

Grundstoffer sætter grænser...

Verden skriger på miljøvenligt, bæredygtigt brændstof. Men hvilke grundstoffer kan vi egentlig gøre brug af, når det kommer til stykket? En tur igennem det periodiske system fortæller, at mulighederne er begrænsede.

Forfatter



Jes Andersen,
Videnskabs-
journalist,
Kemisk Institut
Københavns Universitet.
jean@science.ku.dk

Hver gang vi tænder motoren i et transportmiddel, bidrager vi en lille smule til klimaændringer. Hvad enten vi kører bil, bus eller motorcykel, brænder vi i dag fossilt brændstof af. Brændstof, der brydes ned til blandt andet CO_2 , som medvirker til global opvarmning. Vi er nødt til at opfinde et grønt alternativ til fossile brændstoffer som diesel og benzin, men det er ikke så let som det lyder at finde alternativet.

I 2010 udkom en rapport fra Regeringens Klimakommission. Kommissionen skrev, at biobrændsel bør være et af de bærende elementer, når vi stiller om fra fossil energi til bæredygtig transport. Det lyder enkelt. Man kunne for eksempel blande frugt med gær, så har man sprit. Men hvis biobrændsel skal være bæredygtigt må det ikke fremstilles af noget, man kan spise. Der er altså et behov for, at vi finder en helt ny vej frem til biobrændsel. En kemisk syntesevej.

Transportabelt, energitæt og nemt at håndtere

Uanset, om vi vil med bil eller bus, færgе eller fly, skal vort transportmiddel have brændstoffet med om bord. Det skal altså være transportabelt. For at det hele giver mening, skal transportmidlet have plads til både brændstof, last og passagerer. Derfor skal brændslet indeholde en høj mængde energi pr. kilogram brændsel.

Brændslet skal også være nemt at fylde på, opbevare og føre ind i motoren. Derfor skal det være enten en væske eller gas. Det duer ikke med et fast stof. Men det er vigtigt, at det flydende eller gasformige brændstof er uskadeligt, og at det ikke reagerer med andre stoffer, når det ligger i sin tank, hvor temperatur og trykforholdene er normale.

Masser af krav, få udgangspunkter

Når man har brændt brændstoffet af, må udstødningsgasserne ikke være giftige eller på anden måde skadelige, og de må heller ikke kunne reagere med andre stoffer, så der opstår skadelige stoffer. Endelig er det vigtigt, at vi kan få tilstrækkelige mængder af brændstoffet. I dag bruger vi ca. seks millioner tons brændstof om dagen på verdensplan. Alternativet til de fossile brændsler skal kunne fremstilles nemt, billigt og hurtigt, for at kunne følge med behovet. Og som en sidste detalje: Selve fremstillingen af biobrændslet skal også være både grøn og bæredygtig.

Vort fremtidige brændsel skal enten være et grundstof eller en kemisk forbindelse som er en kombination af atomer fra det periodiske system. Der er uendelig mange måder at sætte atomer sammen på. Men det er ikke alle grundstofferne, der er egnede som udgangspunkt for et nyt, grønt og bæredygtigt biobrændsel.



for grønt brændstof

Kunstige stoffer med dårlig holdbarhed

Der er 112 grundstoffer, men ud af dem er de 24 kunstige. Det vil sige, at de er fremstillet i forskernes laboratorier, og de fleste er aldrig nået længere. Blandt andet fordi de er svære at fremstille, kun kan fremstilles i meget små mængder, og holder op med at eksistere efter uhyre kort tid.

Et af de grundstoffer, der næsten ikke eksisterer, er bohrium. Det er opkaldt efter den danske fysiker Niels Bohr, og det længste tidsrum, stoffet har eksisteret, er 17 sekunder. Med den levetid kan man knap nå at trille ud af parkeringspladsen.

Technetium var det første kunstige grundstof, der blev fremstillet. Og det kan faktisk fremstilles i rimelige mængder og holde sig i tilstrækkeligt lang tid til at kunne bruges til noget. Blandt andet til strålebehandling mod cancer. Til gengæld er det radioaktivt, og det er heller ikke en egenskab, man efterspørger i sin benzintank.

Radioaktive grundstoffer er dårlige for helbredet

Når de kunstige grundstoffer er trukket fra, er der 88 tilbage. Af dem er der 7, vi ikke bruger, fordi vi ikke tør. Det er de naturligt radioaktive. Uran kender de fleste som det usunde grundstof, der bruges i atomkraftværker og bomber. Men alle de radioaktive grundstoffer er sundhedsfarlige, og det blev opdaget kort efter, at stofferne selv blev opdaget.

