

## Molbegrepet i kjemi

- utfordringer i undervisning og læring

**Astrid Toftaker**

Kjemi

Innlevert: Juni 2012

Hovedveileder: Annette Lykknes, IKJ

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for kjemi



## Forord

Jeg har gjennom denne oppgaven planlagt og vurdert et undervisningsopplegg innenfor området støkiometri, med hovedvekt på læring om og forståelse av molbegrepet.

Jeg har også gjennomgått hovedtrekkene i den historiske utviklingen av molbegrepet og drøftet læringsvansker knyttet til begrepet. I tillegg er det gitt en kort beskrivelse av kjemifagets posisjon i norsk skole og hvordan molbegrepet er blitt presentert i noen norske lærebøker.

Mastergradsarbeidet har vært et interessant og lærerik prosjekt. Jeg har fått god kjennskap til kjemihistorien og fått innblikk i en rekke forskningsresultater om elevenes forståelse og misoppfatninger av begrepene stoffmengde og mol. Prosjektet har gjort meg mer reflektert som lærer og forhåpentligvis har jeg mer å bidra med til mine elever i mitt videre arbeid som lærer i den videregående skolen.

Jeg vil takke førsteamanuensis ved NTNU Annette Lykknes som har vært en god støtte og veileder gjennom dette prosjektet. Jeg vil også takke Sør-Trøndelag fylkeskommune for at jeg fikk delvis permisjon med lønn for å gjennomføre dette studiet. Videre vil jeg takke rektor ved «Fjellbygd» videregående skole som lot en kjemiklasse stå til min disposisjon, og elevene som var villig til å delta i denne undersøkelsen.

Trondheim 30. mai 2012

Astrid Toftaker

## Sammendrag

I første del (1) av denne oppgaven gir jeg et innblikk i utviklingen av kjemifaget fra opplysningstiden og fram til molbegrepet ble brukt og presentert i begynnelsen av 1900-tallet. Det er videre lagt vekt på å få frem hvordan meningsinnholdet i molbegrepet har endret seg fra århundreskiftet og fram til gjeldene definisjon ble gitt av IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) i 1967. Denne historiske delen inneholder også et skolehistorisk perspektiv, hvor jeg ser på hvilken plass kjemifaget har hatt og har i norsk skole og hvordan fagets stilling gjenspeiler seg i læreplaner. Til slutt i denne delen har jeg sett på hvordan molbegrepet er presentert i noen norske lærebøker med utgangspunkt i dagens definisjon av molbegrepet og IUPAC sine anbefalinger.

Del 2 handler om kjemi og læring. Med utgangspunkt i teorier fra utviklingspsykologien om hvordan læring skjer, gir jeg et innblikk i noen av de utfordringene som lærerne står ovenfor ved tilrettelegging av god undervisning i kjemi. Det er drøftet hvordan elevenes hverdagsforestillinger og misoppfatninger kan skape problemer når molbegrepet skal introduseres og støkiometriske oppgaver skal løses. Med utgangspunkt i tidligere didaktiske studier trekkes det frem anbefalinger om hvordan molbegrepet bør presenteres, slik at elevene får en oppfatning av begrepet som er i samsvar med IUPAC sin definisjon og anbefalinger.

Noen av disse anbefalingene ligger til grunn for den kvalitative undersøkelsen jeg har gjennomført i en kjemigruppe ved en videregående skole. I del 3 er design, mål, gjennomføring og begrunnelser for undersøkelsen presentert. Undervisningsopplegget hadde som mål at elevene skulle lære IUPAC sin definisjon av molbegrepet og unngå misoppfatninger.

I siste delen av oppgaven (del 4), har jeg diskutert alternative undervisningsmetoder som kan brukes ved innlæring av molbegrepet og sett på hvilke misoppfatninger elevene i undersøkelsen hadde dannet seg, og hvorfor de kan ha fått disse misoppfatningene. Det blir videre sett på hvordan elevenes manglende forkunnskaper i matematikk og kjemi kan ha bidratt til feilaktig forståelse av molbegrepet, spesielt elevenes forestillinger om hvordan den makroskopiske verden er knyttet til den mikroskopiske verden med atomer og molekyler. Jeg også tatt for meg på hvordan bruk av språket og da spesielt det kjemiske språket, kan være til hinder for læring.

Avslutningsvis har jeg tatt utgangspunkt i skillet mellom et produktorientert og et prosessorientert natur- og kjemifag. Her gis det et lite innblikk i vekselvirkningen mellom produkt og prosess i den historiske utviklingen av kjemifaget, og en vurdering av en prosess- og produktorientert kjemiundervisning. Med utgangspunkt i den historiske delen og den kvalitative studien, har jeg sett på hvordan kjemifaget og molbegrepet kan presenteres innenfor de rammer som læreplanen gir rom for. Jeg peker på hvordan en historisk vinkling kan gi elevene en bedre forståelse for hvordan kjemisk viten har blitt og blir dannet i et aktivt forskningsfellesskap

## **Abstract**

This thesis starts with an historic section giving insight into the historical development of modern chemistry. This development starts within the period of Enlightenment extending up until the presentation and use of the concept of mole in the early 20th century. The development extends further with the change of contents regards to the concept of mole - from what was first presented up until the ruling definition as of today given by IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) in 1967. First part also contains a school perspective looking into the traditional strong position of chemistry in Norwegian school as is reflected in the curriculum. Last this section points to how the concept of mole is presented in some Norwegian schoolbooks of today, compared to recommendations given by IUPAC and their definition of the concept of mole.

