

Alexander H. Sandtorv

KJEMI FOR INGENIØRER

3. utgave



FAGBOKFORLAGET

KJEMI FOR INGENIØRER

Alexander H. Sandtorv

KJEMI FOR INGENIØRER

3. utgave



FAGBOKFORLAGET

Copyright © 2025 by
Vigmostad & Bjørke AS
All Rights Reserved

ISBN: 978-82-450-5994-6
1. utgave, 1. versjon 2025

E-utgaven er basert på 3. trykte utgave, 1. opplag: ISBN: 978-82-450-5778-2

Elektronisk tilrettelegging: John Grieg, Bergen

Forsidedesign: Endre Barstad

Illustrasjoner av Bjørn Norheim:

1.1, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10, 1.11, 1.12, 1.13, 1.14, 1.15, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.17, figur i pass på-boks, 2.18, 2.19, 2.20, 2.22, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, figur i eksempel 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.11, 5.12, 5.13, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 8.1, 8.2, 8.3, 8.8, 9.5, figur i eksempel 9.5, 9.7, 9.8, 9.10, 9.11, 9.12, 9.13, 9.15, 9.16, 9.17, figurer i oppgavene 9.10 og 9.11

Illustrasjon av Merkur Grafisk: 1.10

Øvrige figurer er laget av forfatter.

Foto:

1.2: KrimKate/Shutterstock.com, Aleksandr Pobedimskiy / Shutterstock.com, Andraž Cerar / Shutterstock.com, Rvkamalov/Shutterstock.com, 2.11: Mariusz Szczygiel / Shutterstock.com, 2.16: Wikimedia commons / W. Oelen, 9.14: S6Wigj/Shutterstock.com, 10.11: Gabor Kenyeres / Shutterstock.com

Forsidebilder til hvert kapittel:

1: vchal/Shutterstock.com, 2: Hriana/Shutterstock.com, Rvkamalov/Shutterstock.com, 3: ggw/ Shutterstock.com, 4: Everett Historical / Shutterstock.com, 5: ParabolStudio/Shutterstock.com, 6: Hayati Kayhan / Shutterstock.com, 7: magnetix/Shutterstock.com, 8: Natalielme/Shutterstock.com, 9: mbrand85/Shutterstock.com, 10: Yuriy Golub / Shutterstock.com, MaraZe/Shutterstock.com, Lesterman/Shutterstock.com, 11: Mark Agnor / Shutterstock.com

Spørsmål om denne boken kan rettes til:

Fagbokforlaget
Kanalveien 51
5068 Bergen
Tlf.: 55 38 88 00
e-post: fagbokforlaget@fagbokforlaget.no
www.fagbokforlaget.no

Materialet er vernet etter åndsverkloven.
Uten uttrykkelig samtykke er eksemplarfremstilling
bare tillatt når det er hjemlet i lov eller avtale med Kopinor.

Vigmostad & Bjørke AS er Miljøfyrtårn-sertifisert.



Miljøfyrtårn®

SERTIFISERT
VIRKSOMHET

Innhold

Forord	11
Kapittel 1	
Atomet og periodesystemet	13
1.1 Kjemi og atomet	13
Atomet består av protoner, nøytroner og elektroner	14
Grunnstoffer	14
Atomnummer og massetall	15
Isotoper	16
1.2 Periodesystemet	17
Metaller, halvmetaller og ikke-metaller	18
Blokker	19
Atommasse	20
Atomradius	21
1.3 Elektronet og Bohr-modellen	22
Skall	22
1.4 Ioner	23
Ioner og periodesystemet	25
Ioniseringsenergi	27
Ioner fra overgangsmetaller	28
Sammensatte ioner	29
1.5 Elektroner og orbitaler	29
Sannsynlighetsfunksjoner	30
Orbitalenes energi og form	30
Elektronkonfigurasjon	32

Kapittel 2

Den kjemiske bindingen	41
2.1 Kjemisk binding	41
Elektronaffinitet og elektronegativitet	42
Dipoler	45
2.2 Lewis-strukturer	46
Oktettregelen	47
Eksempler på Lewis-strukturer	47
Ioniske forbindelser	50
2.3 Metallbindinger	52
2.4 Intermolekylære krefter	53
Intermolekylære krefter og fysiske egenskaper	55
2.5 Navnsetting av uorganiske forbindelser	60

Kapittel 3

Kjemisk sammensetning og kjemiske reaksjoner	69
3.1 Kjemisk sammensetning	69
Atommasse og formelmasse	70
Masseprosent	71
Målinger og enheter	72
3.2 Stoffmengde og mol-begrepet	73
Stoffmengden til faste stoffer	74
Stoffmengden til væsker	76
3.3 Kjemiske løsninger og molaritet	78
Lage kjemiske løsninger	80
Fortynningsformelen	82
3.4 Kjemiske reaksjoner	83
Loven om massenes bevarelse og balansering av reaksjonslikninger	84
Balansering av avanserte reaksjonslikninger	89
3.5 Støkiometri	90
Begrensende reaktant	94

