

# Alt er partikler

## Et tankesprang mellom to verdener

**Johannes Tveita**  
**Høgskolen i Nesna**

Dersom all naturvitenskapelig kunnskap, gjennom en naturkatastrofe, skulle ødelegges og bare ett eneste utsagn fikk formidles til neste generasjon, hvilket utsagn skulle da inneholde mest informasjon med færrest ord? Jeg mener det er *atomhypotesen* (eller atomfakta eller hva en velger å kalle det), at *alle ting er oppbygd av atomer, små partikler i stadig bevegelse, som tiltrekker hverandre på kort avstand og som frastøter hverandre om de trykkes i hop.*

Richard Feynman (1963)  
*Fysikkpedagog*  
*Nobelpristaker i fysikk*

## Innledning

Partikkelteorien kan brukes til å forklare/forstå mange fenomen i nesten alle deler av naturfaget (naturvitenskapen):

- \* egenskaper hos gasser, væsker og faste stoff
- \* faseoverganger (fordamping, koking, kondensering, størkning osv)
- \* løsninger
- \* osmose og diffusjon som er viktige fenomen i naturfaga
- \* teorien er og viktig for å forstå ny teknologi som f.eks. lagring av hydrogen inne i faste stoffer.

I den nye læreplanen i naturfag for grunnskolen blir partikkelteorien innført i 5-7. klasse. På disse klassetrinna bruker en teorien for å beskrive sentrale egenskaper ved gasser, væsker, faste stoffer og faseoverganger, altså punkt 1 og 2. De andre punkta ovafor bør komme naturlig i tilknytning til arbeid med kjemi- og biologidelen av naturfaget lengre oppe i klassetrinna.

## Grunnidéene i partikkelteorien (partikkelverden)

Alle stoff består av ørsmå (submikroskopiske) partikler. For hvert stoff er partiklene helt like (unntak er ioner i salt der det er to ionetyper, men partiklene av hver ionetype er helt like). Partiklene er stadig i bevegelse. Det makroskopiske begrepet *temperatur* har

sammenheng med farten eller egentlig den kinetiske energien til de (se side 5) sub-mikroskopiske partiklene. Partikkelteorien er utviklet for en idéell gass (se nedafør) som avviker noe fra de fleste andre gasser. Helium er den gassen som likner mest på en idéell gass, men andre gasser følger reglene for idéell gass så lenge temperaturen er mye høyere enn smeltepunktet for gassen. I gasser som ikke er enatomige (kuleforma) vil også rotasjon av partiklene og vibrasjon mellom atomene i molekylet til gassen spille en rolle.

### Gassfase for idéell gass

- partiklene beveger seg i rette linjer inntil de kolliderer med hverandre eller veggen til beholderen som omslutter gassen.
- når partiklene støter sammen, så spretter de fra hverandre som elastiske kuler eller baller. Partiklene oppfører seg også som elastiske kuler når de kolliderer med veggene til beholderen for gassen.
- mesteparten av volumet som en gassmengde opptar er tomrom.
- det er ingen tiltrekningskrefter mellom partiklene.

Partiklene er i stadig bevegelse og jo *raskere partikkelbevegelse* desto *høyere temperatur* i gassen og omvendt jo *tregere partikkelbevegelse* desto *lavere temperatur*. Den laveste temperatur en kan oppnå er derfor når partiklene i gassen (egentlig ideell gass, et ”tenkt stoff” som alltid er i gassform) er i ro. I Celsius-skalaen er det ved  $-273,16$  grader. Når en innfører *den termodynamiske temperaturen*,  $T$  (kelvinskalaen) er denne temperaturverdien satt til  $0$  K og smeltepunktet for is blir da i denne skalaen  $273,16$  K.

Det makroskopiske begrepet *trykk* forklares i partikkelverden av kollisjoner mellom partiklene og veggene i beholderen f.eks. hamringa mot stampelet i ei sprøyte.

Sammenhengen mellom temperatur og partikkelbevegelsen er blitt utviklet gjennom den såkalte *kinetiske gassteorien*. I denne teorien utleder en at *den kinetiske energien* til en partikkel med gjennomsnittsfart er proporsjonal med *den termodynamiske temperaturen*,  $T$ , til gassmengda:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}k \cdot T$$

der

$m$  er massen til en gasspartikkel

$v$  er gjennomsnittsfarten til gasspartiklene

$k$  er en konstant, Boltzmanns konstant og

$T$  er termodynamisk temperatur (måleenheten er kelvin (K)).  $T=0$  K ved absolutt nullpunkt, ved  $0$  grader Celsius er  $T=273,16$  K og ved  $100$  grader Celsius er  $T=373,16$  K.

En kan også si at absolutt nullpunkt er ved  $-273,16$  grader Celsius)

Uttrykket  $\frac{1}{2}mv^2$  kaller en i mekanikken *den kinetiske energien* til en partikkel med masse  $m$  og fart  $v$ .

### Væskefase for idéell væske

I væskeform tenker vi oss partiklene som kuler som kan bevege seg rundt hverandre i en bestemt avstand (erter i et kar der en rister karet forsiktig slik at ertene beveger seg litt er ofte brukt som analog modell). Det er altså krefter som holder partiklene i en bestemt gjennomsnittsavstand til hverandre, men partiklene kan bevege seg rundt hverandre, og

de må også ha plass til å vibrere (temperaturbevegelse) i forhold til hverandre. Når farten til partiklene blir mindre er altså kreftene mellom partiklene sterke nok til å holde dem sammen i en viss avstand, men det vil også være en frastøtingskraft som gjør at partiklene ikke kommer nærmere hverandre. Væsker er derfor i liten grad mulig å presse sammen (inkompressabel). Avstanden mellom partiklene er mye kortere i væskefase enn i gassfase med samme temperatur og trykk. Avstanden mellom partiklene i gassfase er i størrelsesorden 10-20 ganger større enn i væskefase når en har normalt lufttrykk ved bakken (1 atmosfære). På makronivå betyr det at volumet i gassfase er mer enn 1000 ( $10^3$ ) ganger større enn i væskefase når trykket er en atmosfære.

