Overflatespenning

Intermolekylærkjemiens betydning for fenomenet

Kandidatnummer:20K6

Vanndråpe på en mynt, bilde tatt av forfatteren

Har du noen gang sittet på stranda en varm sommerdag, med tærne i den myke sanden, sett utover det blå, glitrende havet, og tenkt; «Se på all den fine overflatespenningen!»
Nei, tenkte meg det. Ikke jeg heller.
Men kanskje vil du gjøre det etter å ha lest denne oppgaven.

Innholdsfortegnelse

Forord *4*

Innledning *6*

Teoretisk kapittel *7*

Kjemisk polaritet **7**

Vann **9**

Intermolekylære krefter i andre forbindelser **12**

Temperaturens påvirkning på overflatespenning **17**

Surfaktanter **18**

Måling av overflatespenning **20**

Forsøksrapport *23*

Utstyrsliste **24**

Gjennomføring **25**

Forarbeid 25

Analyse 26

Resultater **27**

Diskusjon *28*

Temperatur **30**

Etanol **31**

Zalo **32**

Glyserol **34**

Konklusjon *35*

Bibliography *36*

Forord

Tidlig i prosessen til denne oppgaven, bestemte jeg meg for hva den praktiske delen skulle bestå av. Et forsøk som gjorde det mulig for meg å sammenlikne overflatespenningen i forskjellige væsker og forskjellige omgivelser. Dermed startet min planlegging av den praktiske delen, med et mål om å finne en metode eller et apparat som kunne bestemme overflatespenning. Det ble speidet etter enklere metoder for å måle overflatespenning i både litteratur og internettet. Sammen med min veileder diskuterte jeg diverse «hjemmelagde» og kreative metoder for å måle overflatespenning i væsker. Metodene som ble tatt opp og prøvd ut var blant annet optisk videomåling av volumet til dråper av en væske, konstruksjon av en papirvekt som kunne måle overflatespenningen, eller bestemme overflatespenningen ved hjelp av vekten til et bestemt antall dråper væske. Alle disse metodene ble det funnet ulemper ved, og jeg kom ikke til en sikker beslutning.

I løpet av denne prosessen kom jeg over selskapet Krüss. Dette er et internasjonalt selskap som tilbyr vitenskap, ekspertise og leveranse av apparater, alt omhandlende overflatevitenskap. Jeg tok motet til meg, og sendte en mail til Dr. Andrew Mellor fra universitetet i Bristol, som var Storbritannias kontaktperson for Krüss. Jeg spurte om tips for mine ideer angående «hjemmelagd» konstruksjon for å måle overflatespenningen. I svaret fortalte Mellor at hans tyske kollega, Mr. Malte Soyek skulle til Norge innen en ukes tid. Etter kort tid ble jeg kontaktet av Soyek, og til min store glede tilbydde han seg å ta med et enkelt, men likevel profesjonelt tensiometer til Norge. Dette målingsapparatet kunne jeg låne til min fordypningsoppgave, helt gratis!

Bare noen dager etter møtte jeg Snoyek. En blid og hyggelig tysker, nylig ankommet med Kiel ferga, steg ut av varebilen utenfor skolen. Med seg hadde han tensiometeret i en pappeske. Sammen gikk vi opp på laboratoriet og han tilbøy meg en gjennomføring av apparatet.
Ja, så fort kan det gå. Fra å ha tuklet med en hjemmelaget papirvekt for å måle overflatespenning, til å stå med et profesjonelt tensiometer foran seg og få en innføring fra en tysk ekspert på fagfeltet.

I would like to thank Malte Snoyek and his colleagues in Krüss,
for lending me professional equipment, giving me advice and
staying in contact throughout the process.
This assignment wouldn’t be the same without your help.

Jeg vil også takke Jens Hoel.
Han har hjulpet og motivert meg gjennom hele prosessen.
Bedre veileder skal du lete lenge etter.

Innledning

Langs bredden av en innsjø er det en kajakk som stille padles bortover. Ved siden av kajakken piler det rundt masse små innsekter. Noen av disse krypene er såkalte vannløpere, små innsekter som har evnen til å gå på vannet. Både kajakken og vannløperne manøvrerer seg rundt i vannets overflate. Likevel er det to helt forskjellige fenomener som gjør dette mulig. Båtens flyteevne forklares med at den har en lavere massetetthet enn væsken den fortrenger, og vil derfor ha en oppdrift i vannet. Vannløperne har en høyere massetetthet enn det volumet de tynne beina deres ville fortrengt. Hvorfor vil ikke vannløperens bein bryte overflaten, og føre til at insektet synker til bunns?

Dette er på grunn av vannets overflatespenning. Overflaten til vannet vil bestå av en elastisk hinne, nesten som en trampolinematte, som vannløperne kan bevege seg på. Hinnen kan bare motstå en relativt liten kraft, så hvis massen til objektet blir for stor vil den bryte hinnen og bli nedsenket i vannet.

Overflatespenning er også grunnen til at væsker vil formes til dråper. Du kan tenke på overflatehinnen som en slags pose rundt vannet, som vil holde væsken i en så plassbesparende form som mulig. Som kjent er dette formen av en kule, derav dråpers sfæriske form.

Så tenker man kanskje, hadde det vært så farlig om vannløperne måtte holde seg på land, eller at vann ikke hadde formet seg til en sfærisk form? Svaret er ja.
Hvis ikke det hadde vært for vannets overflatespenning hadde selv de minste overflateorganismene sunket til sjøens bunn, og store økosystemer hadde raknet. Likevel hadde ikke dette vært relevant, for du som leser, vannløperen og alt annet liv på jorda hadde da ikke eksistert i den form vi kjenner. Uten overflatespenningen ville ikke vann finnes på jorda i flytende form, da det hadde fordampet i atmosfæren isteden for å ankomme jorda som regn. (Laurén, 2017)

Teoretisk kapittel

Overflatespenning er et fenomen som oppstår i overgangen mellom væske og gass. Som et resultat av de intermolekylære kreftene i væsken, vil det dannes en hinne på væskens overflate. Hinnen kan motstå et lite objekt med større massetetthet enn væsken. Overflatespenning er målt i newton per meter (N/m) som er en SI enhet. (The Editors of Encyclopaedia Britannica, u.d.) Dette kapittelet skal inneholde teorien bak fenomenet overflatespenning. Kapittelets hovedfokus vil være på vannets natur og kjemi, da dette er fenomenets mest «sentrale» væske. Kjemien i andre forbindelser vil senere bli undersøkt, med mål om å finne ut hva som bestemmer en væskes overflatespenning.

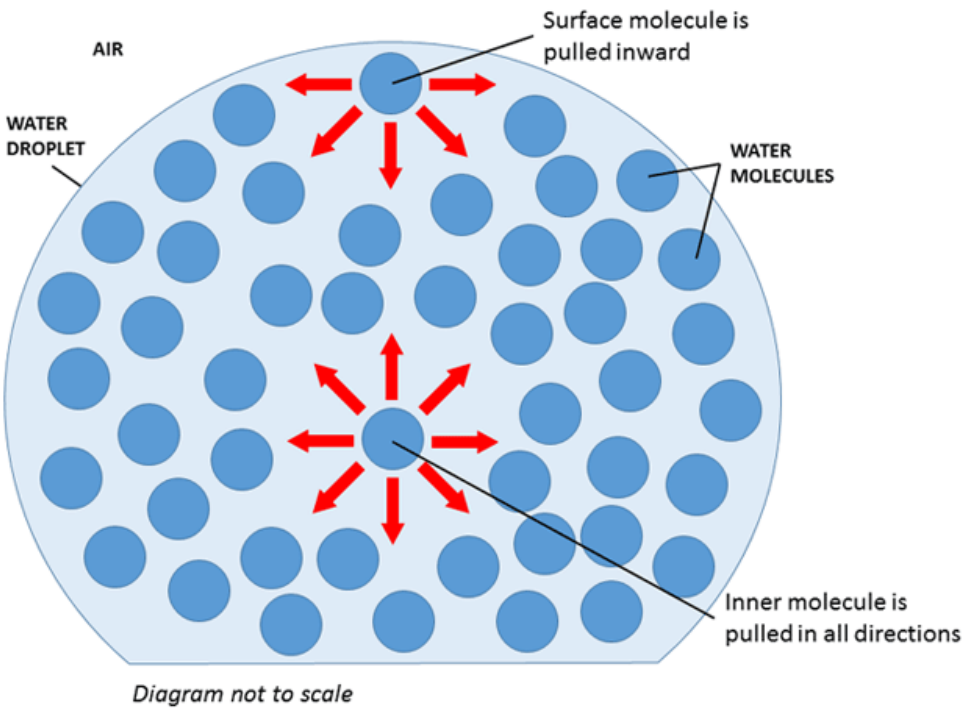
Kjemisk polaritet

Polaritet i kjemi er det som forteller om fordelingen eller symmetrien av den elektriske ladningen i et molekyl. Hvis ladningen er symmetrisk kategoriseres molekylet som upolart, i motsetning til polare molekyler der elektronene er usymmetrisk fordelt. Disse forskjellene skyldes elektronegativitet. Dette er et mål på et atoms evne til å tiltrekke seg elektroner, og denne evnen oppgis fra 0 til 4 der fluor har den høyeste elektronegativiteten på 4. Størrelsen på verdiene fra 0 til 4 er ubenevnt. Hvis et molekyl består av to atomer A og B med minst 0,5 i elektronegativitets forskjell, vil elektronene trekkes mot det atomet med høyest elektronegativitet, og molekylet er dermed polart. Det må også være en geometrisk asymmetri tilstede for at molekylet kategoriseres som polart. For eksempel er metan (CH_4) et upolart molekyl fordi de fire hydrogenatomenes ladning er symmetrisk og nuller hverandre ut. Dette er fordi alle hydrogenatomene har lik vinkel.

I et polart molekyl vil det være et dipolmoment, det vil si en separasjon av ladningen til en positiv og negativ side. Når flere slike molekyler er i nærheten av hverandre vil den negative side alltid tiltrekke andre positive sider og motsatt, og molekylene vil danne en formasjon basert på disse kreftene. Disse kreftene er intermolekylære krefter. Kohesjon refererer til de kreftene som virker mellom molekyler av samme slag, mens adhesjon er kreftene mellom

forskjellige molekyler. I en beholder med væske vil kohesjonen være tilstede mellom væskens molekyler, mens kreftene mellom beholderen og væske vil være adhesjon.

Man kan tenke seg at en væske er bestående ev et bevegende nett av molekyler. Inne i en væskes molekylstruktur vil kohesjonskreftene som virker på et molekyl, være omtrent like store i alle retninger. Dette er ikke tilfelle i væskes ytterste molekyler, altså i væskens overflate. Her vil molekylene ikke ha en kraft som trekker den utover, bare krefter som trekker de nedover og til siden mot nabomolekylene. Summen av disse kreftene vil peke nedover i væsken. Dermed «pakker» molekylene seg tettere sammen, og det ytterste laget av væsken vi ha en større molekyltetthet. Dette vil virke som en elastisk hinne på væskens overflate, og det er denne hinnen vi kaller overflatehinnen.