Kapittel 4

Tilstander og gasser	101
4.1 Tilstander	101
De tre tilstandene på partikkelnivå	103
Løst i vann (aq)	105
Fasediagram for rene stoff (enkomponent)	106
4.2 Gasslovene	108
Enheter	108
De fire gasslovene	109
4.3 Den ideelle gassloven	112
4.4 Partialtrykk	115

Kapittel 5

Termodynamikk og energi.....	121
5.1 Energi og energioverføring.....	121
System og omgivelser	122
Indre energi.....	123
Varme og arbeid.....	123
Overføring av energi som varme	124
Overføring av energi som arbeid	125
Endring i indre energi.....	127
Termodynamikkens 1. lov.....	128
5.2 Entalpi.....	128
Endoterme og eksoterme reaksjoner.....	129
Entalpiendringer for faseoverganger	130
Tilstandsfunksjoner	132
Standard dannelsesentalpi.....	132
Hess' lov.....	135
Eksempel med Hess' lov.....	135
5.3 Varmekapasitet og kalorimetri	139
Kalorimetri.....	141
Kalorimeter med konstant trykk.....	141
Kalorimetri og entalpiendringer	143
Kalorimeter med konstant volum (bombekalorimeter)	145
5.4 Entropi og termodynamikkens andre og tredje lov	146
Spontanitet	146
Mikrotilstander	146
Entropi.....	149
Termodynamikkens 2. lov.....	150
Termodynamikkens 3. lov.....	152
5.5 Gibbs energi.....	153
Utledningen av et uttrykk for endringen i Gibbs energi.....	153
Fortegnet på ΔG og spontanitet	155
Spontanitet og hastighet	156

Kapittel 6

Kjemiske likevekter	163
6.1 Likevektsbegrepet.....	163
Massevirkningsloven	163
Likevektskonstanten K	164
Reaksjonskvotienten Q og sammenhengen mellom Q og K	167
Likevektskonstanten og likevektskonsentrasjoner	168
Likevektskonstanten og Gibbs energi.....	171
6.2 Le Châteliers prinsipp.....	171
Likevekter og endring av mengden reaktant eller produkt	171
Effekten av temperaturen på en likevekt	173
Effekten av trykk og volum på en likevekt.....	175
Reaksjonshastighet (kinetikk)	176
Effekten av en katalysator på en likevekt.....	177

Kapittel 7

Syrer og baser	183
7.1 Introduksjon til syrer og baser	183
Sterke og svake syrer og baser.	184
7.2 pH-begrepet	185
pH	186
Nøytraliseringsreaksjoner	188
Indikator	189
7.3 Svake syrer og baser: K_a og K_b	190
Likevektskonstantene K_a og K_b	191
7.4 Buffere	194
Bufferlikningen (Henderson-Hasselbalch-likningen)	197
7.5 Sure og basiske salter og oksider	200
Elektrolytter	204

Kapittel 8

Løselighet	211
8.1 Løselighet og likt-løser-lik-prinsippet	211
Likt-løser-lik-prinsippet	212
Løselighet i tall	215
Løselighet og temperatur	215
8.2 Fellingsreaksjoner	218
Løselighetsoversikt og løselighetsregler	218
Fellingsreaksjoner og støkiometri	222
8.3 Løselighetsproduktet K_{sp} og fellesioneeffekten	225
Fellesioneeffekten	227

Kapittel 9

Redoksreaksjoner og elektrokjemi	235
9.1 Oksidasjonstall	235
Oksidasjonstall	235
Reglene for å sette oksidasjonstall	236
Oksidasjonstallreglene i praksis	238
Viktige unntak til oksidasjonstallreglene	240
9.2 Redoksreaksjoner	241
Balansering av redoksreaksjoner	242
Eksempel på balansering av en redoksreaksjon	244
9.3 Galvaniske celler	250
Daniell-cellen	251
Cellediagram	252
9.4 Reduksjonspotensial, cellepotensial og spenningsrekken	254
Spenningsrekken	255
Hvordan bruke spenningsrekken?	257

9.5	Sammenhengen mellom E_{celle}^0 , K og ΔG og Nernst-likningen.....	258
	Sammenhengen mellom E_{total}^0 og ΔG	259
	Sammenhengen mellom K og ΔG	259
	Nernst-likningen: sammenhengen mellom E_{total}^0 og K	259
	Nernst-likningen ved ikke-standard betingelser.....	261
9.6	Batterier	262
	Primærbatterier	262
	Sekundærbatterier.....	264
	Nikkel-kadmium-batterier.....	264
	Litiumion-batterier.....	265
	Brenselceller.....	266
9.7	Elektrolyse	266
	Elektrolyse i framstillingen av natriummetall.....	267
	Elektrolyse av vann i framstillingen av hydrogen- og oksyngengass	268
9.8	Korrosjon.....	268
	Rusting	269
	Beskyttelse mot rust	270
	Beskyttende oksidlag.....	271
	Galvaniske serier.....	272