## Fastfase

Når partiklene får mindre fart (lavere temperatur, frysepunkt), tenker vi oss at krafta mellom partiklene klarer å holde partiklene fast i bestemte retninger slik at de ikke lengre kan bevege seg rundt hverandre. Når dette skjer bygges det opp krystaller og vi får fast stoff. På makronivå sier vi at væska størkner til fast stoff (om vatn: fryser til is). Men partiklene er ikke kommet til ro av den grunn: *Partiklene beveger seg da fram og tilbake på stedet eller om en vil: vibrerer*. Når partikler skifter fra væskefase til fast fase (fryser) gir de ifra seg energi, omvendt skifter fra fast fase til væskefase (smelter) får de tilført energi.

Avstanden mellom partiklene i væskefase og fastfase er av samme størrelsesorden. Vatn danner såkalte hydrogenbindinger som medfører at vannpartiklene i isfase legger seg i sekskanta mønster og blir lengre i fra hverandre enn i vannfasen. Dette kommer av at vannmolekylet er en dipol, altså har en positiv og negativ side. Frossent vatn (is) har derfor mindre tetthet enn vatn ved samme temperatur. Dette er spesielt for vatn og noen få andre stoff f.eks. jern! Hydrogenbindingene mellom vannmolekylene blir ofte omtalt som svake bindinger/krefter, men en må huske på at disse kreftene er mye større enn kreftene mellom molekylene til andre stoff. Hydrogenbindingene er blant annet årsak til at vatn har mye høyere smelte- og kokepunkt enn andre stoff med samme molekylvekt, f.eks. er karbondioksid,  $\text{CO}_2$  og propan,  $\text{C}_3\text{H}_8$  gasser ved romtemperatur!

Her er ei simulering av de tre fasene for samme stoff:

[http://www.harcourtschool.com/activity/states\\_of\\_matter/index.html](http://www.harcourtschool.com/activity/states_of_matter/index.html)

*Studer simuleringa. Stemmer simuleringa med modellbeskrivelsene ovafor?*

*Hvordan er temperaturen (partikkelbevegelsen) i gassfasen i forhold til i væskefasen?*

## Oppsummering: to verdener

Vi kan se på partikkelteorien som en egen verden, *partikkelverden* – en mikroverden – og vår *makroskopiske verden* som en annen verden. Disse to verdenene henger imidlertid sammen slik at partikkelverden kan brukes til å forklare fenomener i den makroskopiske verden. For å hjelpe elevene til å forstå partikkelverdenen innfører vi en dramamodell der elevene spiller hvordan partiklene oppfører seg ved forskjellige fenomener i den makroskopiske verden.

Her er en sammenlikning mellom de to verdener av noen begrep og en dramamodelle for partikkelverden:

### Vår makroskopiske verden

### Partikkelverden – den mikroskopiske verden – med dramamodelle

Stoff

Er sammensatt av partikler

Gass

Partikler i rask bevegelse som ikke tiltrekker hverandre, men reflekterer som elastiske kuler når de kolliderer med hverandre eller veggen som omgir gassen. I forhold til partikkelstørrelsen er det langt mellom partiklene, mesteparten av rommet til gassen er i er således tomrom, vakuum.

*Dramamodelle:* Elevene spiller partikler som beveger seg friksjonsløst, men reflekterer elastisk når de treffer hverandre eller en vegg (Se figur 1 nedafor).

Væske

Partiklene i en væske tiltrekker hverandre, men frastøter hverandre når de kommer nær hverandre. Alle partikler har en bestemt gjennomsnittsavstand til nabopartiklene, slik at væsken ikke kan forandre volum sjøl om den blir utsatt for stort trykk.

Partiklene kan bevege seg omkring hverandre.

*Dramamodelle:* Elevene som spiller partikler er mye nærmere hverandre. Elevene har armene tett inntil kroppen og kan bevege seg til de treffer andre elevpartikler eller de kan bevege seg rundt hverandre.

Fast stoff

Partiklene er som i en væske i en bestemt gjennomsnittsavstand. Partiklene i fast stoff kan ikke bevege seg omkring hverandre, men er plassert i en bestemt retning i forhold til hverandre.

*Dramamodelle:* Elevene spiller partikler som står på rekker og rader og hver elev holder venstre arm, litt bøyd, på skulderen til eleven til venstre for seg og holder høyre hand, litt bøyd, på skuldra til eleven framfor seg. (se figur 2 nedafor)

Temperatur til et stoff

Gjennomsnittsfarten (egentlig gjennomsnittlig kinetisk energi) til partiklene i stoffet.

*Dramamodelle:* Elevene kan bevege seg

- i gass ”friksjonsfritt” i rette linjer til de treffer en annen partikkel eller veggen til beholderen for gassen
- i væske ligger partiklene mye tettere, så det blir ofte vibrasjoner att og fram på stedet, men de kan og bevege seg rund hverandre
- i fast stoff kan partiklene bare vibrere att og fram på stedet

Trykk i gass

Resultatet av mange kollisjoner mellom partikler og vegg (makroskopisk) som omgir gassen.

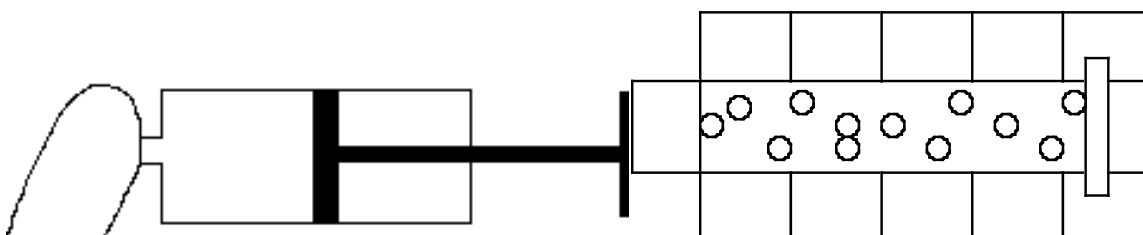
## Fagdidaktikk/metodikk

### *Et ”tankesprang” til partikkelverdenen!*

Partikkelteorien kan en se på som en egen verden, den submikroskopiske verden, mens vår verden er en annen verden, den makroskopiske verden. Den konkrete utforming av partikkelteorien blir ofte beskrevet som en modell, f.eks. en dramamodelle og i det siste er det laga mange ulike animasjonsmodeller som en finner på internett. Nedafor vil vi først innføre en dramamodelle som har vist seg svært nyttig til å hjelpe elever i grunnskolen inn i partikkelverdenen.