Det første radioaktive grundstof, der blev opdaget, var radium. Marie Curie, der opdagede stoffet sammen med sin ægtemand Pierre, endte med at dø af en strålingsrelateret sygdom, fordi hun havde rørt så meget ved stoffet. Et andet stof, som de to opdagede, polonium, blev berømt og berygtet i 2006, da den tidligere russiske spion Alexander Litvinenko blev snigmyrdet med en lille dosis af isotopen polonium-210 af det radioaktive grundstof.



Trækker vi også de radioaktive grundstoffer ud af den bunke, vi kan lave brændstoffer med, er der 81 tilbage.

Ædle, dovne og kostbare

For at få energi ud af grundstoffer er det nødvendigt, at de gennemgår en form for reaktion. Derfor duer ædelgasser ikke. Ædelgasserne kaldes også inerte, og det betyder egentlig doven. Det skulle man ikke tro, når man ser en heliumballon stige til vejrs fra en forlystelsespark, men de inerte ædelgasser vil meget nødtigt reagere med noget som helst andet grundstof. Ædelgassen krypton vil ikke en gang reagere med elektrisk strøm. Blandt andet derfor bruger man grundstoffet til at fylde i elektriske pærer. Trækker man de seks ædle men ubrugelige gasser fra, er der 75 grundstoffer tilbage.

Et brændstof, der skal bruges i store mængder, kan naturligvis heller ikke laves af grundstoffer, der er alt for kostbare. Derfor ryger sølv, guld og platin ud af overvejelserne. Og med dem resten af ædel-

Fra grundstoffer til grøn og bæredygtig. Kemi-studerende lærer ruten.

Foto: Lennart Søgård-Høyer

Computeren beregner nedbrydning af biobrændsel

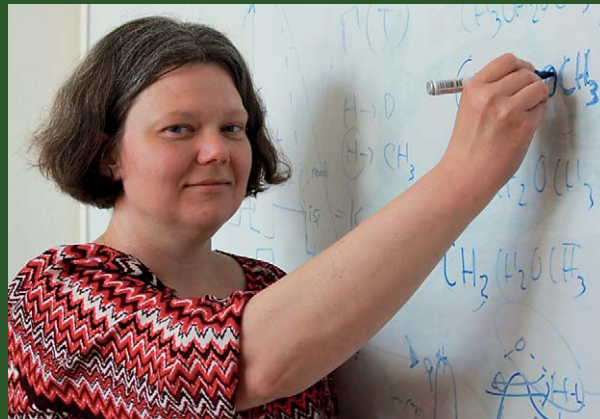
Biobrændsler består typisk af brint, ilt og kulstofatomer. $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OCH}_3$ er et eksempel på en model for en biodiesel. På vej op gennem atmosfæren møder molekylet de såkaldte hydroxyl-radikaler, OH.

Radikalerne kaldes ofte "atmosfærens støvsuger". Eftersom de har en uparret elektron, vil de gerne reagere med alle organiske molekyler. Hvis det organiske molekyle er umættet (dvs. ingen dobbeltbindinger i mellem kulstofatomerne), så stjæler OH et brintatom i det organiske molekyle.

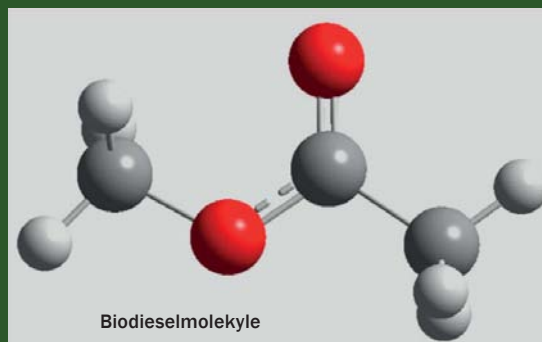
Når molekylet $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OCH}_3$ går i stykker i mødet med hydroxyl-radikaler, brækker der typisk et brintatom af enten i højre eller i venstre side af molekylet. Det er afgørende for de videre reaktioner, hvilken side af molekylet der mister et brintatom.

Derfor bruger Solvejg Jørgensen først kvantemekaniske beregninger til at fastslå reaktionens termodynamiske egenskaber. Ved at bruge statistisk mekanik på de termodynamiske egenskaber, kan hun beregne sandsynlighederne for, hvilken side der mister et brintatom.

Når hun har beregnet, om molekylet mister et brintatom til højre eller venstre, kan hun også forudsige, hvad der videre sker med molekylet, når det nedbrydes i atmosfæren. Her sker der en række reaktioner, som først starter med en reaktion med dioxygen (O_2), dernæst oftest med nitrogenoxid (NO) osv. I den atmosfæriske nedbrydning af biodiesel kan der for eksempel dannes carboxylsyre, der kan udgøre grundlaget for partikeldannelse. Der kan også dannes sundhedsskadelige stoffer som aldehyder og syreanhydrider.



