sol. Kärnkraft lämpar sig däremot särskilt väl för produktion av grön vätgas, särskilt om elpriset är lågt.

Som framgår av *Figur 1* kommer den vätgas som framställs i dag till 47 procent från naturgas, 22 procent från olja, 27 procent från kol medan endast fyra procent framställs genom elektrolys.

Figur 1. Framställning av vätgas.



Källa: Irena (2023).

Den årliga världsproduktionen av vätgas uppgår till 120 miljoner ton (Irena, 2023). Vätgas används i vissa industriella processer, såsom vid raffinaderier, metalltillverkning och för produktion av ammoniak och konstgödsel. Vätgas används också inom oljeindustrin för att göra om vissa kolväten till lättare oljeprodukter för användning inom olika områden. Vätgas används dessutom för att reducera svavelinnehållet i oljeprodukter, vilket är en starkt bidragande orsak till de kraftigt minskade utsläppen av svaveldioxid de senaste 40 åren. I stort sett all produktion av vätgas för dessa ändamål är i dagsläget baserad på naturgas och inte på elektrolys.

Hur kommer det sig då att i stort sett all framställning av vätgas utgår från naturgas? Experimentet med elektrolys är så enkelt att det ofta används inom kemiundervisningen på högstadienivå. Elektrisk ström separerar väte från syre, vätet blåser upp en ballong som sedan exploderar. Om elektrolys är en så okomplicerad process, varför används den knappt alls i dag? Inte ens på 1980-talet när många länder hade tillgång till stora mängder billig och stabil elektricitet i form av kärnkraft gjordes detta i någon betydande skala. Svaret är enkelt, och ett ständigt återkommande dilemma gällande vätgasen: Elektrolys kräver så stora mängder elektricitet att kostnaden än så länge kraftigt överstiger värdet av det som skapas.

Furfari (2021) jämför energiåtgången för produktion av vätgas från metan med produktion genom elektrolys. Om vattenånga används och syre utgör en restprodukt krävs sju gånger mer energi än vid användning av metan. Om i stället vatten i flytande form används för att skapa vätgas (med syre som restprodukt) behövs 4,5 gånger mer energi för produktion av vätgas med hjälp av elektrolys än om naturgas hade använts. Detta är inte bara signifikanta skillnader, det är så stora skillnader att de knappast kan överbryggas med teknisk utveckling eller radikalt fallande elpriser. Produktion av vätgas genom elektrolys är kostsam eftersom processen tar så stora mängder elektricitet i anspråk. Givet hur stark bindningen är mellan syre och väte i en vattenmolekyl är det svårt att se hur detta dilemma kan lösas med hjälp av teknisk utveckling.

Grå vätgas är heller inte bra för miljön. Låt oss jämföra produktionen av grå vätgas med konventionell förbränning av naturgas. Förbränning av naturgas innebär att metan reagerar med syre, vilket skapar energi, koldioxid och vatten:



Energien som skapas i denna process summerar till 802,5 kJoule per mol skapad vätgas.

Om vi i stället tillverkar väte som i nästa skede används för att skapa energi uppstår följande två processer. Först reduceras vätgasen bort från metan, detta sker med hjälp av vatten i stället för syre:



I denna process används 164,7 kJoule (kJ) per mol.

I nästa steg reagerar nu vätgasen med syre för att skapa elektricitet:



I detta steg genereras i stället stora mängder elektricitet, närmare bestämt 967,2 kJ per mol.

När vi jämför (2) och (3) tillsammans med (1) ser vi att de tillsammans ger resultatet koldioxid och vatten.

Vilket också blir resultatet i (1), det vill säga vid sedvanlig förbränning av naturgas med hjälp av syre. Den enda skillnaden är att vi har gått en omväg och tagit ut vätgasen i fri form för att sedan i nästa steg låta den förenas med syre till vatten.

Notera också att den totala energiåtgången är identisk om (2) och (3) gemensamt jämförs med ekvation (1). Vid förbränning av naturgas genereras 802,5 kJ per mol och vid framställning av vätgas som sedan reagerar med syre genereras $967,2 \text{ kJ} - 164,7 \text{ kJ} = 802,5 \text{ kJ}$ per mol.

Det finns med andra ord goda skäl till att vätgas inte används i stor skala som energikälla. Vätgasen är egentligen bara ett dyrt mellansteg. I ovanstående formler har inte ekonomiska och miljörelaterade kostnader för att skapa mellansteget vätgas tagits med i kalkylen. Detta kostar både pengar och energi, de olika omvandlingsstegen leder också till energiförluster, vilket innebär att utvinning av vätgas ur metangas är oattraktivt både ekonomiskt och ur miljösynpunkt (Furfari och Masson, 2017).

Energiåtgången för att producera vätgas ur vatten med hjälp av elektricitet är 4,5–6,9 gånger högre än energiåtgången för att producera samma mängd vätgas med hjälp av naturgas (Furfari, 2022). Produktionen av vätgas i världen genererar i dag ca 830 miljoner ton CO₂-utsläpp per år, vilket motsvarar 18 gånger Sveriges totala utsläpp. Ett sätt att minska CO₂-utsläppen skulle kunna vara att eliminera produktionen av grå vätgas och i stället gå över helt till produktion av vätgas genom elektrolys.

Världsproduktionen av grå vätgas var 94 miljoner ton år 2022. För att utvinna ett kilo vätgas ur nio kilo vatten åtgår 50 kWh el. Det innebär att det skulle krävas 4 700 TWh el för att i stället tillverka denna volym vätgas med hjälp av el.

4 700 TWh är 33 gånger mer än Sveriges totala elförbrukning och 16 procent av världens totala elförbrukning. Men den el som är tänkt att användas till vätgasproduktionen ska ju också vara förnybar. Ca 30 procent av all el i världen kommer från förnybara källor.¹ Om vi exkluderar vattenkraften där det inte sker någon tillväxt att tala om är andelen nästan exakt lika stor som den andel av världens elproduktion som skulle åtgå för att övergå till att tillverka all grå vätgas från el från förnybara källor.

Om vi i stället relaterar elbehovet till andelen av den fossilfria elproduktionen som behöver tas i anspråk ser det lite bättre ut – då 42 procent av världens elproduktion är fossilfri så skulle det handla om att detta skulle lägga beslag på knappt 40 procent av världens fossilfria elproduktion.

¹ <https://ourworldindata.org/electricity-mix>.

2.7 "Lagring" av energiöverskott med vätgas

Tanken att överskottet från intermittent elektricitet från exempelvis vindkraft ska lagras med hjälp av vätgas är inte ny. Frågan är varför den ännu inte har blivit realitet. Låt oss titta lite närmare på processens olika hypotetiska steg:

Elektricitet genereras (i vindkraftsverk) => Elektriciteten används för att spjälka upp vatten till vätgas och syre => Vätgasen lagras under högt tryck eller extrem kyla => Vätgasen transporteras => Vätgasen reagerar och blir elektricitet där den ska användas

En sådan process leder till betydande överföringsförluster. Kostnader för transporter av vätgas, kostnader för uppbyggnad av infrastruktur eller överkapacitet gällande vindkraft behöver beaktas. Teknologiska risker kopplade till vätgasens explosivitet ska heller inte negligeras. Om samtliga kostnader tas med är det således svårt att kalla detta för lagring av elektricitet.

