

För- och nackdelar med olika typer av nollemissionsfordon

- en rapport från arbetspaketet Analys i Next Move-projektet

Erik Wiberg, Vätgas Sverige

September 2013

www.nextmove.info



Innehåll

| | |
|--|---|
| För- och nackdelar med olika typer av nollemissionsfordon..... | 2 |
| Batterifordon..... | 2 |
| Snabbladdning..... | 3 |
| Batteribyte..... | 3 |
| Direktöverförd ström..... | 4 |
| Bränslecellsfordon..... | 5 |
| Komprimerad vätgas..... | 6 |
| Flytande vätgas..... | 7 |
| Andra sätt att lagra vätgas..... | 7 |
| Tabellsammanställning För- och nackdelar..... | 8 |

1 För- och nackdelar med olika typer av nollemissionsfordon

I slutet av 1800-talet ansågs på flera håll i Europa stadsmiljön bli allt mer lidande av de många transporter som bedrevs med häst och vagn. Detta ansågs emellertid löst med bilens intåg de nästföljande årtiondena, där utsläppen från bensindrivna motorer knappt var märkbara. Sedan dess har mycket kunskap kommit mänskligheten till känna, först de lokala problemen med NO_x, SO_x och partiklar. På detta följde diskussioner om klimatpåverkan på en global skala. Bensinmotorers förträfflighet har därmed ifrågasatts, trots effektiviseringar och nya tekniker. Allt fler städer har under slutet av 1900-talet kommit fram till ytterligare ett paradigmskifte behövs; fordon som helt saknar skadliga utsläpp, såväl för miljön som klimatets skull. Dessa har kommit att kallas nollemissionsfordon. I denna studie som behandlar för- och nackdelarna med olika nollemissionsfordon definieras de som fordon som endast har utsläpp i form av ämnen som inte påverkar miljö och klimat negativt på ett nämnvärt sätt. Detta innebär att batterifordon och bränslecellsfordon kan räknas in, men inte biogasfordon, där växthusgasproblematiken hanteras men inte helt och hållet lokalmiljön. Inte heller pluginhybridfordon räknas in, då de i ju för sig kan undvika utsläpp i stadskärnor genom att då använda eldrift, men klimatmässigt påverkar de ändå i stor utsträckning när förbränningsmotorn körs.

För att göra resonemanget riktigt relevant behöver även lastfordon räknas in, speciellt då de används i stor utsträckning i städer; alltifrån små distributionsbilar till stora långtradare.

Studien fokuserar på det som skiljer de olika teknikerna åt, varför aspekter som bättre tillgång till el ombord och tystare fordon lämnas därhän.

1.1 Batterifordon

De stora fördelarna med batterifordon är att elen de laddas med är billig och att det finns god tillgång på förnyelsebar el som gör framdriften miljövänlig. Detta görs dessutom med hög verkningsgrad i samtliga steg. Befintlig infrastruktur kan användas för batterifordon i en inledande fas, om enbart laddning hemma är godtagbart, vilket flera studier visat. Om ett stort antal batterifordon eller en lokalt hög koncentration av batterifordon introduceras kommer däremot förstärkningar av elnätet behövas, vilket ger en viss infrastrukturkostnad. Om dessutom snabb-laddningsstationer behövs blir kostnaderna ytterligare högre. Ett batterifordon som bara har elmotor och inte på något sätt är hybridiserat har dessutom en enkel och relativt billig konstruktion med låga underhållskostnader, betydligt lägre än förbränningsmotordriva fordon. Utöver det minskade underhållet på motorn minskar bromsunderhåll betydligt eftersom i stort sett alla tillverkare utrustar sina fordon med bromskraftsåtervinning vilket gör att energin återmatas till batteriet istället för att kylas bort i bromsskivor.