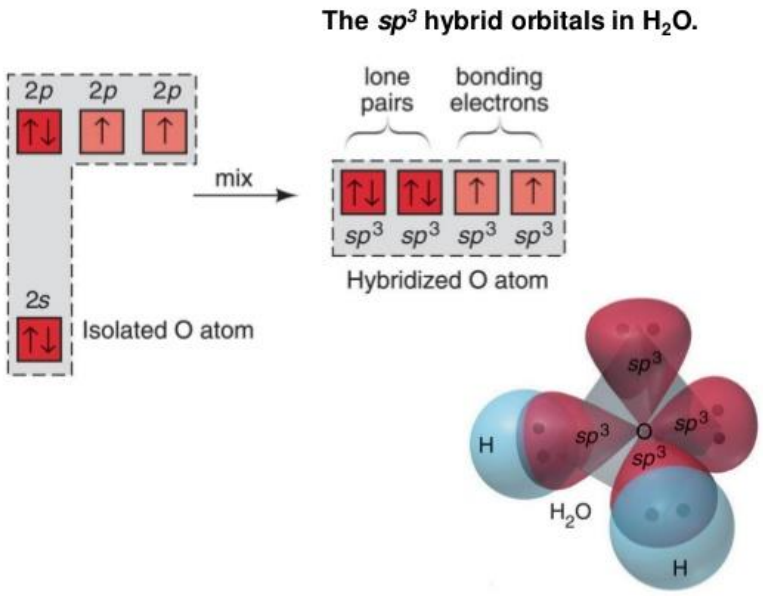


Figur 2: Overflatespenning i en vanndråpe, hentet fra Science Buddies

Vann

Vann er naturen og kjemiens mest sentrale væske. Det er kilden til alt liv og har mange særegne egenskaper. Et av disse er stoffets høye overflatespenning, som oppstår på grunn av den høye tiltrekningskraften som befinner seg mellom vannmolekyler. Derfor er det vanlig å fokusere hovedsakelig på vann når man undersøker overflatespenning. Det samme fokuset vil denne oppgaven holde.

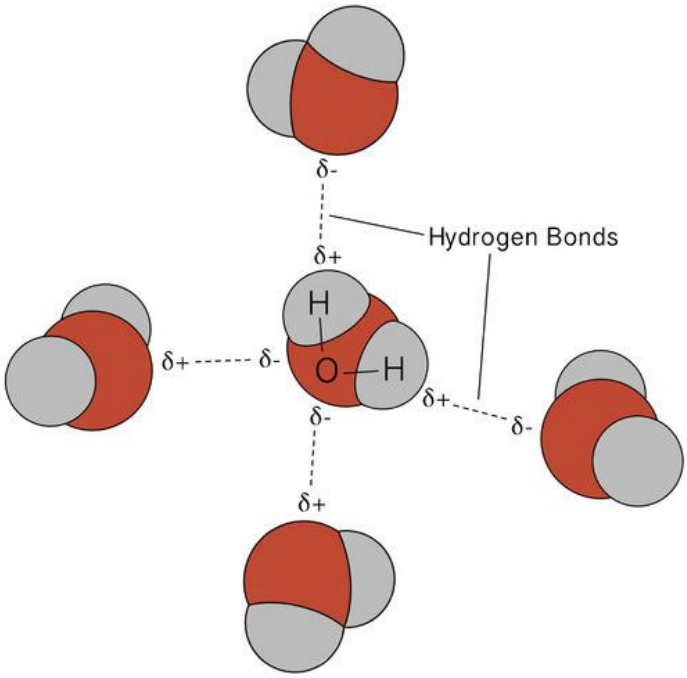
Vann har en overflatespenning på 72,86 mN/m ved 20 °C. (Harrison, 1990) Stoffet er en kjemisk forbindelse mellom hydrogen og oksygen og har strukturformelen H_2O. Molekylet er triatomisk og vinklet, der bindingsvinkelen på hydrogenatomene er på 104,5°. (Wikipedia, 2020) Oksygenatomet i vann har 6 valenselektroner, hvorav to av dem tar del i kovalente bindinger med hydrogenatomet. Oksygenet vil da sitte igjen med 4 elektroner i det ytterste skallet, altså to elektronpar, som kan skape interaksjoner med andre molekyler. Bindingene som skapes med disse to elektronparene, kalles for sigmabindinger. (Wikipedia, 2019)



Figur 3: Vannmolekylets elektronkonfigurasjon, hentet fra Wikipedia

I vann har oksygenatomet en høy elektronegativitet på 3,5, mens hydrogenatomer bare har 2,1. Forskjellen i elektronegativitet i vann er på over 0,5 og hydrogenatomene er vinklet, slik at molekylet blir polart. Oksygenatomet vil trekke elektronene den deler med hydrogenet nærmere seg selv, slik at elektrontettheten er større rundt oksygenet. En elektrostatisk kraft, som er en stillestående elektrisitet (Sandstad, 2014), vil dannes mellom nabomolekylers hydrogenatomer og dette oksygenatomet. Disse bindingene kaller man for et hydrogenbindinger, og er den sterkeste typen av intermolekylære krefter. De skapes mellom permanente dipoler. Hydrogenbindinger holder vannmolekylene opptil 15% tettere enn hva de hadde gjort hvis det bare var van der Waals kreftene som hadde vært tilstede. (Helmenstine, 2020)

Alle vannets molekyler vil være en del av minst en hydrogenbinding, men kan i teorien ta del i så mange som 4 hydrogenbindinger på en gang. (Pietri, 2019) Hvert hydrogenatom kan binde seg til oksygenet i andre vannmolekyler, og to hydrogenatomer fra andre molekyler kan skape bånd til de to frie elektronparene som fortsatt befinner seg i ytterste skallet av oksygenet.



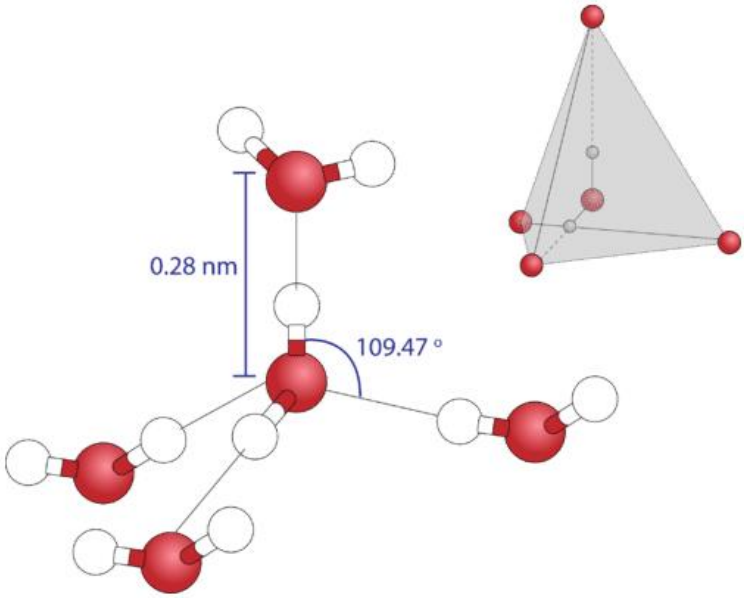
Figur 4: Vannmolekyl med 4 hydrogenbindinger, hentet fra Lumen

Antallet hydrogenbindinger mellom molekylene i vann endrer seg hele tiden. Dette er på grunn av at molekylene i en væske alltid er i bevegelse. (Pedersen, 2019) I tillegg vil et atoms elektroner være i kontinuerlig bevegelse, hoppende uvilkårlig rundt. Vitenskapelige artikler viser til at levetiden til et enkelt hydrogenbindinger er så lite som rundt 3 picosekunder. (V. P. Voloshin, 2009) Dette er cirka like lang tid som det tar for lys å bevege seg 1 mm. Dette gir et bilde på hvordan de intermolekylære kreftene alltid er i endring og bevegelse, i motsetningen til et stillestående nett av krefter, slik de blir modellert som. Det er vanskelig for forskere å definere når hydrogenbindinger oppstår og når de forsvinner, i tillegg til måten det måles på varierer fra studie til studie. Så tallet som forteller om det gjennomsnittlige antallet hydrogenbindinger et vannmolekyl tar del i, har forskere ikke blitt enige om. Noen studier viser til et gjennomsnitt på 3,59 hydrogenbindinger (Madura, 1985) mens andre viser til et gjennomsnitt på 2.36 (Zielkiewicz, 2005).

Det er nå klart at mengden hydrogenbindinger vil påvirke den totale kohesjonen til vannet, og derfor også påvirke væskens overflatespenning. Hydrogenbindinger finnes i mange kjemiske forbindelser, og det er atomene som er involvert i bindingen som bestemmer dens styrke. (F.Rosei, 2001) Her er det igjen prinsippet som forteller oss at størst differanse i elektronegativitet, gir oss størst polaritet. Bindingens polaritet er proporsjonal med bindingens styrke. Hydrogenbindingen i et hydrogenfluorid (H-F) er av denne grunn det sterkeste.

Vann i fast form, is, har kjente statiske strukturer. Det finnes 17 forskjellige av disse strukturene. I de vanlige strukturene er et vannmolekyl omgitt av fire andre vannmolekyler, derav to er donorer av hydrogenbånd, og to er akseptorer av hydrogenbånd. Under vanlig trykk og temperaturer vil strukturen kalles for heksagonal is. (Pedersen, 2019)

Vann får en tettere struktur når stoffet går fra fast til flytende form, noe som tilser at strukturen har falt noe sammen. I likhet med alle andre væsker, er strukturen til vann i flytende form dynamisk. Optimalt vil et vannmolekyl, sammen med sinne 4 potensielle hydrogenbånd-naboer danne en tetraedrisk struktur, som i likhet med is. Geometrien forteller oss at trekanten er en av de enkleste, men samtidig sterkeste geometriske formen i naturen. Man kan regne vann for å ha et nærmest «perfekt» hydrogenbåndsystem. (Clark, 2019) Dette er en av grunnene til vannets mange særegne egenskaper, deriblant den sterke overflatespenningen.



Figur 5: tetraedrisk struktrur av vannmolekyler, hentet fra LibreTexst

Strukturen til vann i flytende form har fått forskere til å klø seg i skjegget i århundrer. Den tetraedriske modellen av vannstrukturen var først presentert for nesten 100 år siden. (Universitaet Mainz, 2013) Enda finnes det kontroverser og uenigheter innenfor denne vitenskapen. I 2004 dukket det opp en dobbelt-bånd teori som motsa den tetraedriske modellen, men denne ble senere motbevist. (Universitaet Mainz, 2013) En helt fersk studie viser til at det ikke finnes én vannstruktur, men at vann består av en sameksistens av både tetraedriske og ikke-tetraedriske strukturer. (Tanaka, 2020)

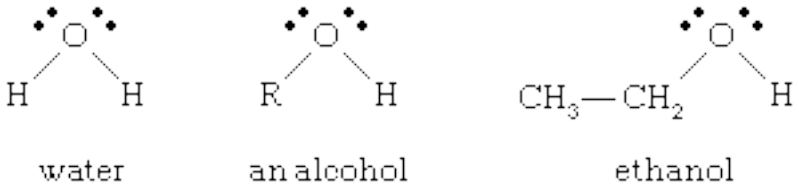
Intermolekylære krefter i andre forbindelser

Denne oppgaven nå undersøkt hydrogenbindinger i vann, og hvordan disse kreftene utgjør vannets overflatespenning. Hydrogenbindinger er ikke et fenomen eksklusivt bare til vann, men finnes i en rekke andre forbindelser. Bindingene er i tillegg bare en av flere typer intermolekylære krefter som finnes i kjemien. De intermolekylære kreftene i utvalgte

kjemiske forbindelser skal nå bli sett på, og grunnen til variasjoner i overflatespenning mellom vann og disse kjemiske forbindelser skal undersøkes.