Solvejg Jørgensen er en af de kemikere, som beviser, at nuller og ettaller kan erstatte kolber og reagensglas i mange sammenhænge.



PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

GROUP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H HYDROGEN 1.00794																	2 He HELIUM 4.00260
2	3 Li LITHIUM 6.941	4 Be BERYLLIUM 9.012182																10 Ne NEON 20.1797
3	11 Na SODIUM 22.98976928	12 Mg MAGNESIUM 24.304																18 Ar ARGON 39.948
4	19 K POTASSIUM 39.0983	20 Ca CALCIUM 40.078	21 Sc SCANDIUM 44.955912	22 Ti TITANIUM 47.88	23 V VANADIUM 50.9415	24 Cr CHROMIUM 51.9961	25 Mn MANGANESE 54.938045	26 Fe IRON 55.845	27 Co COBALT 58.933195	28 Ni NICKEL 58.6934	29 Cu COPPER 63.546	30 Zn ZINC 65.38	31 Ga GALLIUM 69.723	32 Ge GERMANIUM 72.63	33 As ARSEN 74.9216	34 Se SELENIUM 78.96	35 Br BROMIN 79.904	36 Kr KRYPTON 83.798
5	37 Rb RUBIDIUM 85.4678	38 Sr STRONTIUM 87.62	39 Y YTIUM 88.90584	40 Zr ZIRKONIUM 91.224	41 Nb NIOB 92.90638	42 Mo MOLYBDEN 95.94	43 Tc TECHNETIUM 98	44 Ru RUDEMIUM 101.07	45 Rh RHODIUM 102.9055	46 Pd PALLADIUM 106.42	47 Ag SILVER 107.8682	48 Cd CADMIUM 112.411	49 In INDIUM 114.818	50 Sn TIN 118.710	51 Sb ANTIMONY 121.757	52 Te TELUR 127.6	53 I IODIN 126.905	54 Xe XENON 131.29
6	55 Cs CAESIUM 132.90545196	56 Ba BARIUM 137.327	57-71 Lanthanoids	72 Hf HAFNIUM 178.49	73 Ta TANTALUM 180.94788	74 W WOLFRAM 183.84	75 Re RHENIUM 186.207	76 Os OSMIUM 190.23	77 Ir IRIDIUM 192.222	78 Pt PLATINUM 195.084	79 Au GOLD 196.966569	80 Hg QUEKSILBER 200.59	81 Tl THALLIUM 204.3833	82 Pb LEAD 207.2	83 Bi BISMUTH 208.9804	84 Po POLONIUM (209)	85 At ASTATIN (210)	86 Rn RADON (222)
7	87 Fr FRANCIUM (223)	88 Ra RADIOAKTIV (226)	89-103 Actinoids	104 Rf RÖNTGENIUM (261)	105 Db DUBNIUM (262)	106 Sg SEABERGIUM (266)	107 Bh BOHRERIUM (264)	108 Hs HAWESIIUM (277)	109 Mt MOSKOWIUM (268)	110 Ds DARMSTADTIUM (271)	111 Rg ROSGERIUM (272)	112 Cn COCHIN (285)	113 Uut UNUNTRIUM (288)	114 Fl FLEROVIUM (289)	115 Uup UNUNPENTIUM (294)	116 Lv LIVERMORIUM (293)	117 Uus UNUNSEPTIUM (294)	118 Uuo UNUNOKTETIUM (294)
				57 La LANTANUM 138.90547	58 Ce CELESTIUM 140.12	59 Pr PRASEODYMIUM 140.90766	60 Nd NEODYMIUM 144.242	61 Pm PROMETHIUM (145)	62 Sm SAMERIUM 150.36	63 Eu EUROPIUM 151.964	64 Gd GADOLINIUM 157.25	65 Tb TERBIIUM 158.92532	66 Dy DYSPROBIUM 162.50014	67 Ho HOLMIUM 164.93032	68 Er ERBIDIUM 167.259	69 Tm TERBIIUM 168.93032	70 Yb YTERBIUM 173.05468	71 Lu LUTETIUM 174.967
				89 Ac ACTINIUM (227)	90 Th THORIUM 232.0377	91 Pa PACTINIUM (231)	92 U URANIUM 238.02891	93 Np NEPTUNIUM (237)	94 Pu PLUTONIUM (244)	95 Am AMERICIUM (243)	96 Cm CURIEIUM (247)	97 Bk BERKELEIUM (247)	98 Cf CALIFORNIUM (251)	99 Es EINSTEINIUM (252)	100 Fm FERMIUM (257)	101 Md MENDELIJEV (258)	102 No NORDBERGIUM (259)	103 Lr LAWRENCIUM (260)

metallerne. Hverken palladium, der er efterspurgt til kemisk katalyse, osmium, der er ekstremt hårdt eller kviksølv, der er uhyre giftigt. Til gengæld er der ikke særligt mange ædelmetaller. Kun ni skal der trækkes ud af bunken. Så nu er vi nede på 66.