Kapittel 10

Organisk kjemi..... 281

10.1	Organisk kjemi og hydrokarboner	281
	Hydrokarboner	282
	Strukturisomerer	283
	Linjestrukturer	285
	Hvordan sette navn på alkaner?	287
	Alkaners fysiske egenskaper	290
	Hydrokarboner og fossile brennstoff.....	291
10.2	Noen stoffklasser og deres reaksjoner.....	293
	Viktige reaksjonstyper i organisk kjemi.....	293
	Alkener og alkyner.....	296
	Alkoholer	297
	Aminer.....	299
	Karboksylsyrer	301
	Estere og amider.....	302

Kapittel 11

Polymerer

11.1	Polymerer.....	309
	Syntetiske polymerer og samfunn	313
	Addisjonspolymerer.....	314
	Kondensasjonspolymerer.....	315

Fasit	321
Kapittel 1	321
Kapittel 2	325
Kapittel 3	328
Kapittel 4	329
Kapittel 5	330
Kapittel 6	332
Kapittel 7	333
Kapittel 8	335
Kapittel 9	336
Kapittel 10	339
Kapittel 11	341
 Appendiks	 343
A-1 SI-enheter	343
Grunnenheter	343
Andre SI-enheter brukt i denne boken	343
Enheter som er mye brukt i kjemi sammen med SI-enheter	343
Dekadiske forstavelser	344
Vanlige kjemiske forstavelser	344
A-2 Syre- og basekonstanter	345
Noen syrekonstanter i vannløsning ved 25 °C	345
Noen basekonstanter i vannløsning ved 25 °C	345
A-3 Løselighet	346
Løselighet for salter i vann	346
Løselighetsprodukter for salter i vann ved 25 °C	347
A-4 Spenningsrekken	348
A-5 Termodynamiske data	349
Termodynamiske data for uorganiske forbindelser (25 °C)	349
Termodynamiske data for organiske forbindelser (25 °C)	351
 Stikkordregister	 353

Forord

Mange tror at kjemi bare er relevant for kjemikere. Men kjemi er allemannseie, og det er viktig for mange yrker som ikke har kjemi i tittelen. Kjemi berører oss hver eneste dag. Vi vet bare nødvendigvis ikke om det.

En av de viktigste grunnene til at jeg valgte å skrive akkurat denne læreboken, var at jeg ønsket å formidle kjemi til ingeniørstudentene. Det er en bred studentgruppe som skal holde samfunnet vårt i gang når de senere skal ut i yrkeslivet. Som ingeniørstudent trenger du grunnleggende kjemi i yrket ditt uansett om du skal bygge broer, vedlikeholde elektriske anlegg, hente opp olje og petroleum, arbeide med morgendagens fornybare energikilder, utvikle nye dataløsninger eller holde oss friske ved å analysere biologiske prøver. Kjemi spiller en rolle i alle disse oppgavene.

Siden ingeniørstudentene er så viktige for dagens og framtidens samfunn, har det vært et privilegium å skrive denne boken for dem. I utformingen av læreboken har jeg fokusert på forståelse, et lett tilgjengelig språk og å vise hvordan kjemi er til stede i hverdagen vår, med praktiske eksempler. Jeg har også ønsket å vise hvordan man «tenker» kjemisk i utformingen av eksempler og løsningsforslag.

Det å skrive en lærebok er en lang prosess (og selv om jeg har gjort det før, er skriveprosessen alltid mer krevende enn jeg hadde trodd). Det er mange personer som har bidratt med entusiasme, konstruktive tilbakemeldinger og faglige innspill. Jeg ønsker spesielt å takke Cecilie Tynes Riksem (universitetslektor ved NTNU) og Bente Hellum (universitetslektor ved OsloMet). Jeg ønsker også å takke Karoline Kvande og Erik Konradsen for god gjennomgang av fasiten til boken. Takk også til Ola Nilsen og Rolf David Vogt (Universitetet i Oslo) for gode perspektiv på henholdsvis batterier og mikroplast.

Som vanlig fortjener redaktør Jannicke Bærheim varme ord. Takk også til Fagbokforlaget for at de satser på kjemi på norsk for høyere utdanning.