Ett resultat av den höga effektiviteten i drivlinan är att det inte blir någon spillvärme över för kupévärmes som istället får skötas antingen elektriskt eller med en brännare som använder annat bränsle. I de fall el används är det ett relativt dåligt utnyttjande av högvärdig och relativt dyrlagrad energi. Konstruktionen av helelektriska fordon är som sagt relativt billig, men kostnaden för batteriet är betydligt högre. För att batterifordon ska kunna nå en massmarknad behöver batterikostnaden sjunka betydligt. Räckvidden är

begränsad i batterifordon, och eftersom laddning tar betydligt längre tid än att tanka bensin eller diesel kan detta bli påtagligt för de användare som avser använda fordonet mer än cirka 100 km/dag med de fordon som finns för närvarande. En aktör som satsar på större batterier men av samma typ som andra tillverkare är Tesla. Deras Model S har en räckvidd på 430 km vilket med den strömstyrka som brukar vara tillgänglig hos elkunder idag med befintlig infrastruktur ger en betydligt längre laddningstid än fordonen med kortare räckvidd. Kalla temperaturer kan ytterligare minska räckvidden, vilket gör räckviddsfrågan än viktigare i exempelvis Norden.

1.1.1 Snabbladdning

Snabbladdning är en bra affär för den svenska industrin. Med företag som ABB kan snabbladdning på global skala ge ypperliga affärsmöjligheter, då ABB redan engagerat sig i detta och har en mycket lång erfarenhet av elkraftkomponenter. Fördelen med snabbladdning är att det gör batteribilen attraktiv som förstabil, då den kan användas även för de längre men ovanligare sträckorna. Så länge räckvidden är under 200 km fungerar inte batteribilar speciellt bra som långdistansfordon, men det är ändå viktigt att de kan färdas även längre sträckor när detta är nödvändigt, vilket blir möjligt med snabbladdning. Prismodellerna är inte helt klara för snabbladdning, men om en snabbladdningsstation används sällan och ägaren har ett vinstintresse är en enkel slutsats att priset för strömmen behöver vara relativt högt.

En del av kostnaden för snabbladdningsstationer är kostnaden för elnätsavgiften, då höga strömstyrkor används. För att skapa en prismodell som uppmuntrar kunden att snabbladda när det är som gynnsammast för elnätet kan prissättningen vara dynamisk efter elnätssituationen, eller att begränsa strömstyrka när elnätet är som hårdast belastat. Detta skulle i sin tur göra att laddstationens inverkan på elnätet blir mindre negativ och leda till ett avtal med lägre elnätsavgift för laddstationsägaren.

Ett problem med att snabbladda fordon vid dessa längre men ovanliga sträckor är att laddningsbehovet riskerar att sammanfalla för många bilanvändare, exempelvis för snabbladdningsstationer i fjällen under Stockholms sportlovsvecka, vid kustdestinationer över sommarhelger eller vid stora konserter och andra evenemang. Detta gör att köer och en ohållbar transportsituation kan uppstå. Det skulle kunna lösas vid tillfälliga evenemang med tillfälliga laddningsstationer, men det kan innebära stora merkostnader.

Batterislitage är ett problem med snabbladdning, men detta skulle kunna hanteras med nya batterityper. Slitaget ökar generellt med kortare laddningstid, vilket gör att snabbladdning kanske inte sker tillräckligt snabbt för att det ska vara attraktivt för kunden om batteriet samtidigt ska behandlas för lång tids användning.

1.1.2 Batteribyte

En stor fördel med batteribyte gentemot snabbladdning är att elnätet inte belastas på samma sätt eftersom batterier kan laddas när elnätet inte är högt belastat. Batteribyte möjliggör även mycket snabb energiöverföring; betydligt snabbare än vid snabbladdning. Dessutom ökar inte laddningstiden nödvändigtvis med batteristorleken. Problemet med att många bilar behöver laddas samtidigt vid evenemang eller liknande situationer som

beskrivits under "Snabbladdning" ovan kan lösas med att fler batterier transporteras till batteribytestationerna i förväg.

Ett batteribytestsystem kräver betydligt fler batterier än fordon, och eftersom batteriet är en betydande del av fordonskostnaden gör detta att kapitalkostnaden för hela systemet ökar betydligt.