Alkoholer er en stor gruppe kjemiske forbindelser. Stoffene er karakterisert ved at de inneholder en hydroksylgruppe (-OH). (Dietrichs, 2019) Som oppgaven tidligere har vist, kan det dannes hydrogenbindinger mellom oksygen og hydrogen i en væske. Hvert molekyl som har et hydrogenatom bundet direkte med et oksygen, eller nitrogen, har muligheten til å skape en hydrogenbinding. (Clarke, 2019)

Etanol har formelen C_2H_5OH, er den mest kjente alkoholen. (Uggerud, 2020). Ved 25°C har ren etanol en overflatespenning på 21,96 mN/m. (National Center for Biotechnology Information, u.d.).

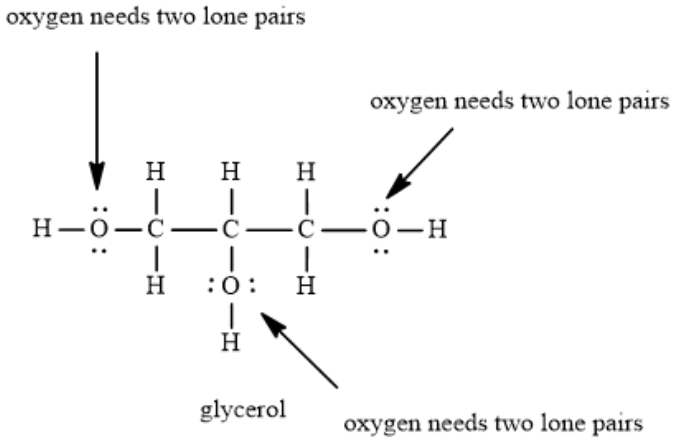


Figur 6: Etanols molekylstruktur, hentet fra Britannica

En hydrogenbinding kan dannes med etanolens enkle hydrogenatom til et nabomolekyls oksygenatom, samtidig som oksygenet kan være en akseptor for en hydrogenbinding fra et nabomolekyls hydrogenatom. Det maksimale antall hydrogenbindinger et etanolmolekyl kan ta del i, er to bindinger. (National Center for Biotechnology Information, u.d.) Dette er en faktor som gjør at alkoholer generelt har mye lavere overflatespenning enn vann.

Som figuren ovenfor viser, er hydroksylgruppen i alkoholen ganske lik et vannmolekyl. Forskjellen mellom de to stoffenes struktur er at det ene H- atomet er subsidiert med en etylgruppe i etanolen. Denne etylgruppen (CH3-CH2) har en lavere elektronegativitet enn et hydrogenatom i seg selv. Elektropositiviteten fra etylgruppen vil påvirke alkoholens oksygenatom, og gjøre dette mindre elektronegativt. Dette vil føre til en minskning i polariseringen av alkoholens hydroskylgruppe. Altså dipol kraften i et etanolmolekyl vil være lavere enn i et vannmolekyl. (Williams, 2018).

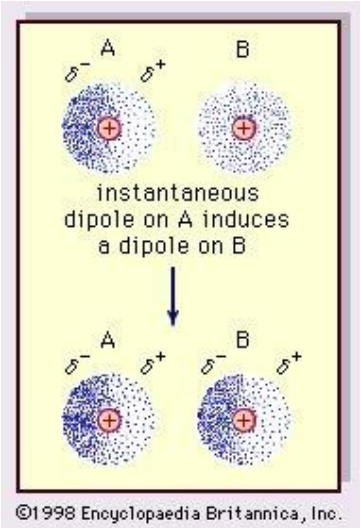
Selv om de fleste alkoholer og andre organiske forbindelser gjerne har en svært lav overflatespenning i forhold til vann, finnes det unntak. Sukkeralkoholen glyserol har en overflatespenning på 63,4 mN/m ved 20°C. (Wikipedia, 2020)



Figur 7: Glycerols molekylstruktur, hentet fra Chegg Study

Som illustrasjonen viser, har glyserol 3 hydroksylgrupper. Molekylet har i teorien mulighet til å være en del av 6 hydrogenbindinger. (Bernie, 1997) Derav høyere overflatespenning enn den enkle alkoholen etanol.

Det er ikke bare hydrogenbindinger som virker mellom molekylene i vann og alkoholer. Det er van der Waals-bindinger, som oppstår mellom ikke-permanente dipoler i atomene. Kreftene oppstår av en plutselig polarisering i et ellers upolart molekyl. (Pedersen, 2019) Denne polariseringen kan oppstå som et resultat av en asymmetri i elektronorbitalene til et atom. Som tidligere nevnt er elektroner alltid er i kontinuerlig bevegelse, og elektronskallene er heller en slags forutsigelse av hvor det er mest sannsynlig at elektronene befinner seg. Denne konstante bevegelsen kan føre til ulik fordeling av elektroner rundt et molekyl, og det vil skapes en liten polarisering i selve atomet. Polariteter har som kjent tendenser til å skape interaksjoner med andre polariteter, og akkurat denne interaksjonen har fått navnet sitt fra den nederlandske fysikeren van der Waals. (Clark, ChemGuide, 2018)

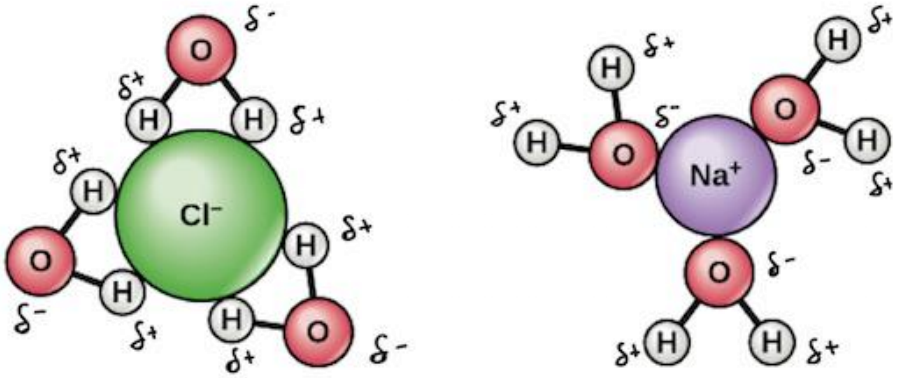


Figur 8: van der Waals bindinger, hentet fra Britannica

I likhet med andre intermolekylære krefter vil van der Waal bindingene også ha sin påvirkning på overflatespenningen. van der Waals kreftene gjør derfor at det også i de enkleste kjemiske elementene finnes det en viss overflatespenning i flytende form. En eldre studie viser til at flytende hydrogen ved 21,15 K har en overflatespenning på 1,755 dyn/cm (Pashkov, 1966). Dette er eldre enhet for kraft, og er det samme som 1,755 mN/m.

Ionebindinger regnes ikke for å være en del av de intermolekylære kreftene, men de er likevel verdt å undersøke i forhold til overflatespenning. Ionebindinger er svært sterke i forhold til de to tidligere nevnte bindingene. De oppstår mellom to atomer med større forskjell i elektronnegativitetsverdi enn 1,7. (Hannisdal & Ringnes, 2013) Ionebindingen mellom natrium og klor er muligens den aller vanligste. Disse to atomene danner saltstrukturen natriumklorid, i dagligtalen kalt salt. Grunnet ionebindingene vil smeltet natriumklorid ha en høy kohesjon, som vil gi en overflatespenning på hele 110 mN/m ved 850°C. (National Center for Biotechnology Information, u.d.)

Natriumklorid er en veldig polar forbindelse, som betyr at det vil løses godt i vann. Når saltet tilsettes i vannet, vil forbindelsen spaltes til ionene Cl^{-} og Na^{+}. Vannmolekylene vil samle seg rundt ionene grunnet ionenes ladning, slik som illustrasjonen under viser.



Figur 9: Hydratisering av NaCl i vann, hentet fra [Khan Academy]

Denne prosessen kalles hydratisering av ionene. På grunn av ladningene i ionene, vil vannmolekylene rundt ionene ha en større attraksjon til Cl^{-} og Na^{+}, enn sine egne molekyler. Attraksjonen fører til en forsterkning i væskens samlede kohesjon, derav en økning i overflatespenning ved tilsetning av natriumklorid i vann. (Carloni, 2012)

Til sammenlikning er det vedlagt en liste over omtrentlige mål på de forskjellige intermolekylære kreftene. Styrken på bindingene vil variere ut ifra hvilke atomer som er involvert i bindingen.

Bindingstype	Energi gitt i (kcal/mol)
Ionebinding	250 – 4000
Hydrogenbinding	1 - 12
Van der Waals bånd	<1 - 15

(Ege, 2003)

Temperaturens påvirkning på overflatespenning

Temperatur er kanskje den mest sentrale påvirkningsfaktoren for overflatespenningen i en væske. Man burde ha et visst kunnskaps grunnlag fra termodynamikken for å skjønne temperaturens påvirkning på overflatespenningen, men her vil bare de mest sentrale begrepene bli definert. Temperatur er målet på hvor varmt noe er. Varme er igjen definert som energi som forflytter seg fra et legeme til et annet, som et resultat av en temperaturforskjell. (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2020) Energi er evnen til å utføre arbeid, som igjen kan sees på som bevegelse. (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2020) Dette er fenomener fra fysikkens lære. Siden dette er en oppgave i kjemi, vil dette kapittelets hovedfokus være på hvordan temperatur påvirker væskens egenskap, og mindre på hvordan det skjer.

Ved hjelp av definisjonene fra termodynamikken, vil man skjønne at tilført varme i en væske resulterer i at væskens molekyler bevege seg raskere. Den allerede dynamiske strukturen i en væske, vil bli mindre stabil av denne økningen i bevegelse. Derav er det en generelt svakere struktur i væsker ved høye temperaturer. I vann er styrken til vannets struktur motsatt proporsjonal med vannets temperatur. Dette tilsier at ved økende temperatur, vil væskens overflatespenning synke. Vannets «perfekte» hydrogenbindings system gjør at væsken har en spesiell stor økning i strukturorden ved synkende temperaturer, i forhold til andre væsker. (Chaplin, 2019)

En av vannets viktige egenskaper er stoffets tetthet i forhold til dens temperatur. Som de fleste andre materialer blir vannets tetthet større ved lavere temperaturer. Det som derimot er spesielt for vann, er at i flytende form vil den ha sin høyeste tetthet ved 3,98 °C. (Earnshaw, 1997) Fra 3,98 °C til både fryse- og kokepunkt, vil vannets tetthet minske. Dette fenomenet er viktig for livet i naturen. For det første vil det skape konveksjonsstrømmer i innsjøer som avkjøler hele vannet. Overflaten av vannet fryse først, og dermed gjøre det mulig for fisk og andre dyr å leve i innsjøer året rundt.