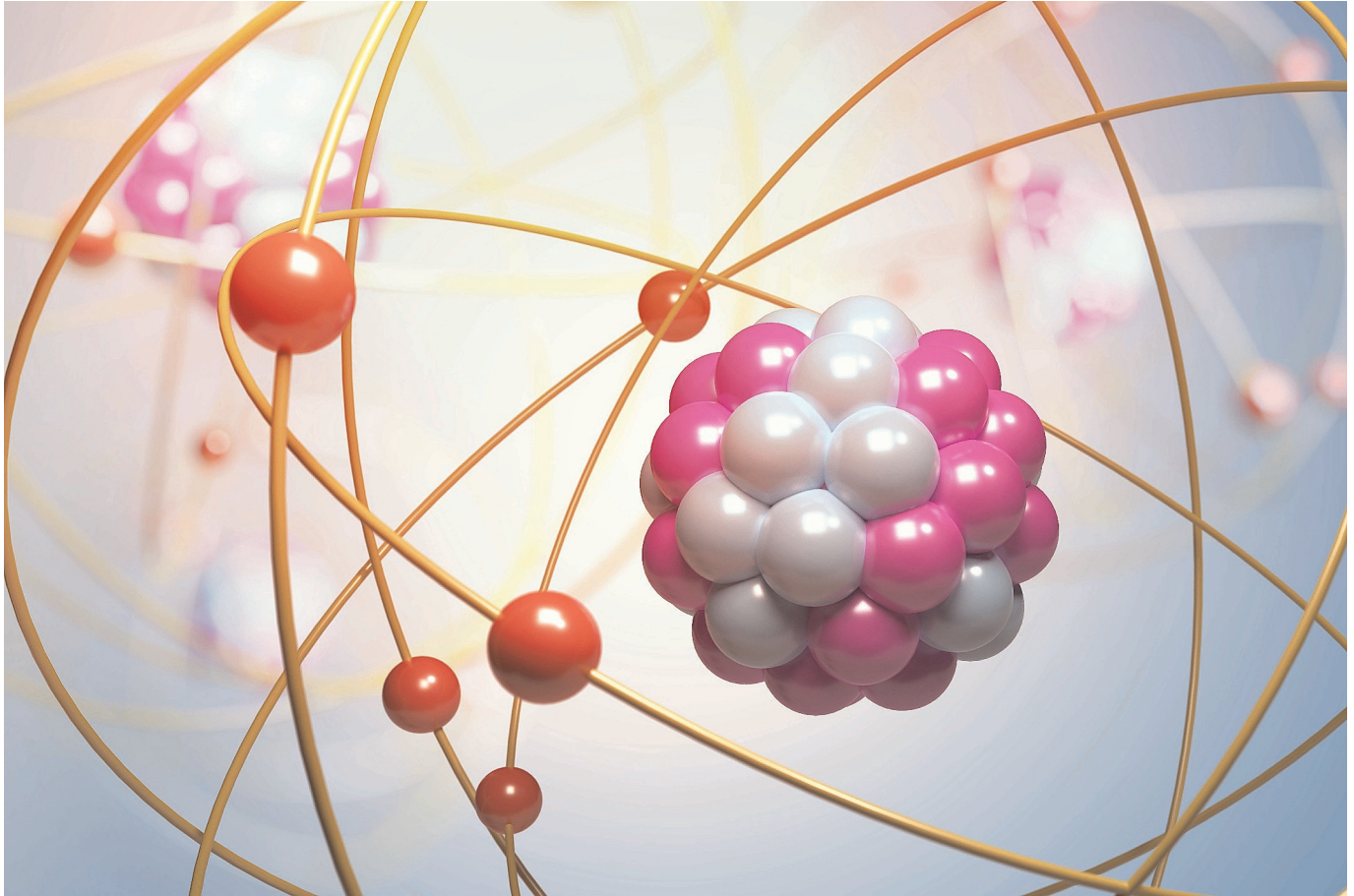
Til slutt ønsker jeg også å takke NFFO for støtte til å skrive denne læreboken.

I utformingen av den andre utgaven av denne boken ønsker jeg å takke emneansvarlige for gode og konstruktive tilbakemeldinger. Jeg ønsker også å takke Magnhild Solum for gjennomgang av oppgaver, og fasit.

I denne nye utgaven av boken har vi utført en rekke oppdateringer, justeringer og retting av feil. Jeg vil spesielt takke Maarten Beerepoot ved UiT for mange verdifulle innspill.

Oslo, 2025

Alexander H. Sandtorv



Hva består alt sammen av? Dette spørsmålet har vi mennesker stilt oss siden tidenes morgen. Den greske filosofen Demokrit levde i antikken. Han så for seg at hvis han delte et objekt i stadig mindre deler, så endte han opp med en minste enhet. Denne enheten ble kjent som et atom, etter det greske ordet atomos, som betyr udelelig. Siden den tid har noen av de største vitenskapspersonene i menneskets historie forsøkt å løse gåten om atomet. I dette kapitlet skal vi bli kjent med atomet og dets underlige natur.

Atomet og periodesystemet

I dette kapitlet skal du lære om

- atomets struktur og oppbygging
- elementærpartiklene og deres egenskaper
- periodesystemet og noen periodiske trender
- Bohr-modellen og inndelingen i skall
- orbitalteorien og prinsippene bak elektronoppbygging
- ioner og hvordan de dannes

1.1 Kjemi og atomet

Kjemi er den vitenskapen som handler om stoffenes egenskaper, sammensetning og reaksjon. Kjemifaget handler derfor på sitt enkleste om det vi omgir oss med, som for eksempel legemidler, drivstoff og materialer. Sentralt i kjemifaget er stoffene, hvilke egenskaper de har, hvordan de kan framstilles, og ikke minst hvordan de reagerer med hverandre. Denne kunnskapen har veldig stor praktisk nytteverdi. Uten kunnskap i kjemi hadde vi ikke hatt tilgang til plast, bensin og diesel, legemidler og medisiner, holdbarhetsstoffer i maten, alkoholholdige drikkevarer, metaller til båter, biler og andre fartøy, LCD-skjermer til datamaskiner og telefoner og tusenvis av andre varer som vi tar helt for gitt.