3 Vätgas i dag: användning och hajp

Personligen anser jag att om fyrahundra år kommer energifrågan i England att ha lösts på följande sätt: Landet kommer att vara täckt med metalliska vindsnurror försedda med elektriska motorer, vilka i sin tur kommer att generera ström med mycket hög spänning till stora elektriska stamledningar. På lämpliga avstånd, kommer det att finnas stora kraftstationer där man, under blåsiga förhållanden, kommer att använda överskottsenergin för att genom elektrolytisk sönderdelning av vatten framställa syre och väte. Dessa gaser kommer att transformeras till flytande form och lagras i stora reservoarer, förmodligen i underjorden. [...] Under tider av vindstilla, kommer gaserna att nyttjas till att driva explosionsmotorer uppkopplade som dynamos och åter producera elektrisk energi, eller ännu troligare via bränsleceller. (egen översättning)

John Haldane, University of Cambridge, 1921

Citatet ovan ger visst historiskt perspektiv på vätgasen. Väte upptäcktes år 1766 av den brittiske forskaren Henry Cavendish. Sedan dess har såväl forskare som ingenjörer undersökt olika tillämpningsområden och olika sätt att framställa vätgas.

Haldane hade byggt modeller för hur elektricitet skulle kunna skapas med hjälp av vindkraft och att väte sedan skulle skapas genom elektrolys. Tanken var att det sinande kolet skulle kunna ersättas av vätgas. Även i början av 1930-talet fanns det liknande tankegångar i Tyskland. Hermann Honnef, vid Berlins fysikinstitut menade att elektricitet skulle kunna genereras från vindkraft som i sin tur skulle kunna lagras genom att producera vätgas.

Under de kommande decennierna kom oljans framväxt att bidra till ökad konsumtion av fossila bränslen. Visst intresse för väte bestod emellertid. General Motors byggde en prototyp till bil som skulle drivas på väte 1966. Precis som alla andra satsningar på väte ledde det inte till något annat än prototyper och konceptbilar.

Redan före den första oljekrisen uttryckte Europeiska kommissionen entusiasm över vätgasen:

Among all possible solutions to this [energy] problem, one stands out as being particularly interesting: hydrogen. What are the main ways this element would lend itself to the transfer of nuclear energy in various ways? For its wide range of possible uses in a wide variety of sectors where there are energy needs. Its "clean" combustion, which makes it interesting from a pollution point of view. It is superfluous to underline here the growing importance, not to say necessity, of this factor in a technologically advanced society.

Hydrogen has a great potential for the future as an interesting energy carrier from the point of view of the variety of its uses. (Beghi, 1972)

70-talets oljekris ledde till att Västvärlden började söka efter alternativa energikällor och vätgasen fick återigen ett uppsving när Europeiska kommissionen sjösatte ett flertal större forskningsprojekt på området. Man lanserade Oil and Gas Demonstration Programme som delvis bidrog till att utveckla teknologier för att utvinna olja och naturgas ur Nordsjön. Man stödde också utvecklingen av kärnkraft och initierade forskning med syfte att göra kolkraftverken renare.

Kommissionen förutspådde att väte skulle bli så billigt och lättanvänt att det skulle fungera som bränsle för mängder av applikationer. Kommissionen menade 1983 att Europa skulle klara sig utmärkt utan fossila bränslen tack vare väte. Sent 80-tal initierade Kommissionen och Quebec i Kanada ett samarbete om att tillverka väte och sedan skeppa vätet över Atlanten. När Kanadas premiärminister Justin Trudeau i augusti 2022 proklamerade att Kanada skulle hjälpa Tyskland ur landets energikris genom att skeppa vätgas fanns det med andra ord en viss historisk koppling. Som vi ska se nedan, saknades dock realism i båda fallen.

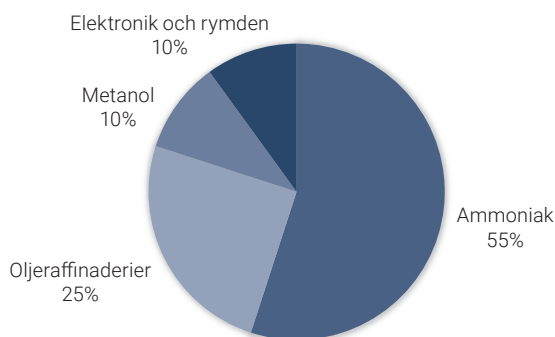
I takt med att oljepriset föll tappade också vätet en del av sin attraktionskraft under 1980- och 90-talen. Vätgasen fick återigen mer uppmärksamhet under början av 2000-talet, inte minst i och med Jeremy Rifkins bok *The Hydrogen Economy* (2006) och flera andra publikationer (t.ex. Clark och Rifkin, 2006; Rifkin, 2002).

3.1 Användning av vätgas

Produktionen av vätgas har ökat markant de senaste 50 åren. Den har tredubblats sedan 1975 och år 2019 producerades 70 miljoner ton globalt. År 2022 producerades 75 miljoner ton ren vätgas globalt och 45 miljoner ton där vätgasen är uppblandad, vilket totalt ger 120 miljoner ton (Irena, 2023). Vätgas har i dag flera olika industriella tillämpningar. Vätgasen har främst använts för kemiska ändamål knutna till miljö snarare än som energikälla. Som vi konstaterat ovan är vätgas inte att betrakta som en energikälla utan en energibärare, och en ganska dålig sådan.

Figur 2 visar hur vätgas användningen fördelar sig på olika områden. 55 procent av vätgasen används för att göra ammoniak (NH_3), som i sin tur främst blir till gödningsmedel för jordbruket. Vätgas fyller med andra ord en viktig funktion i att skapa ett resurseffektivt jordbruk, vilket i sin tur leder till lägre matpriser och högre levnadsstandard. Näst efter produktion av ammoniak används 25 procent av vätgasen i oljeraffinaderier, 10 procent för produktion av metanol och 10 procent för produktion av olika elektroniska komponenter.

Figur 2. Användning av vätgas i dag.



Källa: Furfari (2022).

Ett område där vätgas använts framgångsrikt är hanteringen av svaveldioxid, SO_2 . Råolja innehåller svavel och vid förbränning av fossila bränslen reagerar detta svavel med syre på ett sådant sätt att biprodukten blir svaveldioxid, vilket ger upphov till surt regn och försurning. Genom att låta oljan reagera med vätgas kan svavlet separeras och svavelfria oljeprodukter skapas. Som en följd av detta har utsläppen av svaveldioxid minskat radikalt i Västvärlden. I takt med att miljömedvetenheten i världen tilltar lär länder som Kina och Indien i framtiden också ställa krav på minskade svavelutsläpp, vilket kommer att bidra till ytterligare ökning i efterfrågan på vätgas (Furfari, 2017).

Utsläpp av svaveldioxid har emellertid fortsatt inom sjöfarten, där olja med höga svavelhalter fortfarande används för att den är billig. Denna "bottom of the barrel" inom sjöfarten är emellertid på väg bort. För Östersjöns del beslutade man redan 2015 att det inte är tillåtet att bränna bunkerolja med en högre svavelhalt än 0,1 procent. Detta är också ett viktigt skäl till att flytande naturgas används alltmer inom sjöfarten.

Sammanfattningsvis kan sägas att väte i dag har flera viktiga industriella tillämpningar och att efterfrågan kommer att öka de kommande decennierna. Dessa tillämpningar handlar emellertid om att involvera väte i olika kemiska reaktioner för att få bort oönskade bieffekter eller för att framställa andra kemikalier, inte minst ammoniak. Väte har inte använts storskaligt för förbränning och produktion av energi av den enkla anledningen att det kräver mer energi att producera väte än den energi förbränningen av väte ger.