### Forsøk og drama. Fra vår makroskopiske verden til partikkelverden

Elevene får først utlevert hver sin engangssprøyte (uten spiss) til å leke med og prøve ut hva sprøyta kan brukes til. Det er bare tillatt å ha luft i sprøyta! Etter at elevene har utforsket engangssprøyta en stund er de modne for å motta instruksjon og vi ber dem om å teste hvor langt de kan presse stampelet sammen mens de holder tett for åpninga på sprøyta. De får da oppleve at lufta kan presses mye sammen og er elastisk! En ber så elevene tenke seg at de har på seg ”magiske” briller slik at de kan se lufta. En prøver så å finne ut hvilke forestillinger elevene har om gasser ved bl.a. å bruka tegning og ved å diskutere med elevene hvordan de forklarer forskjellige fenomener de har erfart med luft i sprøyta. De aller fleste elever i 11–15-årsalderen tenker på luft (gass) som noe kontinuerlig og ikke bestående av partikler. Bare en sjelden gang har en elev i en klasse ideen om at luft består av partikler. Det viser seg likevel at når partikkelideen blir innført av en elev eller av læreren, så slår de fleste elevene lett over på partikkelideen og bruker den til å forklare eksperimentene med sprøyta!



Figur 1

Den venstre figuren: Bilde av ei virkelig engangssprøyte tettet med en finger.

Den høyre figuren: Elevene (symbolisert med sirkler) spiller partikler i ei lukka "sprøyte". "Sprøyta" er laga av pulter og "stampelet" er en stokk f. eks. et kosteskaft.

For å hjelpe elevene til å tenke i partikler har vi god erfaring med et dramaspill der elevene spiller partikler. Noen av pultene i klasserommet plasseres slik at de danner en "beholder" for "elevpartiklene", og fungerer som en modell for sprøyta (se figur 1). En stiv stokk som kan skyves over pulttrekkene representerer stempelet i dramasprøyta. Elevene som spiller partiklene i dramasprøyta skal bevege seg i rette linjer med armene langs kroppen. Når de kolliderer med hverandre eller veggene skal de reflektere som baller (elastisk refleksjon). En elev styrer/skyver stempelet (stokken) til dramasprøyta.

For å kontrollere farten til elevpartiklene spiller vi musikk og ber elevene bevege seg i takt med musikken. Når elevene beveger seg i dramasprøyta etter reglene ovenfor erfarer de hvordan *trykket* til gassen oppstår ved kollisjon med veggene. Når stempelet/stokken gjør beholderen mindre opplever elevene oftere kollisjoner med veggen og stempelet og dermed større *trykk*.

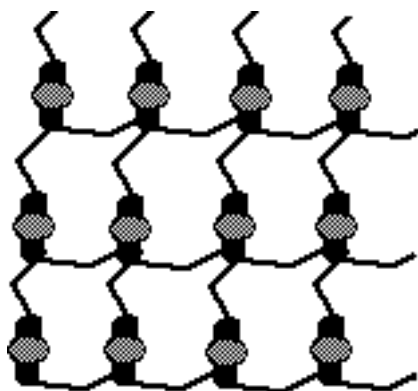
Ved å varme opp en kolbe tettet med en ballong, viser vi at det er sammenheng mellom høyere temperatur og trykket idet vi ser at ballongen utvider seg. Hvordan kan dette forklares med partikkelteorien?

Vi dramatiserer med dramasprøyta: læreren "forandrer temperaturen" ved å synge en sang eller slå rytme og gradvis øke eller minske rytmen. Elevene får på den måten oppleve at det blir kraftigere kollisjoner med høy temperatur (rask rytme, høy fart) enn med lav temperatur (treg rytme, lav fart)! Det er nyttig å stoppe dramatiseringa flere ganger og diskutere erfaringene tolkingene av dramatiseringa for makroverden!

*Væske* kan en introdusere ved dramasprøyta ved å presse elevene nesten helt sammen i dramasprøyta. Elevene skal nå også bevege seg, men nå blir det mere rundt hverandre og fram og tilbake på samme sted. En god modell for væske kan være erter eller andre stoff på kjøkkenet som består av like partikler i et kar som elevene rister på. Eleven kan med denne modellen oppleve at ertermodellen har f.eks. horisontal "overflate" og fyller ut formen på karet.

I faste stoffer ligger partiklene på faste plasser i forhold til hverandre, men de vibrerer om disse faste plassene. Som for gass og væske knytter vi det makroskopiske begrepet temperatur til partiklenes bevegelse, ofte kalt temperturbevegelsen. Partiklene ligger omtrent like tett som i væskeform. Ved at elevene hekter seg sammen slik som på figur 2, kan en f.eks.

- demonstrere at fast stoff utvider seg ved oppvarming. En må da sette den ene elevrekka inntil en vegg og etter hvert som vibrasjonsfarten øker, må elevene forskyve seg på golvet.
- demonstrere varmeledning ved at en setter noen av elevene i større bevegelse og denne større bevegelsen brer seg videre til de andre elevene.
- demonstrere smelting og størkning ved at elever (partikler) på "overflata" blir revet løs eller fanget inn.
- en kan også demonstrer at gasspartikler som hydrogenmolekyler kan få plass (bli innfanget) mellom de store molekylene i visse metall slik at en kan oppbevare gassen hydrogen uten å bruke store beholdere eller stort trykk. Hydrogen blir på denne måten oppbevart i en slags fast form og trenger derfor mye mindre plass enn i gassform.



*Figur 2. Dramatisering av fast stoff. Her holder hver elev venstre handa på skulderen til eleven på venstre sida si og høyre handa på skulderen til eleven framfor seg. De kan røre seg litt fram og tilbake ved at albueene er bøyd.*

### Diskusjonsoppgave.

Hvor vanskelig mener du partikkelteorien er for elevene i grunnskolen? Hvor vanskelig synes du den er? Gir den mening for deg eller bryter den med tanker du har gjort deg før? Har du lært denne teorien før?