Kjemi er et praktisk fag som en lærer like mye ved å gjøre forsøk på laboratoriet, som å lese denne boken. Det er også et fag som er blitt mer og mer modernisert. Et moderne kjemisk laboratorium er utstyrt med mye teknologi og avanserte datamaskiner som brukes til å tolke, analysere og forutsi kjemiske reaksjoner, fenomener og egenskaper.

Kunnskap om kjemi er viktig på utallige områder som ikke har ordet «kjemi» i seg. Det er altså ikke bare kjemikere som trenger kunnskap om kjemi. En ingeniør, en maler, en frisør, en lege, en sykepleier, en kokk og en elektriker berøres alle av kjemi i hverdagen, nettopp fordi de jobber med stoffer og materialer.

Ingeniører er en bred yrkesgruppe som jobber med teknologisk utvikling innen mange forskjellige samfunnsnyttige bransjer. Ingeniører har nøkkelroller i byggeindustrien, i vedlikehold og drift av elektriske anlegg, i olje- og petroleumsbransjen, i sikring av gode HMS-rutiner både i prosesser og på arbeidsplassen, og i design og anskaffelse av maskiner og utstyr til nye fabrikkianlegg, for å nevne noen eksempler. Felles for ingeniørene i disse ulike rollene er at de alle jobber med stoffer og materialer på en eller annen måte.

Kjemi handler om egenskapene til stoffer og materialer. Kjemi er derfor viktig basiskunnskap for en ingeniør, enten du konstruerer broer, utvikler moderne batterier, lager sensorer til medisinsk utstyr, designer røranlegg til fabrikker eller lager mer miljøvennlige løsninger til industrien.

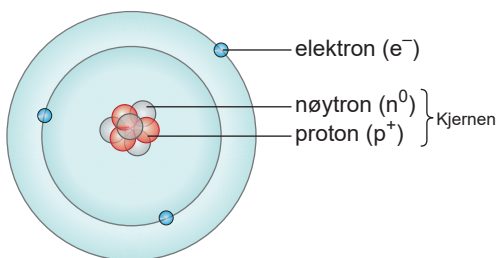
Siden kjemifaget handler om stoffer, og stoffer består av atomer, handler kjemi alltid om atomer. For å forstå kjemi må vi derfor først forstå atomet.

Atomet består av protoner, nøytroner og elektroner

Atomet er byggesteinen for alt vi ser rundt oss. Alle objekter, om det er et fjell, en bolledeig eller et stykke jern, er bygget opp av atomer. Til og med lufta rundt oss. Atomer kan settes sammen med andre atomer og danne molekyler, salter og andre kjemiske forbindelser. Atomer er meget små, og det minste atomet, hydrogen, er under 10^{-10} m i diameter. Atomet består av tre mindre partikler: *protoner, nøytroner og elektroner*. Disse kaller vi *subatomære partikler*. Subatomisk betyr at det vi studerer, er mindre enn et atom.

Vi kan definere partikkel som et lite legeme. Det er vanlig i kjemien å bruke partikkel som en samlebetegnelse på atomer, molekyler, ioner og de subatomære partiklene som bygger opp atomene.

Protonene og nøytronene sitter i atomets kjerne. Protonene har positiv ladning, og nøytronene er elektrisk nøytrale. De negativt ladde elektronene befinner seg rundt kjernen, figur 1.1.



Figur 1.1. En enkel atomstruktur. Nøytronene og protonene er samlet i kjernen, og elektronene befinner seg utenfor kjernen.

Vi bruker ofte forkortelser når vi skriver om disse partiklene. Et proton forkortes p^+ , et nøytron forkortes n^0 , og elektronet forkortes e^- . Ladningen på disse partiklene er viktig å merke seg, fordi de kommer til å påvirke mange av prosessene vi skal lese om senere, slik som dannelsen av ioner, dannelsen av kjemiske bindinger og en rekke andre kjemiske fenomener.

Grunnstoffer

Alle atomer har et bestemt antall protoner som sier hvilket *grunnstoff* vi har. Atomer med samme antall protoner er altså det samme grunnstoffet. Alle atomer med 6 protoner kalles karbon, mens alle atomer med 2 protoner er helium. Periodesystemet, som vi skal bli kjent med senere, viser en oversikt over alle grunnstoffene (se innsiden av permen).

Det finnes 118 grunnstoffer (selv om dette antallet stiger jevnlig fordi forskere klarer å lage nye grunnstoffer i laboratoriet). De første 92 grunnstoffene finnes i naturen, mens de resterende 26 har blitt framstilt av mennesker. Disse 26 grunnstoffene er ustabile, og noen av dem eksisterer bare i veldig kort tid før de dekomponerer til andre grunnstoffer.