Overflatespenning kan sees i sammenheng med et stoff sitt evne til å skifte aggregattilstand. Jo svakere de intermolekylære kreftene er, desto raskere vil et stoff fordampe. (Det matematisk-naturvitenskapelige fakultetet, 2019) Fordampning kan sees på som en prosess

hvor en væske blir tilført så mye energi, at bevegelsene mellom molekylene blir så store at molekylene slipper tak i hverandre. Etanolens svakere struktur fører til et kokepunkt på 78.2°C, mens natriumklorid sine sterke ionebindinger fører til at det trengs hele 1465°C for å splitte molekylene fra hverandre til gassform. (National Center for Biotechnology Information , u.d.)
Selv om overflatespenning og fordampning baserer seg på de samme intermolekylære kreftene, virker ikke fenomenene likt. Dette kan vises ved å sammenlikne de organiske forbindelsene oktan og metanol. Metanol har en overflatespenning på 21,96 mN/m ved 25 °C og et kokepunkt på 64,7 °C. (National Center for Biotechnology Information, u.d.) Oktan sine verdier er henholdsvis 21,14 mN/m ved 25 °C og 125,6 °C. (National Center for Biotechnology Information, u.d.) Uten at forfatteren har funnet bevis på dette, kan det se ut som om kokepunktet til stoffene (hvert fall i organiske forbindelser) er avhengig av molekylets størrelse, men at overflatespenningen ikke påvirkes av molekylstørrelsen.

Surfaktanter

Surfaktanter er overflateaktive stoffer, der de i kontakt med en væske vil de redusere dens overflatespenning. Forbindelsene vil med dette øke væskens fuktningsegenskaper og spredningsegenskaper. Dette er en meget nyttig egenskap, og flere av disse stoffene brukes regelmessig i hverdagen. Vaskemidler er absolutt det tydeligste og mest utbredte eksempelet på surfaktanter.

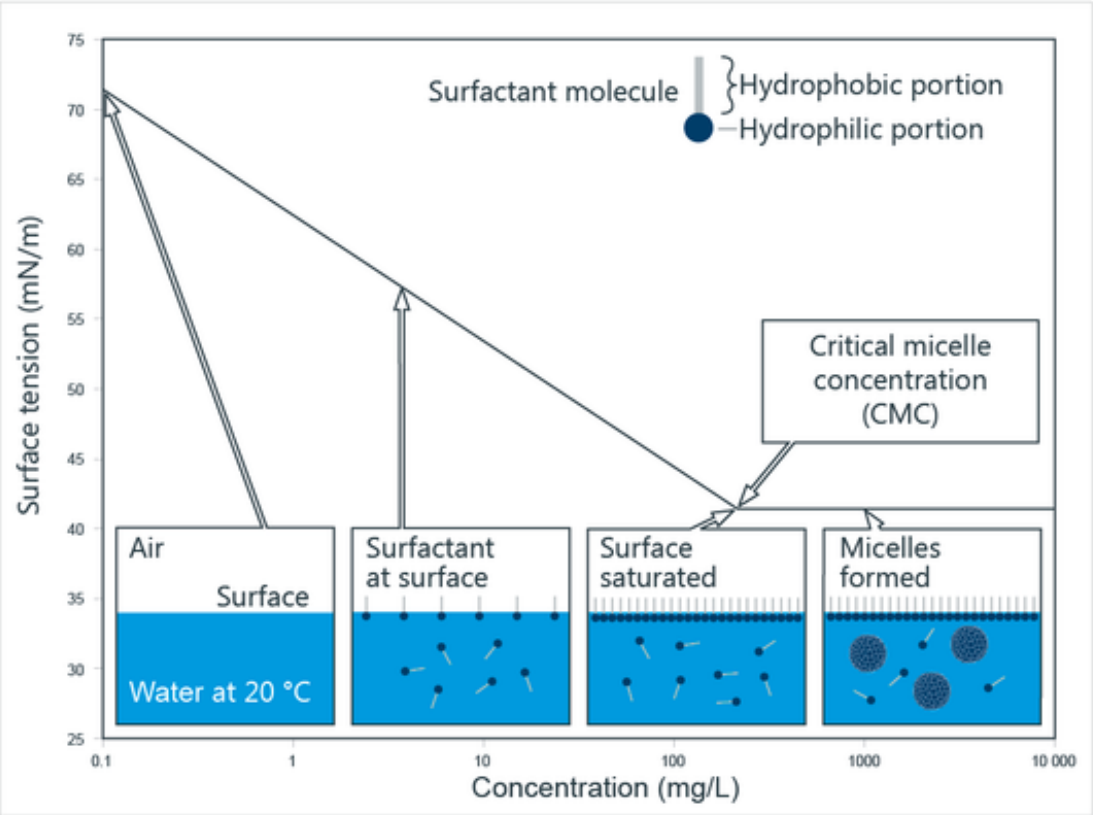
En surfaktant består av amfifile molekyler. Det betyr at molekylene er delvis hydrofile og delvis hydrofobe. Det er vanlig å referere til en hydrob «hale» og et hydrofilt «hode». (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2020) Halen består av enten et hydrokarbon, fluorkarbon eller et siloksan. (Laurén, 2018) En surfaktant er kategorisert ut ifra sin hydrofile gruppe, altså hodet:

Anioniske surfaktanter har et hode som har en positiv landing. Eksempel: Oppvaskmiddel
Kationiske surfaktanter har et hode som har en negativ ladning. Eksempel: Tøymykner

Zwitterioniske surfaktanter har et hode med både positive og negative grupper. Eksempel: Sjeldne stoffer, men finnes i noe kosmetikk
Ikke-ioniske surfaktanter har et hode uten ladning. Eksempel: Brukes i noen matprodukter (Laurén, 2018)

Surfaktanter brukes i hovedsak for å redusere overflatespenningen i vann. Når disse stoffene blir tilsatt vannet, vil den hydrofobe delen av surfaktantmolekylet vike vekk fra vannet, altså opp mot overflaten. Etter som surfaktanten tilsettes vannet, vil molekylene «kapre» overflaten. Hvis det tilsettes nok av stoffet, vil det ikke lenger være en overgang mellom vannet og luften. Overflatespenningen har da blitt drastisk senket. (KRÜSS GmbH, u.d.)

Når hele overflaten til vannet er dekket, er dette den kritiske micelle konsentrasjonen, også kalt CMC. Overflatespenningen vil ikke lenger bli svakere, men det dannes heller miceller i vannet. Dette skjer fordi de hydrofobe halene heller vil søke sammen, enn å være i kontakt med vannet. Micellene som flyter rundt i vannet kan innlemme stoffer som ikke er løselige i vann, og ha mulighet til å frakte de ut av væsken. Dette er prinsippet som gjør at man bruker såpe når man skal vaske en fet overflate eller et skittent klesplagg. (KRÜSS GmbH, u.d.)



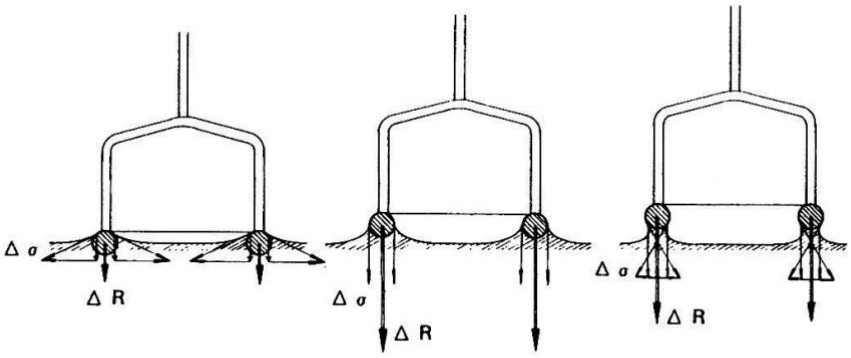
Figur 10: Kritisk micellekonsentrasjon, hentet fra KRÜSS GmbH

Måling av overflatespenning

Et instrument som bestemmer overflatespenningen i en væske, kalles et tensiometer. Et tensiometer brukes for det meste i forsknings- og utviklingslaboratorier for å måle overflatespenningen i væsker som skal virke som belegg, lakk, lim eller bindingsmiddel. (Wikipedia, 2020) Noen av industriene som er avhengig av tensiometer og målingen av overflatespenning er: Vask og rengjøring, kosmetikk, maling og blekk, farmasi og oljeindustrien. (KRÜSS GmbH, u.d.) Det finnes mange forskjellige målingsmetoder tensiometere bruker, og nedenfor står det skrevet om de viktigste. Det er fokusert på Du Nouy ring metoden, til hensyn for metodens relevans i denne oppgaven.

Optisk måling av overflatespenning er en metode der en dråpe væske bli filmet og studert i det øyeblikket den slipper tak fra et objekt. Prinsippet går ut på å finne overflatespenningen til væsken ved å måle dråpens største volum. Denne metoden brukes gjerne for måling av interferensspenning mellom to væsker. (KRÜSS GmbH, u.d.)
En gassboble som oppstår i en væske vil bli komprimert av væskens interne krefter. (Wikipedia, 2020) Ved å måle boblens maksimale trykk kan man finne overflatespenningen i væsken som omgir gassboblen. Dette kalles for «bubble pressure method». (KRÜSS GmbH, u.d.)
Det mest vanlige prinsippet for måling av overflatespenning er likevel et kraft-tensiometer. Disse instrumentene går ut på å måle energien til en væskes overflate.

Du Nouy ring metoden er en av de vanlige prinsippene blant kraft-tensiometere. Metoden ble først beskrevet i 1919 av den franske biofysikeren Lecomte Du Nouy. Dette er altså et apparat som er over 100 år gammelt, men likevel brukt i dagens forskning. De fleste Du Nouy ring tensiometere som finnes i dag er helautomatiske, avanserte instrumenter. Metoden går ut på at en platinaring med kjent omkrets blir horisontalt neddykket i væsken som skal måles, og deretter trukket opp. Tensiometeret måler da energien som ble brukt til å trekke ringen opp gjennom overflaten. Det er altså den maksimale kraften som trengs for å bryte overflaten til væskens som måles.