Part two is about chemistry and learning. Given the theories of learning- and developmental psychology, there are some pedagogical challenges facing chemistry teachers. Misconceptions among pupils are a problem when introducing the concept of mole and solving stoichiometric tasks. However, extensive studies in chemistry education give recommendations how to put forward the concept of mole avoiding misconceptions and cohering with the recommendations given by the IUPAC.

These recommendations make up the base from which I have made a qualitative investigation with a group of chemistry students in upper secondary school. Part three presents this investigation including design, goal, implementation and content of survey. The goal of teaching was to communicate and implement the correct understanding of the concept according to the IUPAC definition.

Last part discusses use of different methods when learning the concept of mole. It is argued that some methods may contribute to misconceptions. Improper understanding of the concept could also relate to lack of necessary pre-knowledge in mathematics and chemistry - especially ideas of how the macroscopic and microscopic worlds are interconnected by atoms and molecules. Language in general and chemical terminology in particular may inhibit learning.

# Innholdsfortegnelse

|   |           |
|---|-----------|
| <b>FORORD</b> .....   | <b>I</b>  |
| <b>SAMMENDRAG</b> .....   | <b>II</b> |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | <b>IV</b> |
| <b>INNHOLDSFORTEGNELSE</b> .....  | <b>V</b>  |
| <b>INNLEDNING</b> .....   | <b>1</b>  |
| <b>DEL1. HISTORISK TILBAKEBLIKK OG INNBLIKK I TEORIEN OM<br/>MOLBEGREPET</b> .....                  | <b>4</b>  |
| <b>1.1 Historisk bakteppe</b> .....   | <b>12</b> |
| 1.1.1 Utvikling av kjemi til en moderne vitenskap .....   | 12        |
| 1.1.2 Flogistonteorien .....  | 13        |
| 1.1.3 Oppdagelsen av oksygen.....   | 14        |
| 1.1.4 Lavoisiers oksygenteori .....   | 15        |
| 1.1.5 Den nye kjemiske nomenklaturen.....   | 15        |
| 1.1.6 Støkiometri - introduksjon og utvikling.....  | 17        |
| 1.1.7 Daltons atomteori.....  | 19        |
| 1.1.8 Debatten rundt atomveker .....  | 19        |
| 1.1.9 Uenighetene rundt de kjemiske teoriene og notasjonen.....                                     | 22        |
| 1.1.10 Karlsruhe kongressen.....  | 22        |
| <b>1.2 Opprinnelsen til begrepet mol og størrelsen stoffmengde, "amount of<br/>substance"</b> ..... | <b>23</b> |
| <b>1.3 Kjemifaget i norsk skole</b> .....   | <b>30</b> |
| 1.3.1 Enhetsskolen .....  | 30        |
| 1.3.2 Kjemirelaterte emner i grunnskolen.....   | 30        |
| 1.3.3 Kjemi i den videregående skolen.....  | 31        |
| 1.3.4 Læreplanendringer- fra R94- LK06 .....  | 32        |

|  |           |
|--|-----------|
| 1.3.5 Stoffmengde og molbegrepet .....   | 34        |
| 1.3.6 Presentasjon av mol og stoffmengde i norske lærebøker .....                            | 36        |
| <b>DEL 2 LÆRING OG VANSKELIGHETER MED LÆRING I KJEMI OG<br/>NATURFAG .....</b>               | <b>40</b> |
| <b>2.1 Utviklingspsykologi .....</b>   | <b>40</b> |
| 2.1.1 Piagets utviklingspsykologi .....  | 40        |
| 2.1.2 Vygotskys utviklingspsykologi .....  | 43        |
| <b>2.2 Språket i kjemi .....</b>   | <b>44</b> |
| <b>2.3 Konstruktivismen .....</b>  | <b>46</b> |
| 2.3.1 Kognitiv konstruktivisme .....   | 47        |
| 2.3.2 Sosial konstruktivisme .....   | 48        |
| <b>2.4 Elevenes forestillinger i kjemi og naturfag .....</b>                                 | <b>49</b> |
| <b>2.5 Misoppfatninger av molbegrepet .....</b>  | <b>53</b> |
| 2.5.1 Misoppfatninger om molbegrepet knyttet til den historiske definisjonen<br>av mol ..... | 54        |
| 2.5.2 Vanskeligheter knyttet til de matematiske regneoperasjonene i<br>støkiometri .....     | 56        |
| 2.5.3 Problemer knyttet til molbegrepets abstrakte karakter .....                            | 57        |
| 2.5.4 Noen andre misforståelser rundt molbegrepet .....                                      | 58        |
| <b>2.6 Om å forstå molgrepet noen anbefalinger .....</b>                                     | <b>59</b> |
| <b>DEL 3 KVALITATIV UNDERSØKELSE .....</b>   | <b>63</b> |
| <b>3.1 Design, kontekst og metodisk tilnærming .....</b>                                     | <b>63</b> |
| <b>3.2 Mål for undervisningen .....</b>  | <b>66</b> |
| <b>3.3 Pretest .....</b>   | <b>67</b> |
| <b>3.4 Valg av undervisningsmetoder og gjennomføring av<br/>undervisningsopplegget .....</b> | <b>69</b> |