Systemet ställer höga krav på standardisering, vilket skulle kunna gå att genomföra, men det finns risk att fordonstillverkare inte hellre placerar batterierna i ett tyngdpunkts- och designmässigt optimalt läge än för att de ska vara lättåtkomliga för automatiskt byte. Standardisering minskar även innovationsutrymmet för enskilda fordonstillverkare, vilket kan anses negativt.

Även batteribytestationerna kräver en kraftig elanslutning om många batterier ska kunna laddas snabbt, men batteribytestationerna beräknas kunna serva många fordon vilket gör att den utslagna kostnaden för elnätsavgiften blir lägre per laddning.

Ett företag som arbetat storskaligt med batteribytestationer i Israel och Danmark är Better Place. De fick mycket uppmärksamhet med sin teknik och hade ett avtal slutet med en biltillverkare som levererade en mindre serie bilar. Better place har dessvärre ansökt om konkurs, vilket innebär att den största pådrivande parten för batteribyte inte längre är aktiv. Kort efter att Better Place meddelat sin konkursansökan svarade Tesla med att demonstrera ett batteribyte på sin Model S som nyligen börjat levereras, bytet tar 90 sekunder vilket är Teslas starkaste argument. Tesla är en viktig part inom batterifordon som visat stort engagemang inom infrastruktur, och fortsatt förespråkar även snabbladdning.

1.1.3 Direktöverförd ström

Flera företag arbetar med direktöverförd ström från vägen till fordonet, bland andra Siemens, Bosch, Alstom, Volvo och Scania. De fokuserar framförallt på lastbilar, men några tekniker skulle även tillåta personbilar att använda systemet. I princip bygger det på att fordonet laddas kontinuerligt från antingen en strömskena i vägen, överhängande strömledningar eller induktivt från under asfaltsbeläggningen.

Ett system av denna typ skulle ha stor påverkan på elnätet, hur exakt det skulle se ut finns ännu inga studier på. Fördelarna är framförallt att räckvidden är obegränsad och el som tidigare beskrivits är billigt. Systemet skulle innebära en betydande kapitalinvestering, men om detta kan överföras till brukarna behöver inte återbetalningstiden var lång. Det finns en mängd frågor som relaterar till själva strömöverföringsinterfacet, men det beror på överföringsteknik och de system som kommit längst har hittills bara konstruera kortare teststräckor, varför det är svårt att uttala sig om dem. Det svåra är egentligen inte själva tekniken, utan hur den ska implementeras på ett storskaligt sätt, och hur den kommer interagera med annan infrastruktur såsom vägar och elnät.

1.2 Bränslecellsfordon

De fördelar som syns tydligast för konsumenten när det gäller bränslecellsfordon är den långa räckvidden (runt 600-700 km) och korta tanktiden (3-5 min). Detta gör att vätgasfordon även kan användas i professionella fordonsflottor där fordonen används långa sträckor varje dag. Även större fordon kan förses med bränsleceller; lastfordon och bussar exempelvis. Vätgas kan framställas på många olika sätt; från biogas, från elnätet eller direkt från intermittenta energikällor. På forskningsstadiet finns även teknik för att direkt från solljus producera vätgas utan el som mellanled.