3.2 Hajp runt vätgasen

De senaste åren har vätgasen fått alltmer uppmärksamhet i Bryssel och runtom i Västvärlden. Jones och Pielbags (2021, s. 11) skriver

The Commission has made a deliberate and systematic technology choice in favour of only renewable hydrogen.

EU:s Green Deal innehåller ett flertal kvantitetsmål gällande produktionen av vätgas. Bland annat har följande mål satts upp:

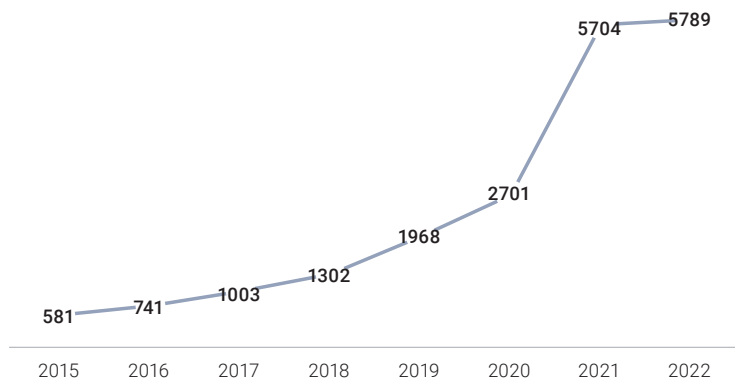
- EU ska producera minst en miljon ton grön vätgas 2020–2024, vilket ska öka till 10 miljoner ton 2030.
- Grön vätgas ska i stor skala användas i de sektorer där det är svårt att minska CO₂-utsläppen på andra sätt (Europeiska kommissionen, 2020)

Genomgången ovan pekar mot att såväl naturvetare som tekniker och ekonomer bör lyfta ett flertal invändningar avseende vätgasens potential. All sådan försiktighet står emellertid i kontrast till den hajp som ägt rum de senaste åren.

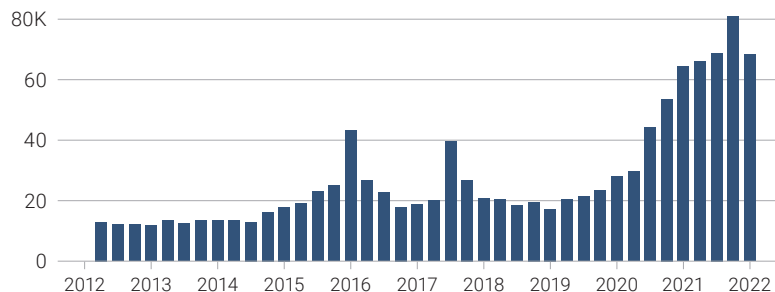
Ett sätt att visualisera hajpen är att se hur många träffar ordet "vätgas" ger i Retriever Mediearkivet.² *Figur 3* visar att det sker nästan en fördubbling 2015–2017, vilket därefter följs av mer än en femdubbling fram till 2021–2022. Mönstret är likartat hos Bloomberg (*Figur 4*).

² Retriever Mediearkivet är en databas med nyhetsartiklar från svensk media.

Figur 3. Antal träffar i Mediearkivet för "vätgas", 2015–2022.



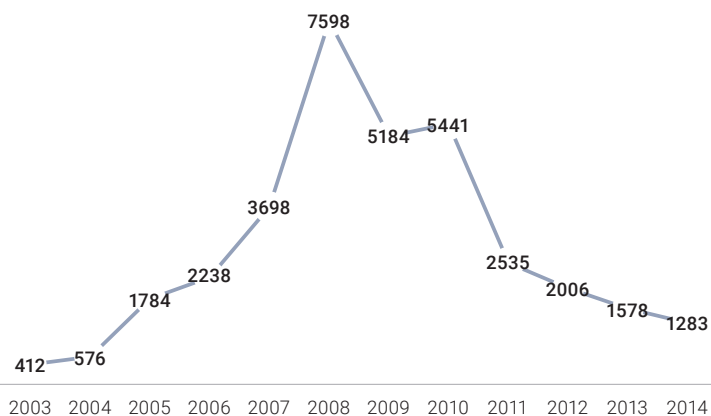
Figur 4. Antal omnämningen av "hydrogen" på Bloomberg per kvartal, 2012–2022.



Källa: Bloomberg News TrendsTool.

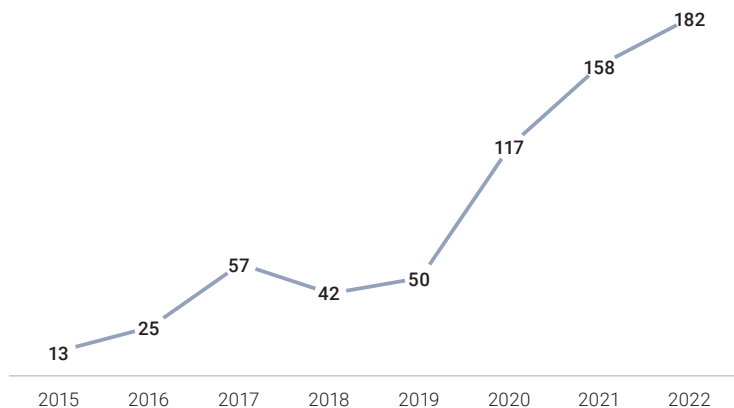
Den tiofaldiga ökningen i uppmärksamhet för vätgas under perioden 2015–2022 kan jämföras med uppmärksamheten runt etanol 2003–2014. Som framgår av *Figur 5* nedan blev etanol föremål för en betydande hajp under åren 2003–2008; den mediala uppmärksamheten kring etanol tjugofaldigades under dessa år. I efterhand vet vi att etanolen var en grön bubbla, medan det återstår att se gällande vätgasen.

Figur 5. Antal träffar i Mediarkivet för "etanol", 2003–2014.



I anslutning till gröna bubblor förekommer ofta formuleringar om att satsningen är världsledande eller världsunik. I en sökning i Retriever Mediarkivet på kombinationen av vätgas och "världsledande"/"världsunik" syns också en snabbt tilltagande trend över tiden (Figur 6). Antalet artiklar och pressklipp som innehåller denna kombination av sökord har ökat nästan 15 gånger under perioden 2015–2022.

Figur 6. Antal träffar i Retriever Mediarkivet för "vätgas" och/eller "världsledande"/"världsunik", 2015–2022.



3.3 Toppolitikerna och vätgasen

Vätgasen har blivit ett sätt för politiker i Västvärlden att signalera miljömedvetenhet och godhet. Man behöver inte leta länge för att hitta rejält uppskrivade citat från högt uppsatta politiker när det gäller vätgasens potential. President Joe Biden has avsatt åtta miljarder dollar för att bygga minst fyra "vätgashubbar" där bränslet kommer att produceras och användas. Delstater har börjat tävla om att erhålla dessa medel. Amerikanska energiföretag ser nu vätgas som den nya frälsaren och mer än 20 vätgasprojekt har initierats de senaste två åren (Bloomberg, 2022).