Figur 11: De tre fasene av ring-metoden, hentet fra (KRÜSS GmbH)

Prosessen kan beskrives med likningen nedenfor.

$$\sigma = \sigma^* * F = \frac{P}{l_b} * F$$

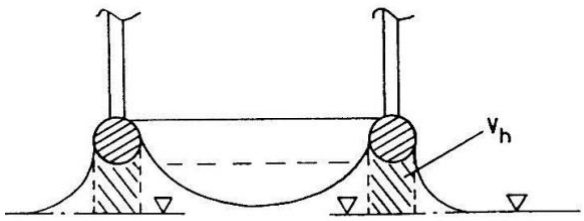
der

$$l_b = 2\pi * (R_i + R_a)$$

(σ= faktisk overflatespenning, σ^*= målt overflatespenning, F = korreksjonsfaktor, P = maksimale kraft på ringen, R_i= radius av indre ring, R_a= radius av ytre ring)

Vi må ta hensyn til både den indre og den ytre siden av platinaringen som brukes. Dette er fordi, som vi ser på illustrasjonen av metoden, at ringen både bruker kraft på å trekke vannet opp innenfor og utenfor ringen. Måleenheten til overflatespenning mN/m, blir veldig tydelig med denne metoden. En væske med 50 mN/m overflatespenning, vil trenge 50 mN for å trekke en ring opp av overflaten, der den totale omkretsen av ytre og indre ring er 1 meter.

I formelen er det også en korreksjonsfaktor F. Faktoren forekommer på grunn av følgende; når ringen løftes fra overflaten vil ikke bare overflatespenningen innvirke på kraften ringen bruker på å trekkes opp. Ringen vil nemlig løfte et visst volum vann, og som et resultat vil gravitasjonskraften av denne massen vann også være en del av kraften som måles av apparatet.



Figur 12: Vh= volumet væske ringen løfter, hentet fra (KRÜSS GmbH)

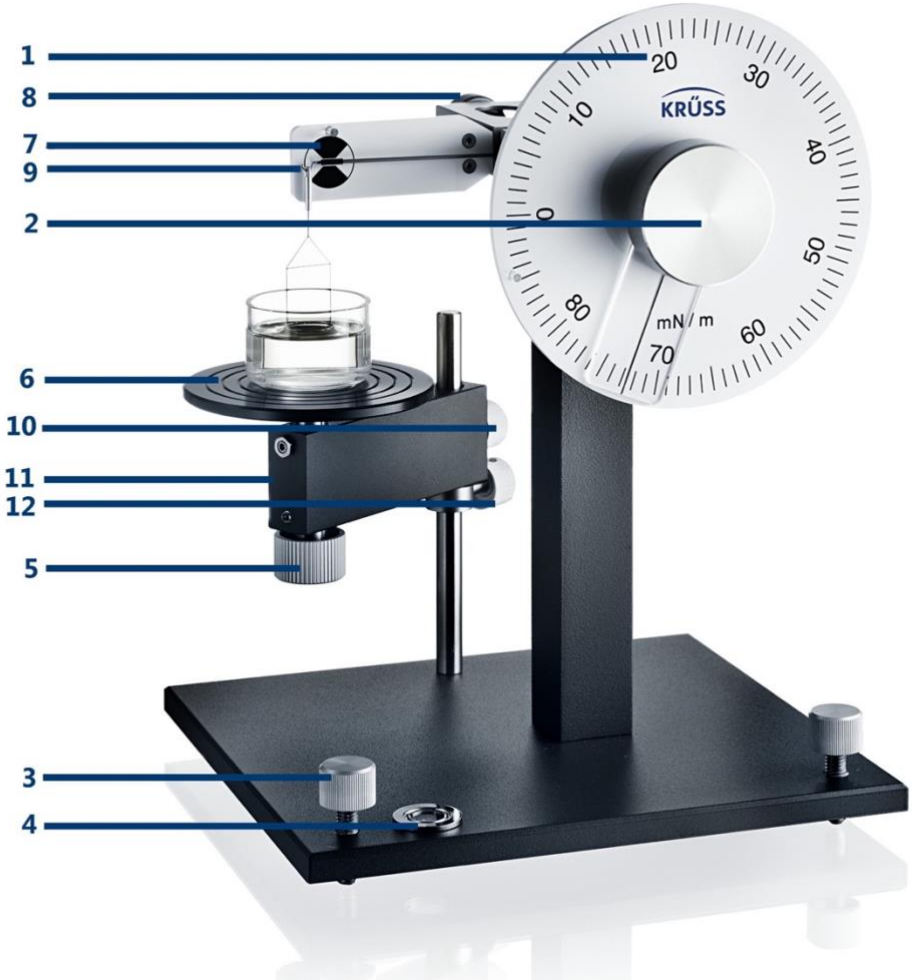
Korreksjonsfaktoren er variabel ut ifra væskens overflatespenning og tetthet. Det finnes dermed tabeller for disse verdiene. For eksempel ville en væske med 28mN/m og en tetthet på 1400kg/ ha en korreksjonsfaktor på 0.906. Korreksjonen kalles en Harkins & Jordan korreksjon.

(KRÜSS GmbH) ble brukt som kilde for hele avsnittet om Du Nouy ring metoden.

Forsøksrapport

Etterfulgt av teoretisk stoff om overflatespenning, vil denne oppgaven inneholde et praktisk kapittel. Dette praktiske kapittelet vil bestå av beskrivelse og forklaring av et forsøk som i skrivende stund er gjennomført, i tillegg til en presentasjon av de verdiene og resultatene dette forsøket ga.

Forsøket består av en analyse av overflatespenningen i ulike væsker gjennomført med et K6 Force Tensiometer levert fra selskapet Krüss. Tensiometeret er et manuelt instrumentsom som måler overflatespenning ved hjelp av De Nouy Ring metoden.



Figur 13: K6 Force tensiometer, hentet fra (KRÜSS GmbH)

(1) Verdiskala i mN/m (2) dreiende håndhjul med viser (3) skrue for å sette instrumentet I vater (4) vater indikator (5) finjustering høyde av analyseplaten (6) analyse plate (7) markering for kalibrering (8) kalibrerings skrue (9) vektkrok (10) og (12) justering høyde av analyseplaten

Væskene som ble analysert:

Vann - i forskjellige temperaturer

Etanol - volumprosent på 25%, 50%, 75% og 100%

Såpevann - volumprosent på 0,1% og 1%

Saltvann - saltvann fra Bunnefjorden og 3,5% vektprosent NaCl løst i vann

Glyserol

Utstyrsliste

K6 Force Tensiometer
Erlenmeyerkolber
Begerglass
Pipetter
Peleusballong
Byretter
Stativ til byretter
Glassflasker
Maskin som lager markørlapper
Stativ med varmegitter
Termometer
Fyrstikker
Bunsenbrenner
Digeltang
Vekt
Veieskål
Spatel
Magnetrører
Glasstav
Glasstrakt
Målesylinder
Renseutstyr
NaCl
Oppvasksåpe, Zalo
Etanol (96%)
Glyserol
Vann fra springen
* I alle analyser med rent vann eller vannløsninger, ble vann fra springen brukt.

Gjennomføring

Forarbeid

Etanol: En stor byrette ble fylt opp med 96% Etanol. 25 ml av etanolen ble overført til en målesylinder, og det ble tilført vann til det totale volumet var 100ml. En glasstav ble brukt til å røre væsken. Deretter ble væsken overført til en glassflaske. Prosessen ble gjentatt med 50ml, 75ml og 100ml etanol.

Zalo: En 1ml pipette ble fylt med Zalo oppvaskmiddel. 1ml Zalo ble overført til en målesylinder, og det ble tilført vann fra springen til det totale volumet var 100ml. En glasstav ble brukt til å blande stoffene. Deretter ble væsken overført til en glassflaske. Prosessen ble gjentatt med 0,1ml Zalo.

Salt: En flaske ble fylt opp med sjøvann fra Bunnefjorden ved Fjordvangen Brygge, Nesodden. 3,5 g NaCl ble veid opp i en vektskål. Saltet ble overført til en målesylinder og det ble tilført vann fra springen til det totale volumet var 100ml. En magnetrører ble brukt til å blande stoffene. Deretter ble den overført til en glassflaske.

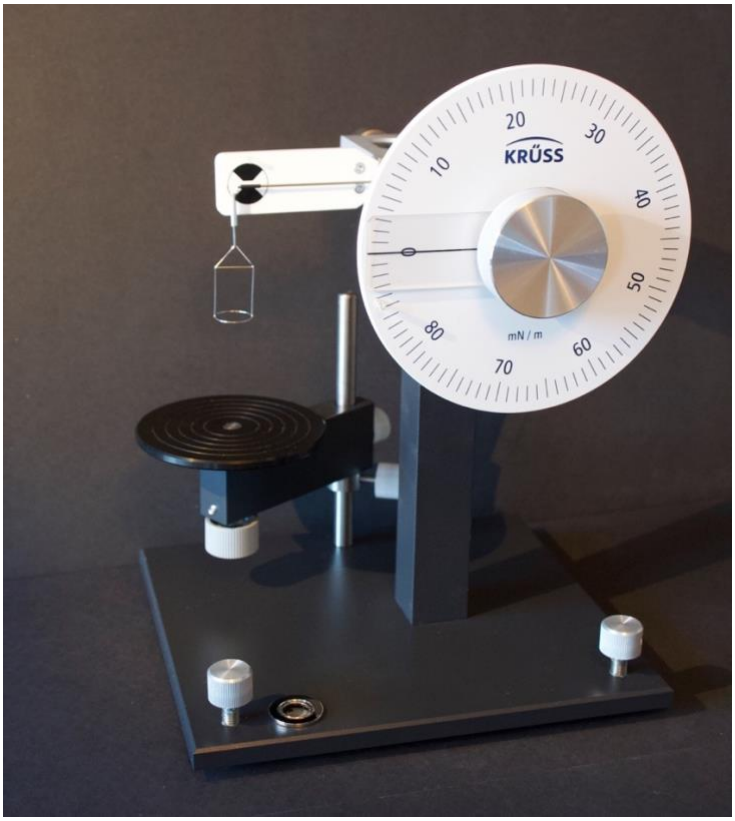
Glyserol: Denne alkoholen er lite løselig i vann. Den ble derfor bare analysert i ren form.

Sammen med en flaske vann, ble disse løsningene plassert i en lun hylle. Grunnet stabilisering av temperatur, ble ikke væskene analysert før dagen etter da de vil holde en nesten identisk temperatur.