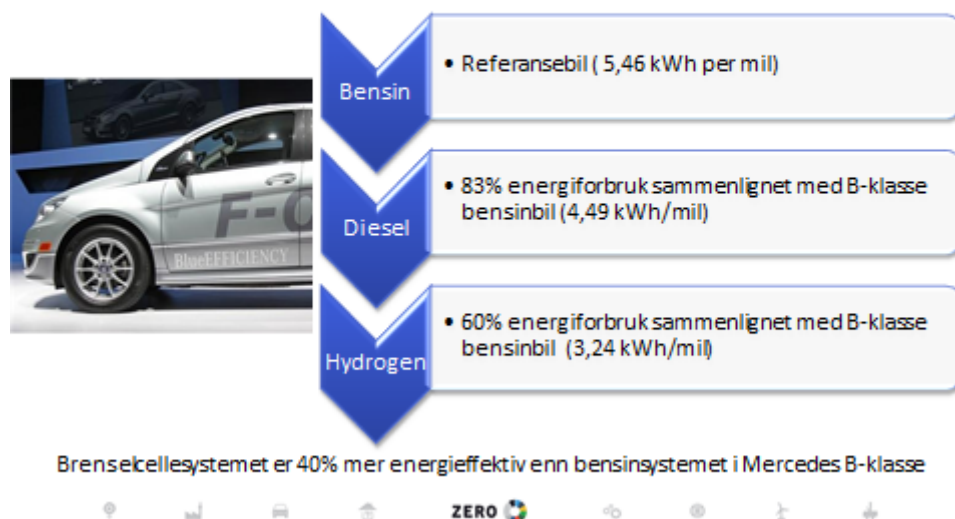
I och med att vätgas kan produceras direkt från el, och dessutom med en kraftigt varierande elkälla, lämpar sig vätgas i transportsystemet även som elnätsförbättrande åtgärd. Detta eftersom en stor buffertkapacitet kan införas vilket gör att elen kan användas för att producera fordonsbränsle när det finns god tillgång, och produktionen kan stängas av när elnätet belastas kraftigt. Detta kan till och med göras med så kort varsel att elektrolysörerna som framställer vätgas från el och vatten kan användas för frekvensreglering. Denna typ av flexibilitet gör att vätgas som fordonsbränsle tillåter en högre grad av intermittent elproduktion i elnätet. Att bränslet produceras inom landet ökar energisäkerheten, på samma sätt som det gör för elfordon. Skillnaden är att bränsle vid tankstationer inte är sammankopplat på samma sätt som elnätet, vilket gör att försörjningstryggheten ökar jämfört med batterifordon. Ett sådant distribuerat system för bränslelagring blir betydligt robustare än elnätet, där mycket av elproduktionen och energilagren i form av dammar finns enbart i norr.

Honda har visat att deras bränslecellsfordon även kan användas för att leverera ström till en villa med sin bränslecell, om en naturkatastrof eller liknande skulle inträffa. Detta skulle också kunna göras med en batteribil, men eftersom betydligt mer energi finns lagrat i en vätgasbil kan det göras under längre tid med dessa, och bränsle kan fyllas på om det fortfarande finns tillgängligt vid en tankstation. Bränsleceller använder en del platina i katalysatormaterialen, vilket gör att en del av bränslecellskostnaden är kopplad till världsmarknadspriset på detta. Utvecklingen har de senaste åren dock visat betydligt minskade behov av platina, genom materialutveckling. Det bedrivs omfattande projekt dels för att fortsatt minska mängden ädelmetall, dels för att byta ut ädelmetaller mot mer vanliga metaller.

Utöver energisäkerheten utgör inrikes bränsleproduktion en betydligt bättre beskattningsbas än import av oljeprodukter, då hela värdekedjan finns inom landet. Även handelsbalansen skulle påverkas positivt av detta. Utöver de direkta skatteintäkterna skulle det också skapa grund för allt fler arbetstillfällen i Sverige.

Effektiviteten är betydligt lägre från el till vätgas och tillbaka till el ombord på fordonet med vätgas än med batteri. Däremot bildas värme vid framställningen vilken kan användas för fjärrvärme eller direkt lokaluppvärmning eller till industriprocesser. Även värmen som bildas ombord kan användas, då till kupévärme. En ytterligare synergi är att syrgas bildas vid elektrolys, vilken kan användas antingen till industriella processer, eller för förbränning av biobränslen i ren syreatmosfär, vilket ger i stort sett ren koldioxid som utsläpp, vilket direkt kan lagras med CCS-teknik. Detta är förmodligen det billigaste sättet att aktivt reducera den koldioxid som redan finns i atmosfären. Dessa fördelar kan verka små var för sig, men i ett systemperspektiv gör de stor skillnad för affärsmodellen.