Ursula von der Leyen skrev följande på Twitter i november 2021:

Renewable hydrogen will be key to the climate-neutral economy of the future. I'm proud that Europe is the world's clean hydrogen trailblazer.³

Vid EU:s Hydrogen Week under samma tid fanns det många formuleringar av det här slaget. von der Leyen:

Clean hydrogen will have a central place in the climate-neutral economy of the future.⁴

Över tid verkar Europeiska kommissionen bli alltmer offensiv gällande just vätgas. I september 2022 föreslog kommissionen att man skulle skapa European Hydrogen Bank, som skulle stå som garant för olika vätgassatsningar. von der Leyen uttalade sig om satsningen:

It will be able to invest 3 billion euros to help building the future market for hydrogen.

Sättet att göra detta skulle enligt von der Leyen vara att göra massiva satsningar:

To achieve this, we must create a market maker for hydrogen, in order to bridge the investment gap and connect future supply and demand.⁵

Inrättandet av en vätgasbank motiveras med att premien för miljöstatsningar inte är tillräckligt stor. von der Leyen igen:

I avsaknad av en tillräcklig grön marknadspremie för tidiga projekt är strategin bakom den europeiska vätgasbanken att täcka och så småningom också minska kostnads-gapet mellan förnybar vätgas och de fossila bränslen som den kan ersätta.⁶

³ <https://twitter.com/vonderleyen/status/1465295052687745026?s=20>.

⁴ President von der Leyen opens the European Hydrogen Week | EU Commission Press – PubAffairs Bruxelles.

⁵ European Commission to set up European Hydrogen Bank - CEENERGYNEWS.

⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:52023DC0156>, s. 6.

I december 2022 fortsatte kampanjen:

*We want to make hydrogen a central part of our energy system in the transition to zero carbon emissions and we want to maintain our pioneering position as we build a global market for hydrogen.*⁷

Satsningarna på vätgas verkar också ha utvecklats till något av en bilateral vänskaps-signaliering, som regeringsöverhuvuden och andra politiker använder för att signalera vänskapliga relationer med varandra. När Kanadas premiärminister Justin Trudeau träffade von der Leyen i mars 2023 aviserades gemensamma vätgas-satsningar:

*The enhanced action plan on hydrogen will mobilize investment, support businesses, share expertise and get clean Canadian hydrogen to Europe. ... Fundamentally, it's about good middle-class jobs, economic growth and clean energy.*⁸

3.4 Vätgashajp i Sverige

Den tilltagande politiska hajpen runt vätgas har också spridit sig neråt i systemet – allt fler regioner, företag och kommuner sjsätter vätgasinitiativ. Listan fylls fortlöpande på och det verkar finnas få gränser för vilka problem vätgasen ska lösa. Som en följd av de olika EU-programmen för vätgas med tillhörande motfinansiering från svenska myndigheter dyker det nu upp mängder av initiativ runt vätgas i Sverige. Listan är lång:

- I avfolkningskommunen Ånge planeras en satsning på två vätgasfabriker. Företaget RES Renewable Norden har för avsikt att leverera grön vätgas till industrin inom några år.
- Enligt Tege Törnvall, biljournalist, finns det fem vätgasmackar i Sverige. Det danska bolaget Everfuel har för avsikt att bygga tio till under 2023. Dessa 15 kan jämföras med omkring 2 700 bensinstationer och 200 gasstationer.⁹
- I Växjö initierades utvecklingsprojektet "Helsäker landsbygd" i juni 2022. Här är målet att skapa en solcellspark som ska producera vätgas i Växjö. Med hjälp av ett vätgas-lager på 1 500 kilo som påstås "klara elförsörjningen i bygden under minst 14 dagar vintertid". Spillvärmern från vätgasproduktionen ska användas till lokala grönsaks-odlingar (Växjöbladet Kronobergaren, 24 mars 2023)

⁷ Presented the H2Med interconnector. Von der Leyen: "It will be the backbone of hydrogen" (agenzianova.com).

⁸ <https://globalnews.ca/news/9532750/ursula-von-der-leyen-canada/>.

⁹ Så sent som den 15 november 2023 var antalet vätgasmackar i Sverige fortfarande bara fem (<https://www.energigas.se/fakta-om-gas/vatgas/tanka-vatgas/>).

- Semcon arrangerade i mars 2023 en vätgasdag på World Trade Center i Växjö. Semcons representanter säger att man "vill ligga i framkant i den gröna omställningen avseende klimat och energi. Vätgasen har framtiden för sig." (Magazinet Växjö, 2023)
- I Alvesta görs en satsning där vätgas ska kombineras med sol- och vindkraft. Ett antal lokalpolitiker skriver i Smålandsposten i mars 2023: "Vår gemensamma ambition är att i handling motverka klimatförändringarna och bidra till grön tillväxt. Vi hoppas att Alvesta kan utgöra förebild för andra kommuner som tvekar inför liknande satsningar och visa att vi kan skapa både framtidstro, stolthet och attraktionskraft."
- Uniper och Sasol ecoFT skrev en avsiktsförklaring tillsammans med Sollefteå kommun om att företagen skulle undersöka möjligheten till etablering av SkyFuelH2 i Långsele. Dåvarande näringsminister Karl-Petter Thorwaldsson var på plats i Långsele och var redo att tillstyrka ansökan för medfinansiering från Energimyndigheten med 261 miljoner kronor. Man talar om möjligheter till 100 nya arbetstillfällen.¹⁰
- Mariestads kommun fick närvara vid Klimatoppmötet i Glasgow 2021 för att berätta om sina satsningar på vätgas. För en mindre kommun i Sverige kan detta bara beskrivas som en PR-mässig kometkarriär in i världens rampljus och då finns det liten orsak att ifrågasätta de satsningar som görs. Kommunstyrelsens ordförande Johan Abrahamsson noterade att "Vätgasen har satt oss på kartan" (Åberg, 2023).
- I december 2021 meddelade Naturvårdsverket att företaget REH2 får 355 miljoner i investeringsstöd från Klimatklivet för att bygga tankstationer för vätgas.¹¹
- I november 2021 lanserade Energimyndigheten en nationell strategi för fossilfri vätgas.¹²
- En vätgasfärja planeras för sträckan Österåker–Stockholm till år 2025. I lokalpressen beskrivs projektet som privat initierat av Stockholmsföretaget Green City Ferries och rederiet Antophia, som även har för avsikt att skapa lokalproducerat bränsle." (Mitt i Österåker, 2023)
- Gotlandsbolaget har för avsikt att skapa en båt som går på vätgas och vara i trafik från 2030 (Hamnen.se, 2022).

¹⁰ <https://www.uniper.energy/sv/sverige/jetfuel>.

¹¹ Klimatklivet administreras av Naturvårdsverket. Det är ett investeringsstöd till satsningar på fossilfri framtidsteknik och grön omställning. Det kan sökas av företag, kommuner, regioner och organisationer i hela Sverige. Klimatklivet delfinansieras av EU:s återhämtningsfond, NextGenerationEU. I slutet av oktober 2023 hade Klimatklivet beviljat 13,7 miljarder kronor i investeringsstöd till 5 246 klimatåtgärder runt om i landet.

¹² <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2021/forslag-till-nationell-strategi-for-fossilfri-vaetgas/>.