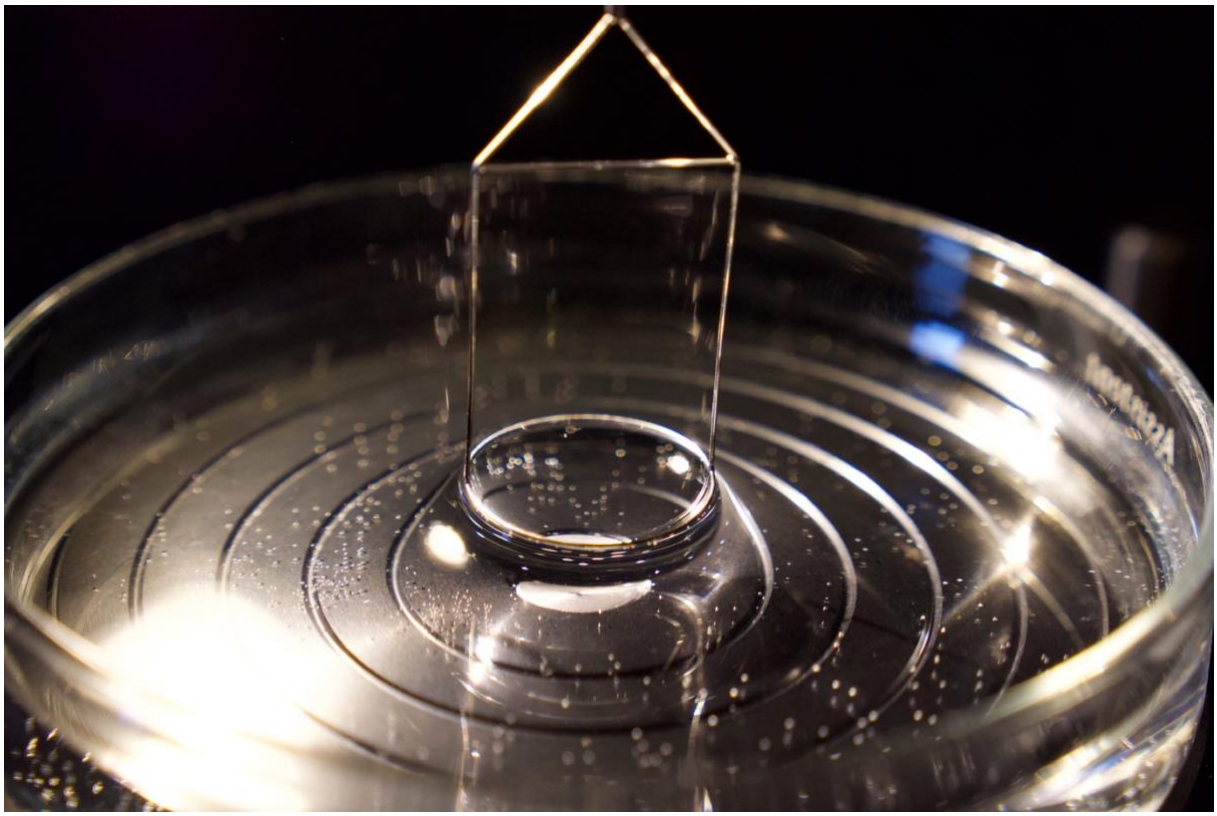
Vann: Når det gjelder analysen av vann, var målet å sammenligne overflatespenningen til vann i forskjellige temperaturer. Forberedelsene for vannet var av den grunn oppvarming og nedkjøling.
En mellomstor erlenmeyerkolbe ble fylt med vann fra springen. Den ble satt på et stativ med trånett, og varmet opp av en bunsenbrenner. En flaske med vann ble plassert i fryseren for nedkjøling. Det ble overført prøver i forskjellig temperatur fra det oppvarmede eller nedkjølte vannet til analyse. Målet var å få prøvene jevnt fordelt i temperaturer mellom 0°C til 100°C, for å få en bred variasjon av verdier.

Analyse

Tensiometeret ble satt i vater. Håndhjulet ble satt på 0 mN/m. Ca. 15 ml av væsken som skulle analyseres ble overført til tensiometerets test skål. Skålen ble plassert på testbordet (6). Vektkroken (9) ble kalibrert til kalibreringsmerket (7). Testskålen ble plassert i sentrum av testbordet, og bordet ble høynet til platina ringen var neddykket i væsken. Ved å vri skruen (5) til venstre beveger testbordet seg nedover. Dette ble gjort helt til vektkroken begynte å bli dratt nedover mot det svarte i kalibreringsmerket. Når dette skjedde skulle man forsiktig begynne å vri håndhjulet langsomt med klokken. Man så at overflaten til væsken ville klebre seg fast i platina ringen idet ringen ble trukket oppover. I det overflaten ga slipp på ringen og ringen ble trukket helt opp, skulle man stoppe vridningen av håndhjulet momentant. Prøvens temperatur ble tatt med et termometer så raskt så mulig. Deretter kunne man leste av væskens overflatespenning, gitt i mN/m, på håndhjulet viste på avlesningsskiven (1). Utstyret ble grundig renset mellom hver analyse. Test skålen ble vasket grundig med varmt vann og tørket. Platina ringen ble skylt i vann etterfulgt av en desinfisering og rens med flammen fra en bunsenbrenner.



Figur 14: K6 Tensiometer, bilde tatt av forfatteren



Figur 15: Platinaringen i en analyse av vann, bilde tatt av forfatteren

Resultater

Løsninger

Løsning	1. Prøve	2. Prøve	3. Prøve	Temperatur
Vann	72,9 mN/m	73,1 mN/m	73 mN/m	20°C
25% Etanol	41 mN/m	40,7 mN/m	40,8 mN/m	19°C
50% Etanol	32,1 mN/m	32 mN/m	31,9 mN/m	21°C
75% Etanol	29,5 mN/m	29,2 mN/m	29,3 mN/m	19,5°C
100% Etanol	25,8 mN/m	25,8 mN/m	25,6 mN/m	21°C
0,1% Zalo	27,7 mN/m	27,9 mN/m	28,2 mN/m	21,5°C
1% Zalo	27,2 mN/m	26,9 mN/m	27,2 mN/m	21°C
Sjøvann fra Bunnefjorden	73,6 mN/m	74 mN/m	73,5 mN/m	21,5°C
3,5% NaCl	67,4 mN/m	66,7 mN/m	64,6 mN/m	21°C
Glyserol	66,9 mN/m	66 mN/m	66,3 mN/m	22,5°C

Vann ved ulik temperatur

Temperatur	Overflatespenning
7°C	74,6 mN/m
11°C	73,5 mN/m
12°C	73,4 mN/m
14,5°C	74,5 mN/m
18°C	73,6 mN/m
20°C	73 mN/m
24°C	72.3 mN/m
30°C	65,8 mN/m
36°C	65,7 mN/m
47°C	61,8 mN/m
49°C	60,5 mN/m
53°C	55,1 mN/m
61°C	55,8 mN/m

Diskusjon

Dette kapittelet skal inneholde en drøfting av forsøkets resultater sett opp imot oppgavens teoretiske del. Verdiene fra forsøksrapporten gjennomgår først en Harkins & Jordan korreksjon.

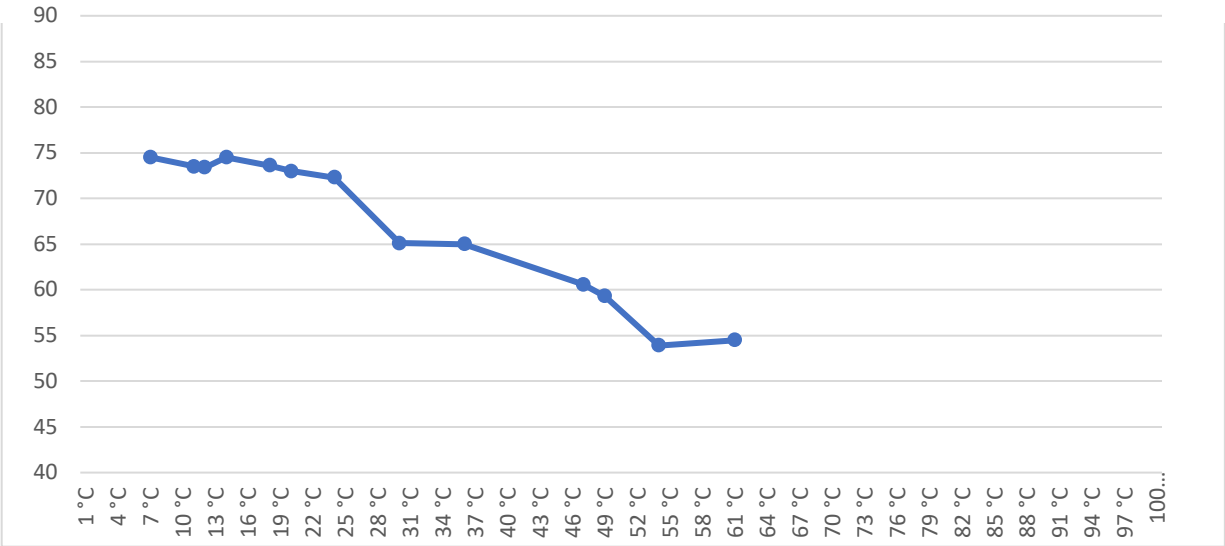
Temperatur	Målt overflatespenning	Korreksjonsfaktor	Faktisk overflatespenning
7°C	74,6 mN/m	* 1,000=	74,6 mN/m
11°C	73,5 mN/m	* 1,000=	73,5 mN/m
12°C	73,4 mN/m	* 1,000=	73,4 mN/m
14,5°C	74,5 mN/m	* 1,000=	74,5 mN/m
18°C	73,6 mN/m	* 1,000=	73,6 mN/m
20°C	73,0 mN/m	* 1,000=	73,0 mN/m
24°C	72.3 mN/m	* 1,000=	72.3 mN/m
30°C	65,8 mN/m	* 0,993=	65,1 mN/m
36°C	65,7 mN/m	* 0,993=	65,0 mN/m

47°C	61,8 mN/m	* 0,985=	60,6 mN/m
49°C	60,5 mN/m	* 0,985=	59,3 mN/m
53°C	55,1 mN/m	* 0,978=	53,9 mN/m
61°C	55,8 mN/m	* 0,978=	54,6 mN/m

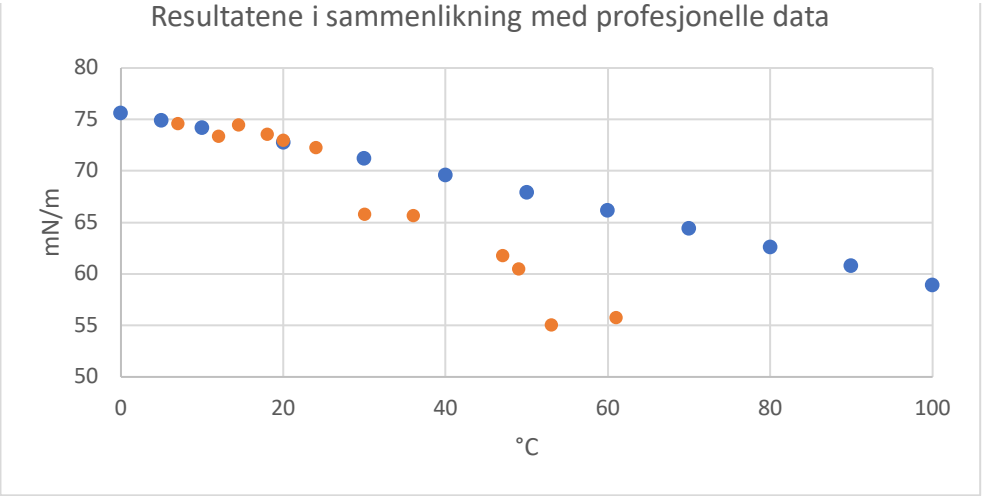
Løsning	Gjennomsnitt av resultater * korreksjonsfaktor	Faktisk overflatespenning
Vann	73,0 mN/m * 1,000 =	73 mN/m
25% Etanol	40,8 mN/m * 0,954 =	39,0 mN/m
50% Etanol	32,0 mN/m * 0,940=	30,1 mN/m
75% Etanol	29,3 mN/m * 0,944 =	27,7 mN/m
100% Etanol	25,7 mN/m * 0,940=	24,2 mN/m
0,1% Zalo	27,9 mN/m * 0,930 =	25,9 mN/m
1% Zalo	27,1 mN/m * 0,930 =	25,2 mN/m
Sjøvann fra Bunnefjorden	73,7 mN/m * 1,000 =	73,7 mN/m
3,5% NaCl	66,2 mN/m * 0,993 =	65,7 mN/m
Glyserol	66,4 mN/m * 0,979 =	66,0 mN/m

I et tilbakeblikk på oppgavens forsøk, sitter forfatteren igjen med konkusjon da det gjelder gjennomføringen av forsøket. K6 Tensiometer er et helmanuelt instrument. Det avhenger av nøyaktighet og erfaring, for å få riktige resultater. Jo mer forfatteren brukte apparatet, desto mer ble vedkommende tryggere i analysen av væsker. Dette resulterte i at prøvene som ble analysert til slutt, var mest like de profesjonelle dataene.