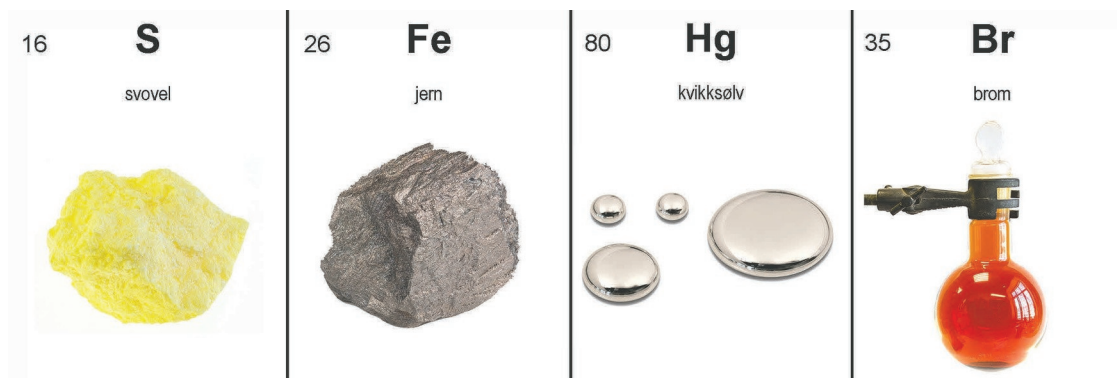
Siden grunnstoffene er så viktige, er det nyttig å ha et system for hvordan vi benevner dem. Alle grunnstoffer har et navn (for eksempel hydrogen) med en forkortelse (H). Forkortelsene er en eller to bokstaver som er unikt for bare dette grunnstoffet. *Atomnummer* sier hvor mange protoner et grunnstoff har, og det er altså alltid likt antall protoner i ett og samme grunnstoff.

Det første grunnstoffet er hydrogen (H). Det har bare ett proton, og hydrogens atomnummer

er derfor 1. Det neste grunnstoffet er helium (He), som har to protoner, og atomnummer 2. Det tredje er litium (Li), som har tre protoner, og atomnummer 3. Slik fortsetter det.

For et grunnstoff er antall protoner og elektroner likt (dette er ikke sant for grunnstoffer i ioneform, noe vi skal lære mer om senere). Siden det finnes like mange partikler som har positiv og negativ ladning, har grunnstoff ingen elektrisk ladning. Vi sier at de er elektrisk nøytrale.

Alle atomene er samlet i periodesystemet, som vi skal se nærmere på i neste delkapittel. Der er de plassert i rekkefølge etter atomnummer, figur 1.2.

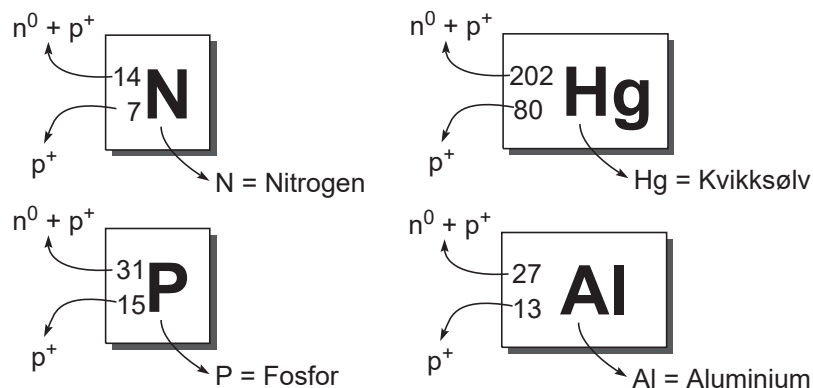


Figur 1.2. Grunnstoffene kan ha ulik farge, tilstand og utseende.

Atomnummer og massetall

I noen sammenhenger presenterer vi grunnstoffer med både *atomnummeret* og *massetallet* som vist i figur 1.3. Tallet i senket skrift er *atomnummeret*, og dette er som nevnt tidligere antall protoner (p^+). Tallet i hevet skrift kalles *massetallet*. Dette tallet er summen av antall protoner og nøytroner ($n^0 + p^+$). Elektronets masse er forsvinnende liten sammenliknet med protoner og nøytroner, så elektronet bidrar ikke nevneverdig til massetallet til et atom.

I figur 1.3 ser du nitrogen-14, fosfor-31, kvikksølv-202 og aluminium-27.



Figur 1.3. Grunnstoffer med atomnummer og massetall.

Eksempel 1.1

Fyll ut tabellen.

Oppgave	Grunnstoff	Atomnummer	Protoner (p^+)	Nøytroner (n^0)	Elektroner (e^-)
A	^{26}Mg	12			
B	^{40}Ar				18
C	^{127}I			74	

- (A) Magnesium-26 er oppgitt med atomnummer 12, så grunnstoffet har 12 protoner. Siden det skal være like mange protoner som elektroner, ender vi opp med 12 elektroner. For å finne nøytronantallet må vi trekke fra antall protoner fra massetallet. Da får vi: $26 - 12 = 14$.

Grunnstoff	Atomnummer	Protoner (p^+)	Nøytroner (n^0)	Elektroner (e^-)
^{26}Mg	12	12	14	12

- (B) Argon-40 har ikke oppgitt atomnummer, men antall elektroner er 18. Siden antall elektroner og protoner må være likt i et grunnstoff, er det 18 protoner. Deretter vet vi at atomnummeret og protonantallet er likt, så atomnummeret må være 18. Vi finner antall nøytroner slik vi gjorde for deloppgave A: $40 - 18 = 22$.