- Göteborgs Hamn planerar för vätgasproduktion som ska sjösättas i mitten av 2023. Arvid Guthed, hamnutvecklingschef vid Göteborgs Hamn (Dagens Logistik, 2022): "Vi vet att det redan nu finns en stor efterfrågan i och kring hamnen att använda fordon som drivs av vätgas. Flera aktörer står och stampar och vi är övertygade om att lokal produktion av vätgas kommer att innebära ett genombrott." Hösten 2023 aviserade man än en gång att det planeras för vätgasproduktion i Göteborgs Hamn, följaktligen verkar planerna vara försenade (Vätgasbloggen, 2023).
- Företaget Lhyfe och Härjedalens kommun har kommit fram till att det finns förutsättningar för vätgasproduktion i Sveg. Restprodukterna från processen utgörs av värme och syrgas, dessa kan enligt företrädare för satsningen användas till uppvärmning av exempelvis växthus och syrgasen kan användas till fiskodlingar (Herjedalen.se, 2023).
- Trelleborg planerar att öppna en vätgasmack med egenproducerad vätgas. De håller även på att bygga tre fastigheter som ska bli självförsörjande vätgashus. Man vill även producera konstgödsel av vätgasen och erbjuda grön vätgas till de industrier i nordvästra Skåne som i dag själva tillverkar vätgas från naturgas. Magnus Sahlin, vd för Trelleborgs Energi, slår fast att "Trelleborg vill bli Sveriges klimatsmartaste kommun och vätgas är en av lösningarna för att klara energifrågan." (Vätgas Sverige, 2021)
- Nordic Hydrogen Route, ett initiativ mellan Gasgrid Finland och Nordion Energi, syftar till grön industrialisering och förbättrad självförsörjningen för energi, främst genom att] bygga väginfrastruktur i Bottenviksregionen och en öppen vätgasmarknad till 2030." Dåvarande energi- och digitaliseringsminister Khashayar Farmanbar var entusiastisk: "Satsningen på vätgas är historisk och stärker Bottenviken som region samtidigt som det förstärker det nordiska samarbetet. Det är glädjande nyheter för en energiminister i en tid som denna!" (Ny Teknik, 2022)
- I Uppsala har man startat ett bolag vid namn H2CAB som enbart ska köra med vätgasdrivna taxibilar.

3.5 Sammanfattning: politisk hajp kring vätgasen

Tysklands forskningsminister, Anja Karliczek och vd:n för Siemens Energy, Christian Bruch, sa till Frankfurter Allgemeine Zeitung att grön vätgasteknik främst är beroende av lagstiftning och regleringar för ett genombrott snarare än forskning. Detta kan ses som en förskönande omskrivning av slutsatsen att den "gröna vätgas-strategin" egentligen saknar teknisk och ekonomisk bärkraft. Furfari sammanfattar:

The political world should be more careful before drawing plans on the comet: promising a miracle solution, at a cost impossible to achieve. And this, while respecting a totally unrealistic timetable for implementation, totally incompatible with the innumerable constraints of any order that must be overcome or circumvented, and of which apparently, politicians have not measured the magnitude, or worse, of which they seem to ignore the existence.

Enligt Furfari är det många inom Europeiska kommissionen som menar att dessa storskaliga satsningar på vätgas drivs av politiska motiv och krafter i Europaparlamentet som inte vilar på expertis: *"A lot of people inside the Commission feel the same, but they cannot speak out."*¹³

Furfari lyckades samla en grupp av 14 tidigare högt uppsatta tjänstemän inom Europeiska kommissionen, som skrev en vädjan till Kommissionen i december 2020 där de bad Kommissionen att "skärskåda sin vätgasstrategi utan inflytande från särintressen som söker subventioner och att de borde erkänna att massproduktionen av vätgas från intermittenta energikällor är en illusion."

Expertgruppen kritiserade även Europeiska kommissionen för att ha lanserat vätgas som ett stort tema inom ramen för EU:s Green Deal utan att ha gjort någon ordentlig konsekvensanalys, trots att det finns decennier av forskning som påvisar den låga effektiviteten och de höga kostnaderna. Forskargruppen använde Tyskland som ett avskräckande exempel där man menade att stora delar av försöken att skifta till ett fossilfritt samhälle varit katastrofala.

Furfari (2020) skriver följande om vätgasen:

We are witnessing irresponsible promises that are unrealistic and uneconomic, which will create disillusionment, bitterness, and discontent among the citizens.

Man behöver inte hålla med Furfari i denna slutsats för att ändå konstatera att dagens förhoppningar om användning av vätgas inte står i proportion till de underliggande tekniska och ekonomiska realiteterna. Därmed finns det risk för att en ny grön bubbla håller på att skapas.

¹³ <https://www.naturalgasworld.com/the-hydrogen-illusion-interview-with-samuel-furfari-on-his-explosive-new-book-gastransitions-85316>.

4 Framställning av stål med vätgas

Ambitionerna att framställa stål med hjälp av "grön" vätgas behöver förstås i ljuset av att vätgas är en energibärare snarare än en energikälla. Som vi ska se blir elanvändningen snabbt ett dilemma och det är svårt att se hur dessa mängder el ska genereras.

I konventionell ståltillverkning framställs stål genom att järnoxiden reduceras med hjälp av koks. Resultatet blir stål och koldioxid. Om vätgas används i stället för koks blir restprodukten vatten och inte koldioxid. I teorin låter detta fantastiskt i all sin enkelhet. Idén är heller inte ny, utan diskuterades exempelvis redan 1972 av Europeiska kommissionen där tjänstemannen Giorgio Beghi skrev följande i en rapport:

Before this technique can be used on an industrial scale, a research and development effort is still necessary. However, the prospects for this reduction technique seem favorable, compared to that of coke.

Hur kommer det sig att denna potential ännu efter ett halvsekel inte har realiserats? Som konstaterats ovan behöver produktionen av den erforderliga vätgasen tas i beaktande vid en granskning av eventuell miljönytta.

Om grå vätgas används är den enda skillnaden från konventionell stålproduktion att CO₂ produceras i det föregående steget i stället för i direkt anslutning till reduktionen av järnoxid. I fallet när vätgas produceras ur vatten krävs 4,5 till 6,9 gånger mer energi än vid användningen av naturgas, beroende på om man använder vatten eller vattenånga (Furfari, 2022). För att ställa om hela världens stålproduktion till att ske med icke-fossilt genererad vätgas skulle det krävas elektricitet motsvarande 912 kärnkraftsreaktorer där varje reaktor genererade 8,16 TWh per år (Mairy, 2022).¹⁴

Den vätgasbaserade stålproduktionens effekter på miljön behöver därför analyseras med utgångspunkt i hur elproduktionen sker. I dagsläget sker 62 procent av världens elproduktion genom användning av fossila bränslen som olja, kol och naturgas. Det framstår som osannolikt att en så kraftig expansion av energiförbrukningen vore möjlig utan att nettoeffekten blir en ökad produktion av fossilt genererad elektricitet.

¹⁴ Det totala antalet kärnkraftverk i världen är ca 450.

4.1 Det vätgasbaserade stålet i Norrland

Hybrit står för Hydrogen Breakthrough Innovation Technology. Hybrit initierades av de två statliga bolagen Vattenfall och LKAB samt det av LKAB och finska regeringen kontrollerade SSAB. Utöver detta har även H2 Green Steel skapats, ett initiativ av riskkapitalisten Harald Mix och Carl-Erik Lagercrantz, som syftar till att göra stål med hjälp av vätgas utanför Boden. Tanken är att använda vätgas i stället för koks för att reducera järnmalmen till järnsvamp och att sedan tillverka stål i elektriska ljusbågsugnar från en blandning av skrot och järnsvamp. Restprodukten blir då vatten i stället för CO₂, en process som i teorin är renare och i praktiken fossilfri. Hybridsatsningen handlar också om att göra fossilfri järnsvamp av hela LKAB:s malmproduktion, detta med målet att göra hela kedjan i stålproduktionen fossilfri.