Temperatur

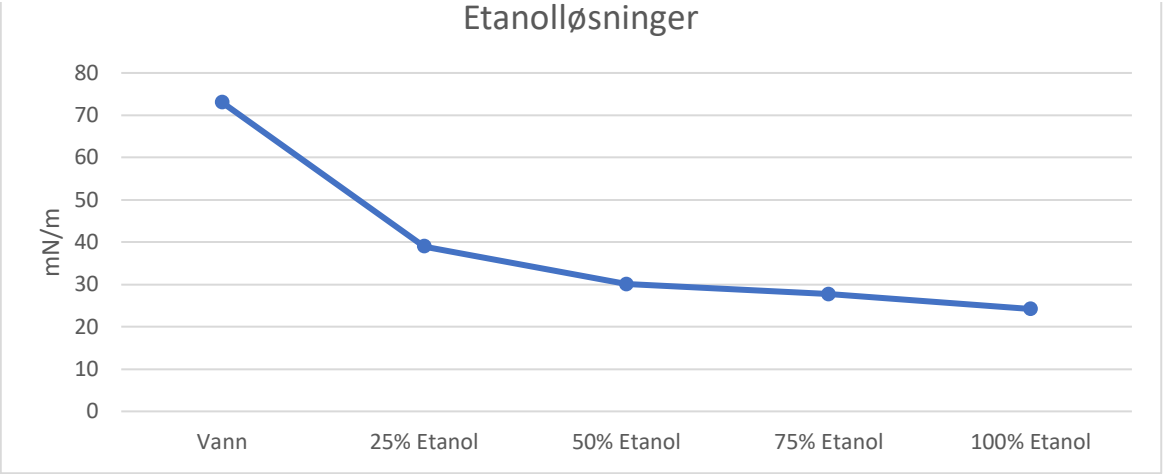


Grafen viser oss at ved økende temperatur, synker overflatespenningen. Dette stemmer med oppgavens teoretiske del. Prøvene i temperatur mellom 24°C og 61°C ble tatt på i løpet av en dag, men prøvene i temperatur mellom 7°C og 24°C ble analysert en annen dag. Dette ser man at har påvirket resultatene, da det finnes et betydelig mellomrom mellom 24°C til 30°C. Prøvene inntil 24°C samsvarer også mer med hverandre enn de øvre temperaturene. Dette er muligens pga. at analysen av de varmeste temperaturene var gjort først, da forfatteren var mindre «trygg» i bruken av det manuelle tensiometeret. Alt i alt ser resultatene til å være noenlunde lineære. Grunnen til at 61°C var den høyeste temperaturen det ble gjort målinger på, var at vannet ville miste temperatur veldig raskt når væsken ble overført til test-skålen. I test-skålen hadde vannet en meget stor overflate i forhold til væskevolum, derav en svak evne til å beholde varme. Man kan tenke seg at resultatene hadde fulgt den noenlunde lineære grafen ved temperaturer opp mot 100°C. Det hadde vært ønskelig å gjenta analyse av temperaturer over 24°C, men lot seg vanskelig gjøre etter Oslo By Steinerskole, der analysen ble gjort.



Denne grafen består av enn sammenlikning mellom forsøkets resultater og profesjonelle data. De oransje prikkene er resultater fra forsøket, mens de blå prikkene er hentet fra (Engineering ToolBox, 2004). Grafen viser tydelig at resultatene fra temperaturer mellom 7°C og 24°C er av bedre kvalitet, der dette er et resultat av erfaring i bruken av tensiometeret.

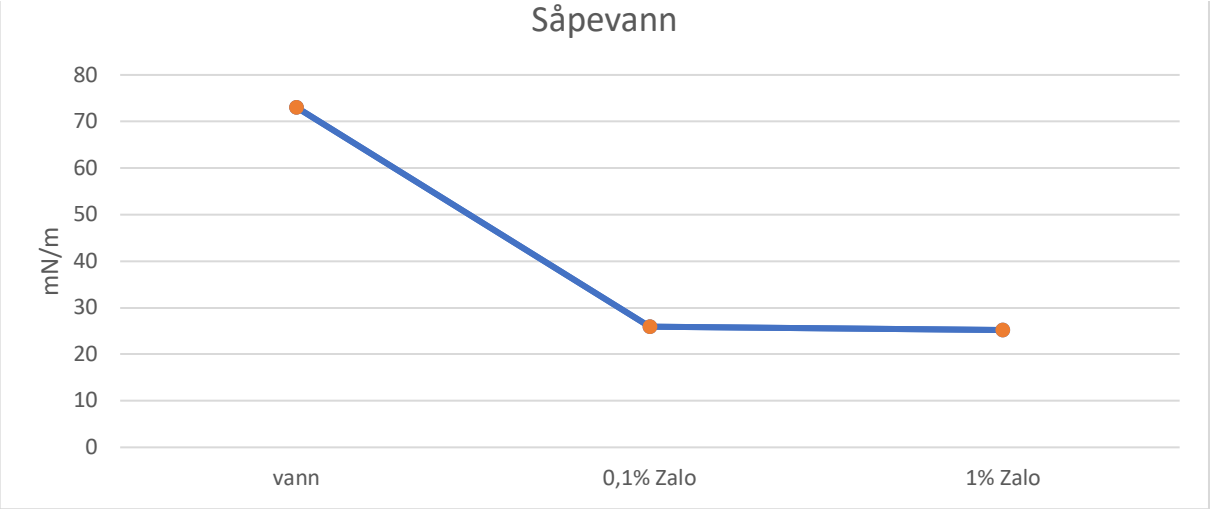
Etanol



Data for sammenlikning, hentet fra profesjonelt laboratorieforsøk: Ved 25°C har ren etanol en overflatespenning på 21,96 mN/m. (National Center for Biotechnology Information, u.d.).

Grafen viser at jo høyere volumprosent etanolløsningen inneholdt, desto lavere var overflatespenning i løsningen. Dette stemmer med profesjonelle verdier og oppgavens teoretiske del. X-aksens volumprosenter er tilnærming av den faktiske volumprosenten, da den opprinnelige etanolen hadde en masseprosent på 96. Dette er en mulig faktor for høyere målt overflatespenning, i forhold til de profesjonelle dataene.

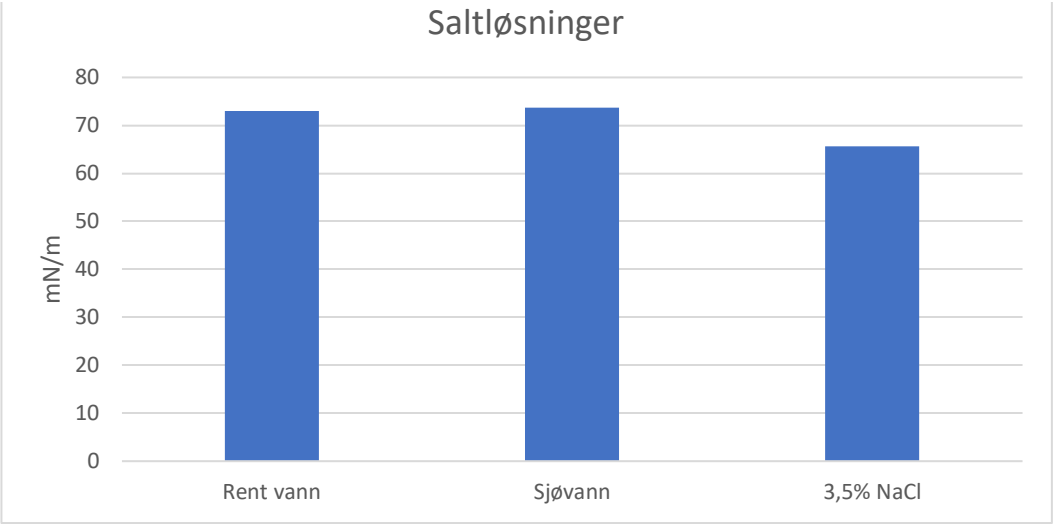
Zalo



Data for sammenlikning, hentet fra profesjonelt laboratorieforsøk: Innholdsdeklarasjonen oppgir ikke de bestemte surfaktantene Zalo består av, men at det består av opptil 30% anioniske surfaktanter og opptil 15% kationske surfaktanter. F.eks. den anioniske surfaktanten natriumdodecylsulfat har CMC på $8x10^{-4}$mol/l ved 25°C (Ana Domínguez, 1997), som tilsvarer en overflatespenning i overkant av 30 mN/m (Gimel, 1996). Andre surfaktanter har lavere CMC.

Grafen viser en minskning i overflatespenningen ved tilsetning av en surfaktant. Dette stemmer med oppgavens teoretiske del. Man ser at overflatespenningen i løsningen ved 0,1% Zalo og 1% Zalo er nærmest identisk. Dette viser til at den kritiske micellekonsentrasjonen til Zalo i vann er under 0,1% volumprosent. Dataene hentet fra profesjonelle forsøk viser oss at CMC kan være utrolig lav, og at overflatespenningen da kan befinne seg i en verdi rundt 30 mN/m. Dette er tall som godt kan stemme med Zalos målte verdier.

Salt



Data for sammenlikning, hentet fra profesjonelt laboratorieforsøk: 0,5M NaCl gir en overflatespenning på 73,46 mN/m, en svak økning i forhold til vann. (Orhan Ozdemir, 2009) 0,5M er ca. det samme som 2,9g NaCl løst i 100ml løsning.