Det er to "skoler" når det gjelder om *når* en bør innføre partikkelteorien: Den ene "skolen" meiner teorien er for vanskelig for barn, at en innfører den for tidlig i skolen og at en derfor bør utsette den til 17. -18. år alder (Fensham, 1994). Den andre "skolen" meiner at en innfører den for seint i skolen! (Yngre elever er mer fantasifulle og godtar derfor lettere "fantasifulle" teorier (jfr. Prøysens "Teskjekjerring"). Et annet poeng denne "skolen" påpeker er at barna som ikke får innføring i noen teori etter hvert finner andre forklaringer (hverdagsforestillinger) som kan komme i vegen for å lære/godta partikkelteorien (Nussbaum, 1993; Tveita, 1996; Eskilsson, 2001). Med ny læreplan som innfører teorien/modellen alt i 5.-7. klasse (10- til 12-åringer) synes det som at den siste "skolen" har slått igjennom!

*Diskuter ut fra egen erfaring når dere meiner teorien bør innføres!*

# Bruke partikkelteori til å forklare noen fenomen fra hverdagen

## Sugekopp

*På glatte overflater bruker en ofte **sugekopper** for å feste ting med, f.eks. håndklefeste på badeveggen. Hva er årsaken til at en sugekopp fester seg så godt?*

I den delen av sugekoppen som fester til veggen fjerner en mest mulig luft, slik at her blir det få partikler som kolliderer mot sugekoppen fra innsida ut fra veggen, og dermed lite trykk. På yttersida av sugekoppen har vi derimot mange luftpartikler fra atmosfæren som kolliderer og hamrer mot sugekoppen og dermed utøver stort trykk og presser koppen mot veggen. Med store sugekopper kan arbeiderne løfte/bære svære speilglassruter på 50-60 kg ved hjelp av sugekopper!

*Hvorfor virker sugekopper bare på "glatte" flater?*

## Is – vatn

*Hvorfor er is glatt, det er jo et fast stoff med partikler bundne fast til hverandre?*

I ytterkanten av en isklump, altså de delene som vender mot luft, er det alltid noen partikler i vannfase. Dette kan forklare hvorfor is er så glatt: det er vannpartiklene i væskefase som virker som kulelager fordi i vannfase kan partiklene bevege seg rundt hverandre! Jo lavere temperatur på en isbit desto færre partikler på overflaten er i vannfase og desto mindre glatt er den.

Her er en simulering av isfase med vannfase på overflata:

<http://antoine.frostburg.edu/chem/senese/101/solutions/faq/why-salt-melts-ice.shtml>

*Legg merke til at partiklene i isfase vibrerer på samme sted, mens partiklene i vannfase kan bevege seg rundt hverandre og også rotere! Du kan endre temperaturen ved å skrive inn temperaturer fra -99 grader og opp til 999. Ved å øke temperaturen ser du at noen flere vannmolekyler blir i væskefase, og omvendt ved å senke temperaturen ser du at færre vannmolekyler blir i væskefase. Du bør trykke "reset" ofte for simuleringa "henger" lett.*

*Hvorfor smelter is når vi strør salt på?*

*Den enkle forklaringa som en kanskje kommer på sjøl og som kanskje også holder for elevene: Den ytterste delen av en isklump er det alltid noen partikler i vannfase og når saltet kommer i kontakt med denne vannfasen blir kreftene mellom saltpartiklene (ionene) brutt slik at saltpartiklene blander seg mellom vannpartiklene (makroverden: saltet oppløyer seg). Etter hvert vil noen av saltpartiklene (ionene) komme i nærkontakt med noen ispartikler og ødelegger retningskrafta mellom disse slik at de kommer i vannfase. Temperaturen går ned fordi for hver partikkel i isfase som går over til vannfase, krever tilførsel av energi. Energien tas fra bevegelsesenergien til partiklene i nærheten og dermed går temperaturen ned.*

*Dynamisk forklaring: I ytterkanten av en isklump, altså de delene som vender mot luft, er det alltid noen partikler i vannfase. Dette er grunnen til at is er så glatt; det er vannpartiklene i væskefase som virker som kulelager! I området mellom vannfase og isfase vil stadig noen av partiklene som er i isfase rive seg løs og gå over i vannfase,*



mens samtidig stadig noen i vannfase blir fanga inn og går over i isfase. Ved en bestemt temperatur vil i gjennomsnitt like mange partikler skifte fra den ene fasen til den andre, og vi har likevekt mellom antall partikler i de to fasene. Når en strør salt på isen, så vil saltpartiklene (egentlig Na-ionene og Cl-ionene) rives løs fra hverandre og blande seg mellom partiklene i vannfase. Saltpartiklene vil altså være i vegen for vannpartiklene og hindre at disse blir fanget inn i isgitteret. Ispartiklene fortsetter å rive seg løs og gå over i væskefase, men fordi saltpartiklene hindrer at vannpartiklene blir fanget inn i isfasen blir resultatet at isen etter hvert smelter!

*Det er ikke bare salt som får is til å smelte; andre stoff som løyser seg i vatn har liknende virkning f.eks. sukker eller alkohol.*

På den samme internettsida som referert ovafor, kan en også studere en animasjon om hva som skjer når noen andre typer partikler (f.eks. saltpartikler) kommer i mellom partiklene i væskeform (makroverden: oppløyer seg):

<http://antoine.frostburg.edu/chem/senese/101/solutions/faq/why-salt-melts-ice.shtml>

Denne sida simulerer vatn i isfase, men viser at noen vannmolekyler også er i vannfase sjøl om temperaturen er under null. En kan sette til andre oppløysingspartikler ved å trykke "add solute". For å få mange oppløysingspartikler bør en først starte med "reset". Temperaturen blir da satt til null og cirka halvparten av partiklene er i vannfase og halvparten i isfase. Når en nå trykker "add solute" blir vannpartiklene i simuleringa til oppløysingspartikler. Velg så raskt temperaturer under null, men start med temperaturer nær null, f.eks. -1 og studer simuleringa.