Satsningarna har fått stor och uteslutande positiv uppmärksamhet under de senaste åren. Formuleringar om "det största teknikskiftet inom stålindustrin på 1 000 år" kombinerades med entusiastiska formuleringar om "det stora språnget" inom stålproduktion (Sveriges Radio, 2020).

Under sin tid som statsminister lovordade Stefan Löfven Hybrits pilotanläggning:¹⁵

Ur arbetslöshet och klimathot kan snart gröna jobb med nollutsläpp växa. Här finns en chans till export av inte bara stål utan kol utan också en världsunik teknik.

För dem som följt hur politiker som dåvarande statsminister Göran Persson gjorde liknande uttalanden runt etanolproduktion under tidigt 2000-tal och hur politiker ofta passat på att fila på sitt anseende genom att förknippas med satsningar på biogas, etanol eller vindkraft borde parallellerna stämma till eftertanke.

Det är inte bara i Sverige som toppolitiker uppmärksammat satsningen. I sitt State of the Union-tal till Europaparlamentet 2020 använde Ursula von der Leyen just Hybrit som exempel på hur vätgasen kan användas:

För två veckor sedan inleddes ett unikt pilotprojekt för fossilfri stålproduktion i Sverige. I projektet ersätter man kol med vätgas för produktion av rent stål. Det här visar på vätgasens potential att ge industriföretagen nya miljövänliga möjligheter.¹⁶

Von der Leyens kollega Frans Timmermans, som är ansvarig för EU:s Green Deal, sa i september 2020:

*There is no future for grey steel in Europe. But an incredible future for green steel and hydrogen.*¹⁷

¹⁵ Regeringen (2020).

¹⁶ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/sv/SPEECH_20_1655.

¹⁷ SSAB (2020).

Timmermans var på besök i Sverige våren 2022 för att dela ut 143 miljoner euro till Hybrit-projektet och sa då:

Hybrit banar väg för en fundamental förändring i den globala stålindustrin” ... [g]rönt stål är framtiden, och den framtiden är redan här.¹⁸

Få kritiska frågor ställdes i anslutning till Timmermans besök.

4.2 Offentliga stöd till vätgasstålet

Hybrit-projektet skickade in en ansökan till Energimyndigheten där man ber om bidrag på totalt 4,9 miljarder kronor. I december 2023 beviljades 3,1 miljarder av de äskade medlen. Redan innan Timmermans-pengarna på 143 miljoner euro förra året hade Hybrit fått omfattande statliga stöd via EU:s olika nya finansieringsinstrument.

2018 delade Energimyndigheten ut 528 miljoner kronor till Hybrits pilotfas (Energimyndigheten, 2018). Den totala kostnaden beräknades till 1,4 miljarder kronor och resterande belopp betalades i praktiken också av skattebetalarna då helstatliga Vattenfall stod för dessa medel. Energimyndigheten delade också ut 47 miljoner kronor 2019 till forskning om vätgaslager (Energimyndigheten, 2019). Hybrit-företagen investerade utöver detta 150 miljoner i vätgaslager och år 2020 fick man ytterligare anslag från Energimyndigheten.¹⁹ Enligt egen utsago har Hybrit hittills lagt två miljarder på denna satsning (IVA, 2023). I ansökan till Energimyndigheten på totalt 16 miljarder ber man om ett stöd på 4,9 miljarder som ska kombineras med EU-medlen enligt ovan. Resterande tio miljarder ska de statliga bolagen investera som egna medel, vilket tillsammans med stödet från EU summerar till 16 miljarder kronor (Dagens industri, 2022).

Satsningarna i Norrland på så kallat fossilfritt stål behöver förstås och analyseras med utgångspunkt i vätgasens inneboende utmaningar.

4.3 Vätgasstålet i förhållande till andra behov

Elbehovet. Hybrit-företagen och H2 Green Steel har tillsammans för avsikt att öka elbehovet med ca 85 TWh per år, fördelat på 70 TWh för LKAB:s järnsvamp, 2 TWh för SSAB:s vätgasstål och 13–17 TWh för H2GS redan år 2030. Detta motsvarar mer än Finlands totala årliga elanvändning, sex gånger vattenkraftsproduktionen i Norrbottens län och mer än hälften av Sveriges nuvarande elanvändning.

¹⁸ Expressen TV (2022).

¹⁹ Energimyndigheten (2022).

De cirka 85 TWh el som krävs för stålproduktionen kan ställas i relation till andra elkonsumenter. I *Tabell 1* jämförs dessa satsningars elbehov med elanvändningen hos de företag som i dag förbrukar mest el i Sverige och med den totala konsumtionen i de nordiska länderna. Totalt har man alltså för avsikt att använda 77 gånger mer el än all el som Volvo, Sveriges största privata arbetsgivare, använder. Enbart H2 Green Steel har för avsikt att använda mer el än hela Skåne län.

Tabell 1. Stora elanvändare 2021 och framtida elbehov.

Användare	TWh
Stora Enso	11
SSAB	4,7
Boliden	4,6
Essity	4,3
Volvo	1,1
ABB	1
LKAB tillverkning av järnsvamp	70
SSAB vätgasstål	1–2
H2 Green Steel	13–17
Totalt vätgasstål	98
Finland	81
Danmark	32
Norge	123
Skåne län	12

Källa: Dagens industri (2022).

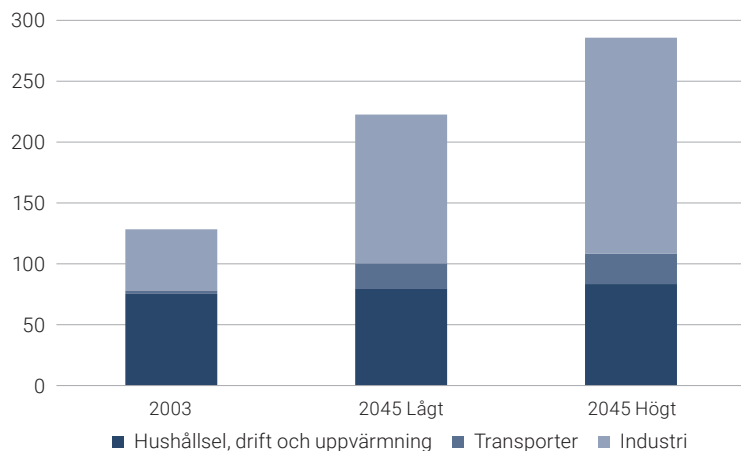
Den totala vattenkraftproduktionen i Norrland är ca 57 TWh per år och med nuvarande lagstiftning är ingen ytterligare utbyggnad möjlig. Det ökade behovet på 85 TWh måste därför primärt komma från intermittenta energislag som vindkraft eller från utbyggd kärnkraft. När mängden vindkraft ökar i elsystemet minskar tillförlitligheten – priserna blir högre och mer volatila. En sådan expansion av elbehovet i norr är därför knappast förenlig med ett stabilt elsystem i norr.

Samtidigt har södra Sverige och stora delar av Europa hamnat i ett stagflationsliknande scenario med ökande kostnader som en följd av höga elpriser. Affärspressen rapporterar om oräknliga företag som antingen inte vågar investera och expandera därför att elförsörjningen är osäker eller helt enkelt inte kan få ett elavtal oavsett vad de är beredda att betala.