Rottegift og blyforgiftning

Giftighed er i øvrigt en kvalitet, der også skal tages med i overvejelserne, når man laver et stof, der skal brændes af i en motor. Derfor må vi luge ud i det periodiske system endnu en gang.

Beryllium bruges i produktionen af kirurgiske instrumenter, og det smager sødt. Men det er voldsomt giftigt. Arsenik blev i gamle dage brugt til at behandle syfilis, men i dag ser man det primært i rottegift. Så det skal væk. Bly brugte man i oldtiden til at lave vandrør af, men da man opdagede, at det var giftigt, gik man væk fra det. I det hele taget er tungmetaller generelt giftige. Fra vanadium over tallium og osmium til krom, cadmium, barium og antimon. Sammen med det noget lettere, men lige så giftige aluminium, er der endnu 12 grundstoffer, der skal trækkes fra. Så er vi nede på 54.

Mens vi er ved metallerne kan vi lige så godt skille os af med alle de andre letmetaller (15 stykker fra lithium til aluminium) de magnetiske grundstoffer (tre metaller og fire sjældne jordarter) og resten af metallerne. Det bringer os ned på 14. Og mens vi er i gang, kan vi lige så godt skille os af med de fire halogener, vi ikke allerede har smidt ud. De er nemlig også giftige. Lige som klor kan silicium ikke brænde, så det kan vi også skrotte. Og så var der otte.

Højt energiindhold, men lav anvendelighed

Boron har et ret højt energiindhold, og det bruges da også i raketbrændstof. Men det er vanskeligt at fremstille, så det er for dyrt til bilbrændstof, og så var der syv. Svovl brænder fint, men der er ikke særligt meget energi i det. Fluor og fosfor vil gerne begynde at brænde af sig selv, lige som nitrogen, der er en populær ingrediens i sprængstoffer, men vi vil ikke have brændstoffer, der eksploderer, og så var der tre.

Ilt skal godt nok være til stede, for at man kan få en forbrænding til at forløbe, men 21 procent af den luft vi indånder, består af ilt. Når ilt nu findes overalt i atmosfæren, er der ingen grund til at bruge

energi på at transportere det. Så ilt vil vi heller ikke have som bestanddel af vores brændstof.

De gamle kendinge

Og så var der to. Brint og kul. Hydrogen og carbon. Sjovt nok de samme to grundstoffer, der udgør grundstammen i diesel, benzin, sprit og alle andre eksisterende former for flydende brændstof til biler. Kunsten bliver nu at sætte de to grundstoffer sammen på en ny måde, og gøre det hurtigt, billigt og i enorme mængder.

Biobrændsel består af meget store molekyler, så selv om der kun er to grundstoffer at lege med, kan biobrændsel produceres på næsten uendeligt mange forskellige måder. Men vi skal være forsigtige.

Vælger vi den forkerte fremstillingsmetode, bliver brændstoffet skadeligt for både miljø og folkesundhed, for de store molekyler kan også gå i stykker på uendeligt mange måder. I værste fald kan vi risikere at få nedbrydningsprodukter som sundhedsskadeligt smog, kræftfremkaldende partikler og det giftige stof formaldehyd ud, når biobrændslet er brændt af i motoren. Enten så snart det kommer ud af udstødningsrøret, eller også oppe i atmosfæren, efterhånden som udstødningen reagerer med stoffer, den møder der.

Sikrere at brænde benzin af i harddisken

For at finde den rigtige produktionsmetode til biobrændsel skal kemikerne afprøve tusinder af forskellige variationer og det kan tage måneder hver gang, man efterprøver en ny syntesevej. Som kemiker kan man altså nå at spille utroligt meget tid, hvis man skal vente med at teste biobrændslets giftighed, til det er produceret. Heldigvis findes der metoder til at spå om, hvordan brændslet bliver brudt ned.

På Kemisk Institut ved Københavns Universitet har lektor Solvejg Jørgensen udviklet computerprogrammer, der kan bruges til at forudsige nøjagtigt, hvordan et biobrændselsmolekyle vil blive nedbrudt, når udstødningen rejser op gennem atmosfæren. Det kan gøres uden at tilbringe et sekund i laboratoriet og uden at producere en dråbe af det nye biobrændsel, og det vil bane vejen for hurtigere, billigere og frem for alt sikrere udvikling af de vigtige grønne og bæredygtige alternativer til klimaskadelige fossile brændstoffer. ■

Læs mere

www.ki.ku.dk/formidling/Nyheder/Nyhedssamling/giftig_biobraendsel_forudsiges_kopi/

www.ki.ku.dk/formidling/Nyheder/Nyhedssamling/loeggio_biobraendsel/