*Viser denne simuleringa at oppløysingspartiklene "angriper" retningskrafta mellom ispartiklene og sørger for at flere partikler etter hvert blir i "væskeform"? Prøv med lavere temperaturer og tilsett oppløysingspartikler. Gir simuleringa et riktig bilde nå?*

*Hvorfor fryser(smelter) vatn med oppløyst salt eller andre stoff ved lavere temperatur enn null grader?*

Når oppløysinga fryser til fast stoff inneholder isen bare reint vatn altså kun vannpartikler i et krystallgitter. Vi kan derfor tenke oss i partikkelverden at saltpartiklene (ionene) kommer i vegen for vannpartiklene når de skal binde seg til hverandre i et krystallgitter og slik hindrer krystallbygginga. Først når partikkelbevegelsene blir tregere (lavere temperatur) blir kreftene mellom vannpartiklene sterke nok til å skyve partikler av oppløysingsstoffet unna slik at retningskrafta "får tak". Ved en gitt konsentrasjon av salt oppløyst i vatn, vil vatnet i oppløysinga starte og fryse ved en bestemt lågere temperatur enn frysepunktet for vatn – vi sier vi får frysepunktsenking. Omvendt vil med den samme konsentrasjonen av salt og is godt blanda sammen, også isen til smelta ved den samme bestemte temperatur som blandinga ovafor frøs med!

*Men hvorfor går temperaturen i det hele tatt ned når vi strør et oppløysingsmiddel på is?*

For hver partikkel is som smelter så trengs det tilførsel av energi. Energien tas fra bevegelsesenergien til partiklene i nærheten og dermed går temperaturen ned. For å smelte 1 g is til vatn må tilføres 330 Joule!

Det viser seg at frysepunktsenkinga (hvor mye frysepunkt/smeltepunkt går ned ved oppløsning av partikler i vatnet) for ei oppløsning av et stoff i vatn er proporsjonal med antall oppløyste partikler i vatnet (isen). Ved tynne konsentrasjoner spiller partikkeltypen altså liten rolle viss stoffet oppløyer seg i vatn. På grunn av at de ulike stoffene oppløyer seg forskjellig (f.eks. blir ikke all koksalt (NaCl) oppløyst i ioner i vannløsning!), så blir den laveste smelte-/ frysetemperaturen for oppløsninger av ulike stoff i vatn forskjellig. Vegsalt (kalsiumklorid ( $\text{CaCl}_2$ )) løyer seg lettere i ioner i vannløsning enn koksalt, og derfor kan en oppnå større frysepunktsenking med kalsiumklorid ( $\text{CaCl}_2$ ) enn med koksalt (NaCl). Etanol oppløyer seg svært godt i vatn, og oppløsning av is og etanol kan derfor nå lavere smelte/frysepunkt enn koksalt.

Prinsippet med at ei oppløsning har lavere frysepunkt enn oppløsningsmiddelet benytter mange planter seg av når temperaturen nærmer seg null ved å lage "frostvæske". Stivelse som ikke oppløyses i vatn blir da omdannet til sukker og/eller sukkeralkoholer som oppløyses i plantesafta. Dette er grunnen til at poteter som blir utsatt for temperaturer omkring null grader smaker søtt.

Blanding av koksalt og is i forholdet 1 til 3 blir på folkemunne kalla kuldeblanding. Med å ta 23 vektprosent salt blanda godt med 77 vektprosent knust is eller snø skal en kunne oppnå minus 21,3 grader, men i praksis er det vanskelig å nå lavere temperatur enn minus 20 grader. Hver for seg har disse to stoffa høyere smeltepunkt: natriumklorid, 801 grader og vatn, 0 grader. Kuldeblanding er eksempel på ei eutektisk blanding: den blanding av to stoffer som har det laveste frysepunkt noen blanding av de to stoffene kan ha. Ei anna kjent eutektisk blanding er loddeletrinn som er ei blanding av 25% bly og 75% tinn. Loddetinn har smeltepunkt på 181 grader, mens bly har 327 grader og tinn 232 grader.

### **Smelting av isbit i luft og i vatn**

*Hvorfor smelter en isbit i vatn med romtemperatur mye fortare enn en isbit som ligger på et bord med bare luft omkring?*

Luftpartiklene og vannpartiklene har i starten samme temperatur (romtemperatur) og derfor samme gjennomsnittsenergi. Fordi det er mye tettere rundt isbiten som ligger i vatn med (vann)partikler enn rundt isbiten som ligg i luft med (luft)partikler, så treffer vannpartiklene og avgir energi til isbiten mye oftere enn luftpartiklene gjør. Derfor overføres energi fra vatnet mye raskere enn fra lufta og isbiten i vatnet smelter derfor raskere.

Fordi gass, i forhold til vannfase og fastfase, er færre partikler (pr. volumenhet) som overfører energi er også grunnen til at gass er en *dårligere varmeleder enn væske og fast stoff!*

## **Fordamping**

*Når en søler litt vatn på bordet eller på golvet, så forsvinner ofte vatnet etter noen timer og vi sier at vatnet har fordampet. Med partikkelteorien forklarer en dette slik:*

Fordamping betyr at partikler i væskeform river seg løs og blir i gassform. Dette kan jo bare skje på overflata av væska når væska er under kokepunktet. Vi forstår derfor at jo større overflate på væska desto flere partikler får mulighet til å rive seg løs, så derfor

fordamper væske med stor overflate raskere enn væske med liten overflate. *Dette er en oppgave som elevene lett kan prøve ut!*

Litt nede på denne internettsida er det en animasjon av fordamping:

<http://www.chem.purdue.edu/gchelp/solutions/eboil2.html>

*Fordamping og temperatur.*

Jo høyere temperatur, altså raskere partikkelbevegelse og dermed kinetisk energi pr partikkel, desto raskere fordamper væska. *Hva med temperaturen i væska etter at den ei stund har mista mange partikler som er gått fra væskefase til gassfase?*

De partiklene som river seg løs (fordamper og blir frie gasspartikler) fra væska må ha fått noe høyere fart (energi) enn de andre partiklene for å kunne rive seg løs fra væska. Det betyr at partiklene i væska som er igjen i gjennomsnitt har lavere fart (og dermed lavere kinetisk energi), derfor avkjøles væska ved fordamping.