4.4 Vätgasstålet och det svenska elsystemet

Det svenska elbehovet beräknas som en följd av de "gröna" industrisatsningarna att växa dramatiskt under de kommande decennierna. I de prognoser som ligger har man uppskattat att hushållens elbehov för drift och uppvärmning kommer att vara i stort sett oförändrat samt att det kommer att ske en viss ökning inom transporter medan den absoluta huvuddelen av ökningen är knuten till industrisatsningarna i Norrland (Figur 7).

Figur 7. Planerad ökning av Sveriges totala elbehov från 2019 till 2045, TWh.



Källa: Ekonomifakta (2022) och Energiföretagen (2021).

Är satsningarna på vätgasbaserat stål förenliga med ett fungerande svenskt elsystem för norra och södra Sverige? När Hybrit fick sina första anslag från Energimyndigheten lovade man att utreda frågan i mer detalj. Peter Wennblad (2022) har visat att denna utredning aldrig gjordes; det enda som skapades var 12 powerpointbilder inklusive försätsblad. Vad som har beskrivits som den största satsningen i svensk industrihistoria och som erhållit miljarderna i skattemedel från såväl EU som svenska myndigheter har i praktiken inte besvarat de mest grundläggande frågorna gällande elförsörjning och konsekvenserna för det svenska elsystemet av en sådan expansion.

Låt oss ta en närmare titt på den svenska energimixen och hur den har utvecklats. Vindkraft och andra intermittenta kraftkällor var praktiskt taget försumbara i det svenska elsystemet så sent som 1998. Vindkraften fördubblades under perioden 2016–2021, medan kärnkraftens andel minskade i snabb takt. Sverige har hamnat i en strukturell elkris som en följd av detta skifte. När nu omkring 33 TWh kommer från vindkraft blir systemet alltmer volatilt, leveranssäkerheten minskar och priserna fluktuerar kraftigt.

Det saknas svar på varifrån elektriciteten ska komma till LKAB:s järnsvampstillverkning (70 TWh) och H2 Green Steels produktion i Boden (13–17 TWh). Det går bara att spekulera i hur en sådan expansion av det svenska elsystemet skulle gestalta sig. Med en omfattande utbyggnad av kärnkraften skulle det i teorin vara möjligt att göra vätgas-satsningarna. Om elektriciteten ska komma från vindkraft framstår det inte som rimligt att denna expansion av elbehovet är förenlig med en pålitlig elförsörjning, varken för Hybrit-satsningen eller för resten av samhället. Enligt Sundén (2023, 2024) är det dessutom långt ifrån säkert att LKAB:s järnsvampstillverkning med hjälp av vätgas kan skalas upp till större volymer på ett ekonomiskt konkurrenskraftigt sätt.

4.5 Samhällsekonomiska effekter av vätgasstålet

Stora industri- och miljö-satsningar görs ofta med motivet att de har positiva samhällsekonomiska effekter. Detta gäller såväl skapandet av arbetstillfällen ("gröna jobb") som resonemang om återindustrialisering och utveckling av världsledande teknik med tillhörande positiva externa effekter.

När sådana kalkyler görs i syfte att torgföra projekten saknas ofta en uppskattning av alternativkostnaden. Om stora resurser tas i anspråk för att skapa arbetstillfällen är det möjligt att den totala effekten på sysselsättning och arbetslöshet blir negativ eftersom resurserna hade kunnat göra mer nytta på annat håll.

Alternativkostnaden för 85 TWh torde vara betydande för såväl den svenska ekonomin som för miljön. Kapital- och elintensiva industrier tenderar att vara dyra, det vill säga det genereras relativt få arbetstillfällen i förhållande till resurserna som tas i anspråk.

LKAB:s satsning på "fossilfri" järnsvamp beräknas leda till 150–200 nya arbetstillfällen medan H2GS menar att de kommer skapa 1 500 arbetstillfällen genom att ta 13–17 TWh i anspråk (Henrekson m.fl., 2021). Bolaget kommer alltså att ta lika mycket elektricitet i anspråk som hela Skåne som har 600 000 arbetstillfällen. Gällande H2 Green Steels satsning i Boden har den av Johansson och Kriström (2022) beräknats medföra en samhällsekonomisk förlust på mellan 200 och 250 miljarder kronor.

4.6 Klimatnyttan

Alternativkostnaden behöver även tas i beaktande när man granskar den eventuella klimatnyttan av dessa satsningar. Det torde vara självklart att så stora mängder fossilfri elektricitet har en alternativ användning. Den som enbart vill fokusera på sänkta CO₂-utsläpp hade enligt professor Björn Karlsson kunnat sänka dessa dubbelt så mycket genom att använda svensk elektricitet för att ersätta el från polska kolkraftverk (Ny Teknik, 2019).

Intressant nog finns det redan i dag återvunnet stål, det vill säga stål som görs genom att smälta ner skrot. SSAB menar att det skrotbaserade stålet kommer fortsätta att växa och uppgå till 50 procent av världsmarknaden inom några decennier. Enligt andra scenarier, exempelvis från International Energy Agency i Wien, kommer det att ta ännu mer marknadsandelar. Det bör poängteras att skrotbaserat stål aldrig har handlats till någon premie på marknaden. Skrotbaserat stål kräver enbart 5–20 procent av den energi som krävs vid traditionell stålproduktion (FTI, 2009; Sundén, 2023).

4.7 Sammanfattning: Är vätgasbaserat stål en grön bubbla?

Gröna bubblor har tidigare uppstått när förväntningarna inte står i proportion till de underliggande tekniska och ekonomiska realiteterna. Inte sällan har denna diskrepans skapats av politiskt allokerade offentliga medel som gjort att riskmedvetandet underminerats. De mekanismer som givit upphov till tidigare bubblor kan nu skönjas på vätgasområdet, inte minst när det gäller det vätgasbaserade stålet. Produktionen av vätgas genom elektrolys är extremt elkrävande. Hur denna elektricitet ska genereras och hur det ska kunna ske samtidigt som elsystemet förblir stabilt är en fråga som inte tagits på tillräckligt stort allvar.

5 Slutsatser

Analysen i denna studie visar att den uppmärksamhet och de förhoppningar som kopplas till satsningarna på vätgas inte står i proportion till vätgasens underliggande tekniska och ekonomiska potential. Även om det sker teknisk utveckling över tiden gör vätets fysikaliska egenskaper det svårt att se någon betydande potential i storskalig användning av vätgas för energjämdamål.

De tekniska och ekonomiska realiteterna är i själva verket begränsande faktorer, inte minst gällande så kallad grön vätgas, vilken kräver exceptionellt stora mängder elektricitet och långt mer energi än vid framställning med hjälp av naturgas. Detta dilemma blir särskilt tydligt gällande stålsatsningarna i Norrland, där vätgas från fossilfri el är tänkt att användas.

Dessa realiteter står i bjärt kontrast till den politiska argumentationen runt vätgas där såväl toppolitiker inom EU som på det nationella planet lyfter vätgassatsningar som centrala för att uppnå målet om fossilfrihet senast 2050. På EU-nivå har 430 miljarder euro ställts till förfogande för de företag som satsar på vätgasbaserad teknik. Anslagna EU-medel matchas sedan ofta av bidrag på nationell nivå. Uppmärksamheten kring vätgas har mer än tiofaldigats på några få år och i den växande diskrepansen mellan stödmiljarder och begränsad teknisk potential finns anledning att befara att gröna bubblor kommer att uppstå. Det finns därmed en påtaglig risk att vätgassatsningarna leder till besvikelser som slår tillbaka mot vätgasen på lång sikt.