Mercedes B-klasse - et enkelt energiregnestykke



Figur 1: Energieffektivitet bränslecellsfordon

1.2.1 Komprimerad vätgas

Det finns lång erfarenhet av att lagra gas komprimerad i tankar ombord på fordon, bland annat från biogasfordon. Tekniken är därmed känd, även om den utvecklats för högre tryck i vätgasfordon för att öka räckvidden. Tankarna tar dock relativt stor plats i fordonet jämfört med en bensin- eller dieseltank, något flera fordonstillverkare ändå visat vara möjligt att integrera i existerande bilmodeller såsom Mercedes B-klasse och Hyundais IX-35.

I och med att vätgasen tankas i gasform är det möjligt att med bara elektrolysör och kompressorer på tankstationen gå från el till vätgas. Med hjälp av bufferttankar kan vätgasen produceras vid ett tillfälle och tanka vid ett annat vilket minskar belastningen på elnätet från den annars relativt kraftiga elanslutningen.

Det rådande trycket i fordonstankar för bränslecellsfordon är 700 bar, men det är inte självklart att detta är det lämpligaste trycket, då det går åt en del energi för att komprimera vätgasen till detta tryck, och kompressorerna står för en avsevärd del av tankstationskostnaden. Trycktankarna är dessutom en betydande del av fordonskostnaden. För att tankning ska kunna genomföras på kort tid behöver även vätgasen kylas till -40 grader om 700 barstryck används, vilket ytterligare ökar kostnaden för tankstationen och energianvändningen. Bussar och transportfordon använder i regel 350 bars tryck i fordonstankarna, vilket ger kortare räckvidd men lägre kostnader. Det kan tyckas omständligt med två olika tryck, men jämfört med bensin av olika oktantal där separat distribution krävs är det betydligt enklare; samma kompressorer kan användas till stor del och samma bufferttankar.

1.2.2 Flytande vätgas

Flytande vätgas uppnås genom att den kyls ned till en temperatur nära den absoluta nollpunkten. Flytande vätgas har högre energidensitet än trycksatt, och vid tankning uppstår ingen värme som det gör vid tankning av komprimerad gas. Tankningen kan därför göras snabb, och eftersom ingen kompressor heller behövs kan tankstationerna göras billiga. Det är relativt enkelt att transportera flytande väte i en för ändamålet avsedd tankbil, vilket gör att inga kraftiga elanslutningar behövs till elektrolysör.

När det flytande bränslet fyllts på i ett fordon förvaras det i en tank, ofta kryokomprimerat, vilket innebär att när gasen sakta tinar och övergår i gasform i den isolerade tanken ökar trycket till ungefär 350 bar. Om fordonet körs så sällan att mer bränsle övergår i gasform i tanken än vad som används ökar trycket ytterligare och gasen släpps ut efter att först ha reagerat katalytiskt med luft, vilket gör att det släpps ut i form av vatten. Eftersom då bränslet går förlorat är det mindre lämpligt som bränsle i personbilar där det är osäkert hur lång tid de kommer vara stående innan de används nästa gång. När det gäller professionella flottor och även lastbilar är det desto lämpligare, eftersom bränsleåtgången kan beräknas betydligt noggrannare. Fartyg och eventuellt även flyg är andra möjliga applikationsområden för flytande väte som bränsle, och om mer bränsle omsätts på grund av detta kan även priserna för vätgas sjunka i och med stordriftsfördelar vid framställning och distribution.

En lösning kan för privata bilar vara att utrusta fordon med 350-bar kryokompressionstankar och att de fylls med trycksatt vätgas när fordonet går kortare sträckor, eller så pass lite flytande väte att trycket inte blir högre än 350 bar, men att fordonet även kan tankas med flytande väte när längre räckvidd är önskvärt inför en planerad resa. Detta skulle leda till billigare infrastruktur i form av 350-barsstationer och stationer för flytande vätgas.

1.2.3 Andra sätt att lagra vätgas

Det finns även andra förslag på vätgaslagring, bland annat i vätebärare i form av ammoniak och metanol. Metanol har nackdelen att det släpper ut koldioxid, vilket gör att en koldioxidkälla krävs som återbinder koldioxid från luften för att bränslet ska vara utsläppsfritt totalt sett. Ammoniak består av kväve och väte, och det kan antingen reformeras eller så kan elektrolys användas för att extrahera vätet. Båda alternativen förkastas för närvarande av biltillverkare eftersom en reformer ombord som klarar den effekt som krävs skulle bli dyr och komplex, och även kunna kräva en betydande del ädelmetaller.