*Vi blåser på suppa for å avkjøle den. Kan du forklare hvorfor dette virker ved å nytte partikkelteorien?*

*Hvorfor har en lokk på ei kasserolle med vatn som en ønsker å få til å koke?*

## **Koking**

Koking er et spesialtilfelle av fordamping; det er den hurtige overgangen av ei væske til gass ved hjelp av danning av bobler i væska. Ei væske koker ved kokepunktet, det er den temperaturen hvor damptrykket<sup>1</sup> til væska er lik atmosfæretrykket (trykket over væska). Kokepunktet til ei væske er den temperaturen der væskas damptrykk er like stor som atmosfæretrykket eller lufttrykket over væska. Ved kokepunktet, er damptrykket til væska høy nok til at det kan skyve til side atmosfæren over væsken slik at det blir plass for dampboblene inne i væska. I partikkelverden: Den kinetiske energien, eller om en vil temperaturbevegelsene til partiklene, blir så kraftige at væskepartiklene river seg løs fra hverandre, det danner seg da bobler av partiklene i gassform inne i væska, væska koker. Her er ei simulering av partikler i en boblevegg og gasspartikler i bobla (ved koking):

<http://www.chem.purdue.edu/gchelp/solutions/eboil2.html>

og velg "Click here to review boiling of pure liquids".

## **Fordamping fra is?**

*Mange har vel opplevd at klær som har hengt ut en klar kald vinterdag raskt fryser seg stivt, men blir etter forholdsvis kort tid likevel tørt! Dette betyr kanskje at partiklene som er bundne i fast is blir revet løs og går direkte over i gassfase?*

Som nevnt tidligere vil noen av partiklene på grensa mellom isen og lufta skifte mellom å være i isfase og væskefase sjøl om temperaturen er under frysepunktet. Noen av disse partiklene i væskefase vil gå over i gassfase og altså forsvinne fra isen. Resultatet blir at isen fordamper. Vi kaller dette *sublimasjon*. Sublimasjon er årsaka til at mye av snøen forsvinn "i løse lufta" i godt (tørt) vær om våren uten å bli oppsamlet som smeltevann i vannmagasinene til elverka.

---

<sup>1</sup> Damptrykket er resultatet av partikkelkollisjonene som væskepartiklene i kokeboblene utøver. Damptrykk er altså trykket som dampen (væskepartiklene i gassform) utøver.

Det omvendte opplever en også ofte om høsten, vanndamp i lufta går direkte over i rim i løpet av natta. Dette kalles også sublimasjon. *Sublimasjon* er altså på makronivå å skifte fra fastfase til gassfase eller omvendt uten å gå via væskefase (på mikronivå vil jo partiklene også passere væskefasen!).

Dette at is lett går over til gass ved svært lavt trykk, blir benyttet ved såkalt frysetørring. Kaffe (i væskeform) blir sprøytet inn forstøvet i fine dråper inn i en beholder der temperaturen er under minus 10 grader og der trykket er svært lavt (under damptrykket for is ved minus 10 grader). Vanndråpene fryser da til is som så sublimerer til vanndamp, mens kaffen (frysetørra) faller som fine korn ned på bunnen av beholderen. Vanndampen blir vanligvis fjerna ved å la den utfryse på en spesiell kald overflate i beholderen. Mange ting som vi benytter i dagliglivet blir laga på liknende måte f.eks. ferdigsupper.

### **Diffusjon**

Når to ulike stoff blander seg med hverandre på grunn av partikkelbevegelsen til stoffa sier vi at stoffene diffunderer ("blander seg" eller "sjølblander" passer kanskje på norsk). Gasser diffunderer (blander seg) raskt med hverandre, væsker diffunderer (blander seg) seinere. Ved diffusjon kan gass også spre seg til ei væske. F.eks. vil utkokt vatn snart bli luftholdig sjøl om vatnet står i ro. Gass kan også diffundere inn i et fast stoff, f.eks. kan hydrogen diffunderer inn i det faste stoffet palladium. Det viser seg at hydrogenpartiklene får plass mellom partiklene i det faste stoffet, og en kan derfor oppbevare flere kubikkmeter med hydrogengass ved atmosfæretrykk i en liten klump palladium. En prøver nå å finne andre stoff som kan oppbevare enda større mengder hydrogen for at en i framtida kan bruke hydrogen som brennstoff og dette stoffet som "brennstofftank" for brennstoffet hydrogen. I gassmasker bruker en ofte karbon i pulverform til å "suge opp" giftige gasser.

Ofte har en også diffusjon gjennom porøse vegger. Mange biologiske prosesser f.eks. i kroppen vår nytter slik diffusjon (gassveksling ( $O_2$  og  $CO_2$ ) i lungene til og fra blodet). Hornhinna i øyet vårt får på samme måte tilført oksygen ved diffusjon fra blodårene i vevet og øyelokket som ligger inntil øye. Blodårene i vevet inntil øyet er derfor svært tynne (gjennomsiktige) og det er grunnen til at dette vevet er sterkt blodfarga! I det siste er det utvikla kontaktlinser som slipper igjennom oksygen og en kan derfor ha disse på i flere dager fordi øyet får tilført oksygen igjennom kontaktlinsa! På side 42 i kompendiet "Partikkelmodellen for stoffa" finner du flere eksempel.

### **Osmose**

Osmose er diffusjon av partikler gjennom ei hinne. En type partikler (ofte vatn) kan gå igjennom hinna, mens en annen type (oppløyst i vatn, f.eks. salt) blir stoppet av hinna. Slike hinner kalles halvgjennomtrengelige eller semipermeable. Fordi de små partiklene f. eks. vatn, kan passere igjennom den halvgjennomtrengelige hinna, mens de store partiklene blir holdt tilbake så går det flere partikler inn til den sida der det er store partikler. Dette fører til at det blir flere partikler her og dermed større trykk. Dette at det er forskjell på trykket mellom de to sidene av den halvgjennomtrengelige hinna kaller vi *osmotisk trykk*; f.eks. er det dette trykket som holder ei blomsterplante stiv og gjør at ei plante f. eks. kan bryte igjennom tjukk asfalt.