Referenser

- Antonoli, A. (1971). "La riduzione diretta e l'energia nucleare", *La Metallurgia Italiana*, nr 1, s. 12.
- Beghi, G. (1972). "Hydrogen as an energy vector: New future prospects for applications of nuclear energy", Commission of the European Communities, Joint Nuclear Research Centre Luxembourg, maj.
- Björnemalm, R. och Sandström, C. (2023). "Interest groups and the failure of transformative innovation policy: Insights from the ethanol car bubble in Sweden 2003–2013", Working paper nr 362. Stockholm: Ratio.
- Bertagni, M. B., Pacala, S. W., Paulot, F., m.fl. (2022). "Risk of the hydrogen economy for atmospheric methane", *Nature Communications*, 13, artikel nr 7706.
- Clark, W. W. och Rifkin, J. (2006). "A green hydrogen economy", *Energy Policy*, 34(17), s. 2630–2639.
- Dagens Logistik (2021). "Göteborgs hamn planerar för vätgasproduktion", 2 november.
- Europeiska kommissionen (2020). "A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, COM(2020)301 final". Bryssel.
- Dagens industri (2022). "Hybrits nota för anläggningen: 16,2 miljarder", 15 december.
- Ekonomifakta (2022), Elproduktion, www.ekonomifakta.se.
- Energiföretagen (2021). "Efterfrågan på fossilfri el, Analys av högnivåscenario", genomförd av Energiforsk och Profu på uppdrag av Energiföretagen Sverige Profu: Jenny Gode, Ebba Löfblad, Thomas Unger, Julia Renström, Johan Holm och Stefan Montin. Slutrapport 2021-04-23. Stockholm: Energiforsk och Profu.
- FTI (Förpacknings- och tidningsinsamlingen) (2009). "Visste du att...". <http://www.ftiab.se>.
- Furfari, S. (2017). *The Changing World of Energy and the Geopolitical Challenges: Understanding Energy Developments*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Furfari, S. (2020). *The Hydrogen Illusion*, eget förlag.
- Furfari, S. (2021). "Heating up by burning Louis Vuitton handbags", *European Scientist*, 7 oktober.

- Furfari, S. och Masson, H. (2017). "Why is industrial hydrogen produced from natural gas and not by water electrolysis? The Enthusiasm for Hydrogen#", *European Scientist*, 24 mars.
- Hamnen.se (2022). Nya Gotlandsfärjan gör 35 knop på vätgas, 8 oktober.
- Härjedalen.se (2023). "Lhyfe och Härjedalens kommun fortsätter samarbetet om vätgasproduktion i Sveg", 24 mars.
- IVA (2019), "Biter det svenska fossilfria stålet", <https://www.iva.se/event/biter-det-svenska-fossilfria-stalet/>. Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien.
- Irena (2023). "Hydrogen", Hydrogen (irena.org). International Renewable Energy Agency.
- Jones, C. och Piebalgs, A. (2021). "The Commission's proposal of a 'Fit for 55' legislative package: what impact could it have?", European University Institute, Robert Schuman Centre for Advanced Studies, *Policy Brief*, Issue 2021/56.
- Johansson, P. och Kriström, B. (2022). "Paying a premium for 'green Steel': Paying for an illusion?", *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 13(3), s. 383-393.
- Mairy, B. (2022). "Green hydrogen for a clean steel industry", *SE2*, april.
- Mitt i Österåker (2023). "Kommunen positiv till vätgasfärja till Stockholm" 25 mars.
- Ny Teknik (2022). "De vill bygga 100 mil långa vätgasledningen", 22:e april.
- Rifkin, J. (2002). "The dawn of the hydrogen economy. *RMA Journal*, 85(2), s. 16–22.
- Rifkin, J. (2006). *The Hydrogen Economy: Making the Transition to the Third Industrial Revolution and a New Energy Era*. New York, NY: Palgrave Macmillan.
- Sandström, C. och Alm, C. (2022). "Directionality in innovation policy and the ongoing failure of green deals: Evidence from biogas, bio-ethanol, and fossil-free steel", s. 251–272 i K. Wennberg och C. Sandström (red.), *Questioning the Entrepreneurial State: Status Quo, Pitfalls, and the Need for Credible Innovation Policy*. Cham: Springer.
- Sandström, C. och Björnemalm, R. (2023). "Gröna bubblor uppstår av politiska systemfel", *Ekonomisk Debatt*, 51(1), s. 71–74.
- Sandström, C. och Björnemalm, R. (2022). "Hur uppstår gröna bubblor? Lärdomar från etanolbubblan som sprack", *Ekonomisk Debatt*, 50(5), s. 65–71.
- Sundén, D. (2023). *Från grönt till brunt – Bedömning av satsningarna på fossilfritt stål i Norrland utifrån ett teknik- och marknadsperspektiv*. Malmö: Skandinaviska Policyinstitutet
- Sundén, D. (2024). *Lönsam eller kostsam? Lönsamhetsbedömning av de svenska satsningarna på fossilfritt stål i Norrland*. Malmö: Skandinaviska Policyinstitutet

- Warwick, N., m.fl. (2022). "Atmospheric implications of increased hydrogen use", UK Government, London.
- Vätgasbloggen (2023). "Vätgasproduktion planeras i Göteborgs hamn", 5 september.
- Vätgas Sverige (2021). "Trelleborg blir första staden att etablera en tankstation i den nordiska vätgaskorridoren", 26 augusti.
- Wennblad, P. (2022). "Hybrids forskning blev bara en powerpoint", *Svenska Dagbladet*, 9 december.
- Wild, R. (1969). "Iron ore production processes, chemical and process engineering", *Chemical and Engineering Processing*, februari, s. 55–61.
- Åberg, J. (2023). "Politiska styret positiva till projektet: 'Vätgasen har satt oss på kartan'", *Mariestads-Tidningen*, 20 mars.
- Österåker, (2023) Vätgasdriven passagerarbåt till Österåkers skärgård, 24 maj.

Om författaren

Christian Sandström är biträdande professor vid Internationella Handelshögskolan i Jönköping och forskningsinstitutet Ratio i Stockholm. Hans forskning handlar om samspillet mellan teknisk, politisk och industriell omvandling. Sandström disputerade 2010 vid Chalmers tekniska högskola och blev docent där 2014. Han har fått flera utmärkelser för sina insatser som lärare och har även forskat vid Cambridge University och ETH i Schweiz.

Christian Sandström har publicerat mer än 30 artiklar i internationella vetenskapliga tidskrifter och är en av redaktörerna för de internationella samlingsvolymerna *Questioning the Entrepreneurial State: Status Quo, Pitfalls, and the Need for Credible Innovation Policy* (Wennberg och Sandström, 2022) och *Moonshots and Industrial Policy: Questioning the Mission Economy* (Henrekson, Sandström och Stenkula, 2024). I dessa volymer granskas den växande trenden mot storskalig uppifrån styrd industripolitik för att uppnå ambitiösa samhällsmål, så kallad missionsorienterad innovationspolitik.

Senior biträdande professor Christian Sandström ·
Internationella Handelshögskolan i Jönköping · Gjuterigatan 5, 553 18 Jönköping ·
Epost: christian.sandstrom@ju.se · Tel: +46 73-705 01 37