Resultatene viser at sjøvannet hadde en minimal økning i overflatespenning i forhold til rent vann. Det gjennomsnittlige saltinnholdet i sjøvann er på 3,5%, og som hovedsakelig, men ikke utelukkende, natriumklorid. (Wikipedia, 2020) Grunnet ferskvannsutspring i Bunnefjorden, kan man tenke seg til at saltinnholdet i prøven er noe fortynnet. Saltløsningen som ble laget på laboratoriet hadde en lavere overflatespenning enn rent vann. Dette stemmer ikke i forhold til profesjonelle tall og den teoretiske delen av oppgaven. Teorien tilsier at salt vil øke vannets overflatespenning. Feilkilder i analysen av NaCl må dermed bli undersøkt. Dette var den eneste av de testede væskene som ble blandet med en magnetrører. Det ble gjort for å forsikre seg fullstendig løsning av saltet. Feilkilder her kan ha vært urenheter i magnetrører etc. Temperaturen i de tre prøvene av saltløsningen var fra 21°C, så dette er ingen mulig feilkilde. Potensielle feilkilder kan også være oppveiing, oppmåling eller utregning av forfatteren.

Glyserol

66,0 mN/m. Grunnet en analyse av kun en konsentrasjon, vil ikke resultatet bli illustrert med en graf.

Data for sammenlikning, hentet fra profesjonelt laboratorieforsøk: Glyserol har er overflatespenning på 63,4 mN/m ved 20°C. (Wikipedia, 2020)

Resultatet viser en overflatespenningsverdi som stemmer godt med teoretisk del og profesjonell data.

Konklusjon

Oppgavens teoretiske kapittel tatr for seg de intermolekylære kreftene av utvalgte forbindelser i væskeform. Hovedfokuset ligger på vann og hydrogenbindinger, da vann har en særegen evne til å danne hydrogenbindinger. Overflatespenningen i andre forbindelser blir også undersøkt og sammenlignet. Videre består oppgaven av en forsøksrapport, etterfulgt av en diskusjonsdel der forsøkets resultater drøftes. Her blir det vist at de aller fleste antagelsene fra teorikapittelet stemte med resultatene.

Det ble vist at vann, glyserol og etanol sine overflatespenninger er bestemt ut ifra forbindelsens evne til å danne et sterkt hydrogenbåndsystem. Målingene viser at vannets overflatespenning vil synke desto høyere vannets temperatur er. De bekreftet også at Zalo har en kritisk micellekonsentrasjon. Når det gjelder NaCl løsningen stemte ikke resultatet med antagelsene fra teorikapitlene, og feilkilder ble her diskutert. Det er i tillegg verdt å bemerke seg at på grunn av utstyrets høye kvalitet var det mulig å gjøre nøyaktige analyser av væskene, selv med lite praktisering.

Bibliografi

Ana Domínguez, A. F. (1997). Determination of Critical Micelle Concentration of Some Surfactants by Three Techniques. *Journal of Chemical Education, Vol. 74 No. 10*, 1227-1231.

Bernie, L. J. (1997). Effect of pressure on hydrogen bonding in glycerol: A molecular dynamics investigation. *J. Chem. Phys., Vol. 107, No. 11*, 4350-4357.

Carloni, C. Z. (2012). Salt effects on water/hydrophobic liquid interfaces: a molecular dynamics study. *Journal of Physics: Condensed Matter*.

Cesio. (2017). *Cesio Surfactants Europe*. Hentet fra What are surfactants?: https://www.cesio.eu/index.php/about-surfactants/what-are-surfactants

Chaplin, M. (2019, Desember 18). *Water Structure an Science*. Hentet fra Hydrogen Bonding in Water: http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_hydrogen_bonding.html

Clark, J. (2018, April). *ChemGuide*. Hentet fra Intermolecular bonding - van der Waals forces: https://www.chemguide.co.uk/atoms/bonding/vdw.html

Clark, J. (2019, September 30). *LibreTexts*. Hentet fra Hydrogen Bonding: https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Physical_Properties_of_Matter/Atomic_and_Molecular_Properties/Intermolecular_Forces/Specific_Interactions/Hy

Clarke, J. (2019, Juni 5). *Chemistry LibreTexts*. Hentet fra Hydrogen Bonding: https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Physical_Properties_of_Matter/Atomic_and_Molecular_Properties/Intermolecular_Forces/Hydrogen_Bonding/Hydroge

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultetet. (2019, August 14). *Væsker, fast stoff og gasser*. Hentet fra UiO: https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/v/vesker-fast-stoff-og-gasser.html

Dietrichs, J. M. (2019, Oktober 21). *alkohol*. Hentet fra Store Medisinske Leksikon: https://sml.snl.no/alkohol

Earnshaw, N. G. (1997). Chemistry of the Elements. I *Chemistry of the Elements* (s. 625). Elsevier Science & Technology Books.

Ege, S. N. (2003). Organic Chemistry. Houghton Mifflin College.

Engineering ToolBox. (2004). *Engineering ToolBox*. Hentet fra Surface Tension of Water in contact with Air: https://www.engineeringtoolbox.com/water-surface-tension-d_597.html

F.Rosei, J. M. (2001). Directed Assembly of Nanostructures. I G. D. David L. Andrews, *Comprehensive Nanoscience and Technology* (ss. 13-68).

Gimel, J.-C. (1996). A light scattering investigation of the sodium dodecyl sulfate-lysozyme system. *The Journal of Chemical Physics 104(20)*, 8112-8117.

Hannisdal, M., & Ringnes, V. (2013). *Kjemi for lærere.* Oslo: Gyldendal akademisk.

Harrison, N. P. (1990). Colloids and Surfaces .

Helmenstine, A. M. (2020, Februar 6). *Thought Co*. Hentet fra Hydrogen Bond Definition and Examples: https://www.thoughtco.com/definition-of-hydrogen-bond-605872

KRÜSS GmbH. (u.d.). *https://www.kruss-scientific.com/services/education-theory/glossary/tensiometer/*. Hentet fra Tensiometer: https://www.kruss-scientific.com/services/education-theory/glossary/tensiometer/

KRÜSS GmbH. (u.d.). K6 User Manual. Hamburg, Tyskland.

KRÜSS GmbH. (u.d.). *Krüss*. Hentet fra Surfactant: https://www.kruss-scientific.com/services/education-theory/glossary/surfactant/

KRÜSS GmbH. (u.d.). *Krüss*. Hentet fra Force Tensiometer – K100: https://www.kruss-scientific.com/products/tensiometers/k100/force-tensiometer-k100/
Laurén, S. (2017, November 15). *Biolin Scientific*. Hentet fra Why is surface tension important?: https://blog.biolinscientific.com/why-is-surface-tension-important
Laurén, S. (2018, Juni 26). *Biolin Scientific*. Hentet fra What are surfactants and how do they work?: https://blog.biolinscientific.com/what-are-surfactants-and-how-do-they-work
Madura, W. L. (1985). Temperature and size dependence for Monte Carlo simulations of TIP4P water. *Molecular Physics, 56:6*, 1381-1392.
Naik, S. J. (2000). Hydrogen bond thermodynamic properties of water from dielectric constant data. *J. Chem. Phys. 113*.
National Center for Biotechnology Information . (u.d.). *PubChem*. Hentet fra Sodium chloride: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium-chloride
National Center for Biotechnology Information. (u.d.). *PubChem*. Hentet fra Ethanol (Compound): https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ethanol
National Center for Biotechnology Information. (u.d.). *PubChem*. Hentet fra Methanol: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Methanol
National Center for Biotechnology Information. (u.d.). *PubChem*. Hentet fra Octane: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Octane
National Center for Biotechnology Information. (u.d.). *PubChem*. Hentet fra Sodium chloride: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium-chloride
Orhan Ozdemir, S. I. (2009). Adsorption and surface tension analysis of concentrated alkali halide brine solutions. *Minerals Engineering 22 (3)*, 263-271.
Parrinello, P. L. (1999). Structural, electronic, and bonding properties of liquid water from first principles. *J. Chem. Phys. 111*.
Pashkov, Y. P. (1966). Surface tension of hydrogen near the critical point. *Soviet Physics JETP, vol. 22, n. 5*, 999-1001.
Pedersen, B. (2019, Februar 22). *Store Norske Leksikon*. Hentet fra væske: https://snl.no/væske
Pedersen, B. (2019, Mai 6). *Store Norske Leksikon*. Hentet fra vann: vann: https://snl.no/vann
Pedersen, B. (2019, September 30). *Store Norske Leksikon*. Hentet fra van der Waals-binding: https://snl.no/van_der_Waals-binding
Pietri, J. (2019, September 30). *Libre text*. Hentet fra Hydrogen Bonding: https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Physical_Properties_of_Matter/Atomic_and_Molecular_Properties/Intermolecular_Forces/Specific_Interactions/Hy
Sandstad, J. (2014, Januar 30). *Store Norske Leksikon*. Hentet fra statisk elektrisitet: https://snl.no/statisk_elektrisitet
Tanaka, R. S. (2020). Direct Evidence in the Scattering Function for the Coexistence of Two Types of Local Structures in Liquid Water. *J. Am. Chem. Soc. 2020, 142*, 2868-2875.
The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2020, Februar 25). *Encyclopædia Britannica*. Hentet fra Heat: https://www.britannica.com/science/heat
The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2020, Februar 3). *Encyclopædia Britannica*. Hentet fra Energy: https://www.britannica.com/science/energy
The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2020, Februar 11). *Encyclopædia Britannica*. Hentet fra Surfactant: https://www.britannica.com/science/surfactant
The Editors of Encyclopaedia Britannica. (u.d.). *Encyclopædia Britannica*. Hentet fra Surface tension: https://www.britannica.com/science/surface-tension
Uggerud, E. (2020, Februar 7). *Store Norske Leksikon*. Hentet fra etanol: https://snl.no/etanol

Universitaet Mainz. (2013, Februar 12). *Scientists confirm original tetrahedral model of the molecular structure of water*. Hentet fra PHYS ORG: https://phys.org/news/2013-02-scientists-tetrahedral-molecular.html

V. P. Voloshin, Y. I. (2009). Hydrogen bond lifetime distributions in computer-simulated water. *Journal of Structural Chemistry volume 50*, 78-89.

Wikipedia. (2019, April 18). *Wikipedia*. Hentet fra Sigma bond: https://en.wikipedia.org/wiki/Sigma_bond

Wikipedia. (2020, Februar 18). *Wikipedia*. Hentet fra Tensiometer (surface tension): https://en.wikipedia.org/wiki/Tensiometer_(surface_tension)

Wikipedia. (2020, Februar 18). *Wikipedia*. Hentet fra Tensiometer: https://en.wikipedia.org/wiki/Tensiometer_(surface_tension)

Wikipedia. (2020, Januar 28). *Wikipedia*. Hentet fra Chemical bonding of water: https://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_bonding_of_water

Wikipedia. (2020, Januar 14). *Wikipedia*. Hentet fra Glycerol (data page): https://en.wikipedia.org/wiki/Glycerol_(data_page)

Wikipedia. (2020, Januar 6). *Wikipedia*. Hentet fra Sjøvann: https://no.wikipedia.org/wiki/Sjøvann

Williams, D. (2018, Septemper 24). *Quora*. Hentet fra Which one has the strongest hydrogen bond, ethanol or water?: https://www.quora.com/Which-one-has-the-strongest-hydrogen-bond-ethanol-or-water

Zielkiewicz, J. (2005). Structural properties of water: Comparison of the SPC, SPCE, TIP4P, and TIP5P models of water. *J. Chem. Phys. 123*.