Ved å bruke *omvendt osmose* lager en ferskvatn av sjøvatn. En har da en hinne som kun slipper igjennom vannpartikler, men ikke de større partiklene som er oppløyst i sjøvatnet f.eks. ioner. En utsetter da “sjøsida” for høyt trykk fra et stempel, og presser dermed vatn igjennom hinna slik at en får reint vatn på den andre sida av hinna. Ved å utsette sjøvatnet for høyt trykk får en altså vannpartiklene (vannmolekylene) til å gå motsatt veg enn ved osmose og derfor blir dette kalt *omvendt osmose*.

I det siste har en laga så gode og sterke semipermeable hinner at en snakker om at en i nær framtid kan la ferskvatn fra elvene våre få diffundere igjennom slike semipermeabel hinner over til sjøen. På sjøsida vil en da oppnå et høyt osmotisk trykk som kan nyttas til å lage elektrisk energi av!

### **Hvorfor minker mengden oksygenpartikler (gasspartikler) en kan løyse opp i vatn når en øker temperaturen, mens mengden sukkerpartikler (eller andre faste stoff som oppløyer seg i vatn) øker når en øker temperaturen?**

*Gass oppløyst i væske.*

Setter en et glass med vatn der en har fjernet gasspartiklene (ved f.eks. koke vatnet) i luft, så vil gasspartikler som finnes i luft snart diffundere inn i vatnet og blande seg med vannpartiklene. Viss vi ser spesielt på oksygen, så vil det etter ei tid forbli ei bestemt mengde oksygen i glasset. Det blir det en kaller ei dynamisk likevekt mellom oksygenet i vatnet og oksygenet i lufta over vatnet, altså like mange oksygenpartikler vil i gjennomsnitt gå inn i væska (gjennom overflata) som antall oksygenpartikler forlater væska, så lenge trykk og temperatur er konstant. Mengden av oksygen som forblir i vatnet når likevekta har innstilt seg er avhengig både av temperaturen og trykket av gassen over væska. Oksygenpartiklene i vatnet vil være i en væskefase. Når oksygenpartiklene går fra gassfase til væskefase vil det være en energifrigjørende prosess som ved alle slike faseoverganger fra gass til væske.

Når temperaturen i vatnet stiger, så vil trykket av oksygenet i vatnet øke slik at det danner seg bobler med oksygen i væska, altså vil flere oksygenmolekyler i væskefase i bobleoverflata gå over i gassfase enn omvendt. Oksygenboblene vil altså øke i størrelse og etter hvert forsvinne ut av væska. Dette blir altså svært analogt med koking, men her vil ikke overgangen mellom væske og gass skje på en bestemt temperatur. Dersom temperaturen stiger fortsatt så vil flere oksygenpartikler gå fra væskefase til gassfase. Dersom temperaturen stabiliserer seg, vil de igjen innstille seg ei dynamisk likevekt mellom antall partikler som diffunderer inn i væska og ut fra væska gjennom overflata av væska.

For å innse at vatn vil inneholde mindre oksygen desto høyere temperatur vatnet har, kan en også nytte Le Chateliers prinsipp<sup>2</sup>: Når temperaturen øker, så prøver systemet (vatn og lufta/oksygenet) å motvirke denne forandringa ved å reagere med å overføre oksygenpartiklene i væskeform til gassform som er energikrevende og altså prøver å motvirke at temperaturen øker!

---

<sup>2</sup> Le Chateliers prinsipp: Et system som blir påtrykt ei forandring vil reagere på en slik måte at det prøver å motsette seg den påtrykte forandringa.

*Fast stoff oppløyst væske.*

Når stoff i fast form f.eks. sukker eller salt oppløyer seg i væske vil dette kreve energi, fordi partiklene i det faste stoffet vil da gå fra fast fase til væskefase som er normalt er energikrevende for alle stoff. Det er energikrevende å bryte retningskrafta i bindingene mellom partiklene i fast form slik at partiklene kan bevege seg omkring hverandre som de gjør i en væske. Ved en bestemt temperatur, og det er tilstrekkelig med sukker i fast form, vil det etter ei tid innstille seg ei dynamisk likevekt mellom oppløyst sukker og sukker i fast form. Like mange partikler vil da i gjennomsnitt gå over i væskefase som omvendt blir innfanget i fastfase. Ved å øke temperaturen vil krafta mellom partiklene i det faste stoffet svekkes samtidig som det bli kraftigere kollisjoner mellom partiklene i fast form og væskepartiklene. Dette vil medføre at flere partikler går over i væskefase enn omvendt. Dette forklarer erfaringa vi har med de fleste stoff: Mer fast stoff oppløyer seg i ei væske når en øker temperaturen!

Det at mer fast stoff oppløyer seg når en øker temperaturen kan en også innse ut fra Le Chateliers prinsipp: når en øker temperaturen vil systemet reagere med å motsette seg denne økinga ved at flere partikler går over til væskeform som er en energikrevende prosess.

**Videre lesning:** Her er et nettbasert opplegg for hvordan bruke partikler i undervisninga (Haaland & Tveita 2006): [www.evina.no/partikler.html](http://www.evina.no/partikler.html)

## Oppgaver

*Diskuter med medstudenter og prøv å forklare fenomenene nedafør med partikkelteorien! Hvor mange av oppgavene klarer dere å gi en forklaring på som dere er fornøyde med?*

1. I salg av visse regnjakker blir det hevdet at stoffet i jakka (f. eks. Goretex) hindrer at regn slipper inn igjennom stoffet, men at stoffet slipper ut svette! *Forklar hvordan dette kan være mulig!*
2. Partiklene (molekylene) i karbondioksid er 40 % tyngre enn oksygenpartiklene og nitrogenpartiklene. En skulle da tro at mesteparten av karbondioksidet legger seg nederst ved jorda med oksygen og nitrogen høyere oppe!? I atmosfæren er likevel disse partikkeltypene jevnt fordelt! *Hvorfor?*

I en silo eller en potetkjeller opplever en likevel at folk omkommer fordi det er mye karbondioksid og lite oksygen. *Hvorfor?*

3. *Hva inneholder boblene i vann som koker?*
4. *Hva inneholder boblene i olje som koker?*
5. En lang spiker eller et anna metallstykke som går fra innsida av karmen i stueviduet og ut i fri luft, kaller en i dagligtalen ei kuldebro fordi den ”fører kulde

fra lufta ute og inn i stua"! Er dette en fysikkfaglig korrekt beskrivelse? Bruk partikkelteorien til å forklare hva som egentlig skjer!