Grunnstoff	Atomnummer	Protoner (p^+)	Nøytroner (n^0)	Elektroner (e^-)
^{40}Ar	18	18	22	18

- (C) Jod-127 har bare oppgitt antall nøytroner, som er 74. For å finne protonantallet må vi derfor trekke fra antall nøytroner fra massetallet. Vi får følgende regnestykke: $127 - 74 = 53$. Protonantallet er derfor 53, og det er også atomnummeret og elektronantallet.

Grunnstoff	Atomnummer	Protoner (p^+)	Nøytroner (n^0)	Elektroner (e^-)
^{127}I	53	53	74	53

Isotoper

Atomer med samme antall protoner, men som har ulikt antall nøytroner, kalles *isotoper*. Klor (Cl) har atomnummer 17, og har derfor 17 protoner. Det finnes to klorisotoper. Den ene isotopen kalles ^{35}Cl , den andre kalles ^{37}Cl . Den ene klorisotopen har 18 nøytroner ($35 - 17 = 18$), mens den andre klorisotopen har 20 nøytroner ($37 - 17 = 20$). Rundt 76 % av kloratomene vi finner i forbindelser er klor-35, mens de resterende 24 % er klor-37.

Ulike grunnstoffer vil ha ulike isotoper, og disse finnes i bestemte mengdeforhold som vil variere fra grunnstoff til grunnstoff.

Noen isotoper er også ustabile, og kan være radioaktive. Dette er et viktig fenomen som brukes for eksempel i medisin. Et eksempel er radioaktivt jod (jod-131), som brukes i behandling av sykdom i skjoldbruskkjertelen.

Forskning og samfunn: isotoper i det virkelige liv

Isotoper utnyttes i mange områder.

Du har kanskje hørt om radiokarbondatering. Det er en teknikk som brukes for å bestemme alderen til en prøve med organisk materiale. Metoden utnytter at karbon-14 (en radioaktiv karbonisotop) dannes kontinuerlig i atmosfæren, og ender opp med å danne små mengder med radioaktivt karbondioksid som planter og alger innarbeider til sukker gjennom fotosyntesen. Det radioaktive karbon-14 plukkes så opp i næringskjeden. Når organismen dør, slutter den å utveksle karbon med omgivelsene, og karbon-14 dekomponerer. Da kan vi måle strålingen i prøven for slik å regne seg tilbake til alderen til prøven.

Et annet, viktig område hvor isotoper utnyttes, er innenfor medisin. Hvis et atom i et legemiddel byttes ut med en radioaktiv isotop, kan en måle strålingen fra atomet og slik følge molekylet gjennom et biologisk system. Metoden kan for eksempel brukes til å forstå hvordan et legemiddel fungerer og brytes ned i kroppen.

1.2 Periodesystemet

Grunnstoffene er ordnet i *periodesystemet*, som er en av de aller viktigste ressursene vi har i kjemien. Periodesystemet viser alle grunnstoffene vi kjenner til, og det inneholder også informasjon om mange av grunnstoffenes egenskaper.

For å bli kjent med periodesystemet skal vi se på tre inndelinger eller måter å organisere det på. Disse inndelingene framhever forskjellige egenskaper, men de er alle viktige for å danne seg et helhetsbilde.

1. *Grupper og perioder* framhever likheter og trender i kjemiske egenskaper og reaktivitet blant grunnstoffene.
2. *Metallisk karakter* sier noe om hvilke egenskaper grunnstoffene har når de er i sin elementære form. Vi deler dem inn i metaller, halvmetaller og ikke-metaller.
3. *Blokkene* er inndelingen av periodesystemet i bestemte deler (eller blokker) som vi kaller s-, p-, d- og f-blokkene. Dette systemet er spesielt nyttig når vi skal diskutere elektronstrukturen til ulike grunnstoffer.

Vi begynner med gruppe- og periodeinndelingene, som er vist i figur 1.4. Grunnstoffene som står i loddrette kolonner, utgjør *grupper*. Det finnes 18 grupper. For hver gang vi beveger oss ett hakk til siden i periodesystemet, støter vi på en ny gruppe. De grunnstoffene som står vannrett i forhold til hverandre, utgjør en *periode*. Det finnes 7 perioder. Det er verdt å merke seg at det finnes et annet, eldre system med 8 hovedgrupper (som nummereres 1A–8A) og 13 sidegrupper (overgangsmetallene). Dette systemet kan du møte på i andre lærebøker eller oppslagsverk.