Ett tredje sätt att lagra väte i är metallhydrider. I dessa interkaleras väteatomerna i en metallisk struktur och tar där mindre plats än till och med flytande väte. Detta används bland annat i ubåtar och bränslecellsdrivna batteriladdare för mobiltelefoner. Medan metallhydrider effektivt gör att bränslet tar mycket liten plats, blir det istället väldigt mycket tyngre. Därför anses de metallhydrider som finns tillgängliga idag inte attraktiva i personbilar. En ytterligare variant är Metal Organic Frameworks (MOFs). I dessa används nanostrukturer såsom nanorör för att interkalera väte. Dessa har inte samma viktökande resultat som metallhydrider, men en mycket låg temperatur krävs för att de inte spontant ska släppa ifrån sig väte.

1.3 Tabellsammanställning För- och nackdelar

| Batterifordon | |
|-------------------------|------------------|
| <i>Fördelar</i> | <i>Nackdelar</i> |
| Billigt med el | Värme i fordonet |
| Hög effektivitet | Dyra batterier |
| Okomplex teknik | Räckvidd |
| Befintlig infrastruktur | Temperaturer |

| Snabbladdning | |
|------------------------|---|
| <i>Fördelar</i> | <i>Nackdelar</i> |
| Bra för Sverige - ABB | Tillräckligt snabbt? |
| Möjliggör längre resor | Batterislitage |
| | Problem vid större evenemang |
| | Kraftiga anslutningar till elnätet – dyra driftkostnader. |

| Batteribyte | |
|---|--------------------------------|
| <i>Fördelar</i> | <i>Nackdelar</i> |
| Evenemang, flytta dit batterier innan | Kräver fler batterier än bilar |
| Väldigt snabb energiöverföring | Betterplace – konkurs |
| Ställer krav på batteriplacering | |
| Stora krav på standardisering | |
| Kräver relativt kraftig elanslutning till stationerna | |

| Direktöverförd ström | |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| <i>Fördelar</i> | <i>Nackdelar</i> |
| Obegränsad räckvidd | Elnätspåverkan |
| Billiga fordon | Stor offentlig kapitalinvestering |
| | Kräver stor skala |

| | |
|--|--|
| FCEV | |
| <i>Fördelar</i> | <i>Nackdelar</i> |
| Energilagring i elnätet | Effektivitet lägre – men värme från elektrolysörer kan användas. |
| Ökad energisäkerhet | Platina |
| Lång räckvidd | |
| Snabb energiöverföring | |
| Möjlighet att framställa vätgas på många olika sätt. | |
| Möjligheter att tillverka bränslet inom landet – skatteintäkter. | |
| Även till mer energikrävande fordon, större bilar | |
| Vätgasframställning ger även syrgas | |
| Ger spillvärme till kupévärm | |

| | |
|--|--|
| Komprimerad vätgas | |
| <i>Fördelar</i> | <i>Nackdelar</i> |
| Enkel och känd teknik | Tankar tar stor plats |
| Vätgasen kan tillverkas på plats med elektrolysör | Vissa risker med trycktankar |
| Går snabbt att fylla på | Kräver kylning vid snabb fyllning till högt tryck – CAPEX, energiåtgång. |
| Går att kombinera en station för flera tryck beroende på fordonstyp. | |

| | |
|---|---|
| Flytande väte | |
| <i>Fördelar</i> | <i>Nackdelar</i> |
| Snabb tankning. | Avkok – mindre lämplig för fordon där körsträckan inte kan förutses, t.ex. privata personbilar. |
| Enkel tankstation om tillräcklig through-put. | Energiåtgång |
| Mycket vätgas går in i en tanklastbil. | |
| Skulle även kunna användas i lastbil | |
| Synergi att tanka även båt/flyg | |