6. *Hvorfor blir det farlig glatt på et golv der en har sølt vann?*
7. *Hvorfor er is glatt? Hvorfor sklir skøyta til skøyteløperen lettere enn f.eks. sko?*
8. *Hvorfor smører en hjulakslinger med olje eller fett? Ville det hjelpe å bruke vatn å smørje med dersom en er i beit for olje?*
9. *Når en vasker f.eks. golv eller kopper, brukar en vatn med høy temperatur (varmt vatn). Hvorfor ikke kaldt vatn?*
10. *Hvorfor smelter en isbit raskere i vatn enn i luft sjøl om vatnet og lufta har samme temperatur?*
11. *Et glass med vatn som står og fordamper vil ha lavere temperatur enn andre ting i rommet omkring særlig dersom vannoverflata er stor. Dette fenomenet blir brukt i varme land der en har vatn i leirkrukker og får på den måten kaldt drikkevatt. I det siste er det og laga billige "kjøleskap" etter det same prinsippet for bruk i utviklingsland!  
*Forklar årsaka til dette fenomenet!**
12. a. *Øker eller minker kokepunktet for vatn når en oppløyer f.eks. salt eller sukker i vatnet?*  
b. *Øker eller minker frysepunktet for vatn når en oppløyer f.eks. salt eller sukker i vatnet?*  
*Grunngi svarta!*

## Fasit

Oppgave 1: Stoffet har hull som slipper igjennom damppartiklene, men vannpartiklene henger i sammen og slipper ikke igjennom.

Oppgave 2: Gasspartiklene har stor fart og kolliderer med hverandre stadig. Dette medfører at de blander seg godt.

Oppgave 3: De inneholder vannpartikler i gassform. Mange tror det er oksygen eller luft, men oksygenet forsvinner fra vatnet før vatnet koker.

Oppgave 4: De inneholder oljepartikler i gassform.

Oppgave 5: På innsida får spikeren kinetisk energi i form av temperaturbevegelsen på utsida avgir den denne kinetiske energien til materialet på utsida. Det blir derfor en eksport av energi fra innsida til utsida.

Oppgave 6: Vatnet er som en haug med små kuler og disse virker glatt som et kulelager.

Oppgave 7: Ved å bruke skøyte blir all tyngda til skøyteløperen fordelt på skøytetålet. Det blir da stort trykk mot isflata under skøytetålet som smelter isen her til vatn. Skøyta glir derfor på vatn som virker som kulelager.

Oppgave 8: Fettpartiklene virker som kulelager. En kan nytte vatn, men det virker bare ei kort stund før det fordampes. Olje eller fett fordampes mye seinere og kan derfor virke i lang tid.

Oppgave 9: Den høye temperaturen medfører at vannpartiklene hakker løs partiklene som skitten består av og partikler og fordeler seg i vatnet. Makroskopisk sier vi skitten oppløser seg i vatnet.

Oppgave 10: Det er partiklenes kinetiske energi som treffer isbiten som driver smeltinga av isbiten. Da det er mye tettere med partikler i vatn enn i lufta vil mange flere partikler pr sekund treffe og avgi energi til isbiten i vatnet enn i lufta.

Oppgave 11: Noen vannpartikler i overflata av vatnet vil ha stor nok kinetisk energi og fart ut fra vatnet slik at de slipper fri fra vatnet og blir til gasspartikler. Da det bare er partikler med høy energi som unnslipper, vil partiklene som er igjen i vatnet ha lavere energi og dermed lavere temperatur. Leirkrukker er så porøs at den slipper litt vatn ut i karveggen i heile krukka og dermed får flere vannpartikler mulighet til å slippe fri og vatnet avkjøles!

Oppgave 12 a: Når vatnet koker så er det bare vannpartikler i kokeboblene. Når det er oppløyst andre partikler i vatnet, så kommer disse i vegen for vannpartiklene som skal inn i boblene. Vannpartiklene må derfor ha større fart eller energi for å skyve vekk oppløysingspartiklene. Altså må vatnet med oppløyst salt eller sukker ha høyere temperatur for å koke.

Oppgave 12 b. Når vatnet fryser så binder det seg til andre vannpartikler i et gitter. Når det er oppløyst andre partikler i vatnet, så vil disse partiklene komme i vegen for vannpartikler som skal binde seg til hverandre. For at kreftene som binder vannpartiklene skal få tak, må farten til partiklene senkes. Altså vil vatn med oppløyste partikler fryse ved lavere temperatur enn reint vatn.



## Referanser

- Eskilsson, O. (2001). *En longitudinell studie av 10 – 12-åringars förståelse av materiens förändringar*. ACTA Universitatis Gothoburgensis, Göteborg.
- Fensham, P. J. (1994). Beginning to Teach Chemistry. I P. Fensham, R. Gunstone & R. White (red.), *The Content of Science*. Abingdon, Oxon: Routledge.
- Feynman, R. P. (1963). *The Feynman Lectures on Physics*. London: Addison-Wesley.
- Haaland, B. og Tveita, J. (2006) Nytt kurstilbud til norske lærere på Internett: "Naturen er partikler i bevegelse - hva gjør de?". I L. Bering et al. (red.), *Naturfagsdidaktikkens mange facetter. Proceedings fra Det 8. nordiske Forskersymposium om undervisning i naturfag*. København: Danmarks Pædagogiske Universitets Forlag.
- Nussbaum, J. (1993). Teaching About Vacuum and Particles, Why, When and How. I J. Novak (red), *Proceedings to the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, New York: Cornell University.
- Tveita, J. (1994). *Elevaktive undervisningsmetoder i naturfag brukt til å formidle den kinetiske partikkelmodellen for stoffa* (Høgskolen i Nesnas skriftserie nr. 23). Nesna: Høgskolen i Nesna.
- Tveita, J. (1996). Er elevane i grunnskolen modne for å læra den kinetiske partikkelmodellen? I O. Eskilsson og G. Helldén (red.), *Naturvetskapen i skolan inför 2000-talet*. Kristianstad: Fagus.