Gruppe- og periodeinndelingen framhever likheter mellom grunnstoffene. Grunnstoffer i de samme gruppene har liknende egenskaper. Det tillater oss å forutse egenskapene til noen grunnstoffer basert på kunnskap vi har om andre grunnstoffer. Litium, natrium og kalium er tre

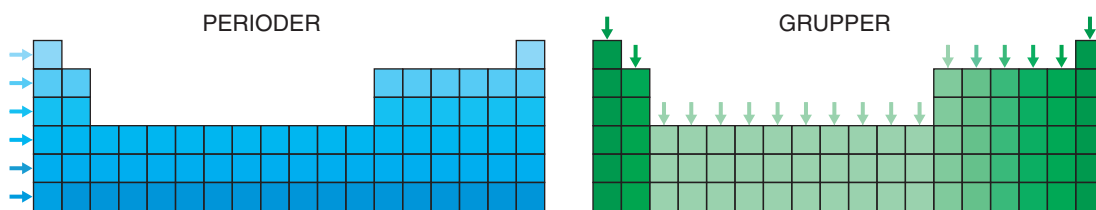
grunnstoffer som finnes i gruppe 1. De reagerer alle kraftig og eksplosivt med vann, og lynraskt med oksyngengass. De danner ioniske forbindelser med andre grunnstoffer og har lavt koke- og smeltepunkt for å være metaller. Vi kaller slike observasjoner *gruppetrender*, og helt generelt ser vi at grunnstoffer i samme gruppe har liknende egenskaper.

Mange grupper i periodesystemet har fellesnavn, og i tabell 1.1 har vi vist de viktigste fellesnavnene.

Tabell 1.1 Noen fellesnavn for ulike grupper i periodesystemet

Gruppe	Navn	Grunnstoffer
1	Alkalimetaller	Li, Na, K, Rb, Cs, Fr
2	Jordalkalimetaller	Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra
11	Myntmetaller	Cu, Ag, Au
17	Halogener	F, Cl, Br, I, At
18	Edelgasser	He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn

Mange atomære egenskaper, som for eksempel hvor sterkt et atom tiltrekker seg elektroner (elektronaffinitet) og størrelsen på atomet (atomradius), endrer seg forutsigbart på tvers av en periode. Disse egenskapene skal vi lære mer om i dette kapitlet, og i kapittel 2.



Figur 1.4. Perioder og grupper i periodesystemet.

Metaller, halvmetaller og ikke-metaller

Grunnstoffene kan deles inn i tre kategorier avhengig av hvilken metallisk karakter de har i sin elementære form, som vist i figur 1.5. De tre kategoriene er metaller, halvmetaller og ikke-metaller.

1. *Metaller* er skinnende, leder strøm (er konduktive) og danner legeringer med andre metaller. Metaller danner også ioniske forbindelser med ikke-metaller. Godt over halvparten av grunnstoffene i periodesystemet er metaller. I kapittel 2.3 skal vi lære mer om metallbindingen, som er den kjemiske bindingen som gjelder i metalliske stoffer og legeringer.
2. *Halvmetaller* befinner seg som et bånd mellom metaller og ikke-metaller i periodesystemet. Seks grunnstoffer regnes som halvmetaller, nemlig bor (B), silisium (Si), germanium (Ge), arsen (As), antimon (Sb) og tellurium (Te).
3. *Ikke-metaller* er typisk lette å fordampe og noen av dem er gasser i sin elementære form. Ikke-metallene er ofte dårlige på å lede strøm og varme.

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac-Lr															
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Metall Halvmetall Ikke-metall

Figur 1.5. Grunnstoffene kan deles inn i tre kategorier. Til venstre finner vi mange metaller. En diagonal med halvmetaller går over den høyre siden av systemet, før vi finner ikke-metallene helt til høyre.

Forskning og samfunn: Silisium, et viktig halvmetall

Halvmetaller og forbindelser med halvmetaller er sentrale i kjemien, og vi utnytter slike forbindelser i hverdagen. Silisium er et eksempel. Silisiumforbindelser brukes hyppig i teknologibransjen for eksempel til å lage halvlederkomponenter til bruk i elektronikk og i datamaskiner. I datamaskiner, for eksempel, er silisiumkort viktige fordi de er halvledere, og befinner seg mellom glass og metall når det gjelder evnen til å lede strøm. Silisiumkort kan også moduleres i sin evne til å lede strøm. Det betyr at de kan bli mer eller mindre strømledende, alt etter hva kortene skal brukes til. Dette gjøres ved å «dope» materialet med andre atomer – altså introdusere andre grunnstoffer på en kontrollert måte. Det er altså ikke tilfeldig at området nord i California hvor så mange høyteknologiske selskaper holder til, kalles «Silicon Valley» (silisium heter *silicon* på engelsk).

Silisiumforbindelser er også meget viktige i byggebransjen, de og spiller en sentral rolle i produksjon av de viktige materialene betong, sement og glass, for å nevne noen.

Blokker

Den tredje inndelingen vi skal bli kjent med, er blokksystemet, som er vist i figur 1.6. Gruppe 1 og 2 kalles s-blokken, gruppe 3–12 kalles d-blokken og gruppe 13–18 kalles p-blokken. En del av periode 6 og 7 kalles f-blokken. Blokksystemet er veldig viktig for elektronstrukturen til grunnstoffene, som vi skal se nærmere på i de neste delkapitlene.

s-blokk d-blokk p-blokk f-blokk

Figur 1.6. Blokksystemet viser at vi har fire hovedblokker.