|   |            |
|---|------------|
| 3.4.1 Begrunnelser for valg av undervisningsmetode.....                           | 69         |
| 3.4.2 Gjennomføring av undervisningopplegget .....                                | 72         |
| <b>3.5 Posttest .....</b>   | <b>77</b>  |
| <b>3.6 Intervjuene .....</b>  | <b>79</b>  |
| <b>DEL 4 RESULTATER, DISKUSJON OG IMPLIKASJON .....</b>                           | <b>81</b>  |
| <b>4.1 Resultater pretest .....</b>   | <b>82</b>  |
| 4.1.1 Forkunnskaper i matematikk.....   | 83         |
| 4.1.2 Forkunnskaper i kjemi.....  | 83         |
| <b>4.2 Resultat posttest.....</b>   | <b>84</b>  |
| <b>4.3 Diskusjon av resultater .....</b>  | <b>86</b>  |
| 4.3.1 Forståelsen av molbegrepet .....  | 86         |
| 4.3.2 Matematiske ferdigheter og støkiometri.....                                 | 89         |
| 4.3.3 Forhold mellom ioner og formelenheter .....                                 | 93         |
| 4.3.4 Makro- og mikronivå i kjemien .....   | 100        |
| <b>4.4 Elevenes misoppfatninger .....</b>   | <b>104</b> |
| <b>4.5 To elevprofiler .....</b>  | <b>107</b> |
| <b>4.6 Implikasjoner .....</b>  | <b>116</b> |
| <b>SAMMENFATNING OG REFLEKSJONER.....</b>   | <b>119</b> |
| <b>LITTERATURLISTE .....</b>  | <b>124</b> |
| <b>VEDLEGG: .....</b>   | <b>129</b> |
| Vedlegg 1: Brev til elev og foresatte om tillatelse til forskningsprosjektet..... | 129        |
| Vedlegg 2: Øvelse 1: Mol, volum og masse .....                                    | 130        |
| Vedlegg 3: Power Point presentasjon, magnesiumklorid løses i vann.....            | 131        |
| Vedlegg 4: Oppgave i 2. økt: Prosentvis sammensetning av stoffer .....            | 134        |
| Vedlegg 5: 5. økt, fortynning av løsninger .....                                  | 135        |
| Vedlegg 6: Øvelse 2: Løsninger .....  | 137        |
| Vedlegg 7: Øvelse 3: Krystallvann.....  | 138        |

|   |     |
|---|-----|
| Vedlegg 8: Plan for kjemi 1 uke 40 til 43.....    | 140 |
| Vedlegg 9: Oppgaver gjort på skolen og lekse..... | 141 |
| Vedlegg 10: Kjemioppgaver - repetisjon.....       | 144 |

## **Innledning**

Mitt faglige ståsted da jeg tok fatt på denne masteroppgaven i kjemi, var 12 års erfaring fra undervisning i realfagene matematikk, biologi, kjemi og naturfag i den videregående skolen. Jeg har i alle disse årene hatt som mål å ta hovedfag/en mastergrad i ett av realfagene, men økonomi og familieliv har gjort det vanskelig å realisere ambisjonene før regjeringen og skolemyndighetene la til rette for styrking av realfagskompetansen på alle nivåer i skoleverket.

I juli 2006 la Kunnskapsdepartementet fram strategiplanen «Et felles løft for realfagene 2006-2009» (KD 2006) der det ble understreket at den viktigste strategien for å få styrket realfagene i skole var å få utdannet dyktige lærere som kunne inspirere og motivere elevene til å ta realfagsutdanning. For å følge opp denne strategiplanen ble det etablert et nasjonalt forum for realfag med representanter for både nasjonale skolemyndigheter og næringslivets og arbeidslivets organisasjoner. Dette forumet stod bak den neste strategiplanen fra Kunnskapsdepartementet: «Realfag for fremtida. Strategi for styrking av realfag og teknologi 2010-2014» (KUD 2010). I denne strategiplanen ble det gitt konkrete løfter der det blant annet ble bevilget 85 millioner kroner til videreutdanning av rundt 600 lærere i realfag. Det var fra denne bevilgningen kanalisert gjennom skoleetaten i fylket, at vår skole fikk bevilget midler til vikar for meg i studietiden.

Det er ikke tilfeldig at mitt mastergradsarbeid ble en didaktisk oppgave i kjemi, og det er heller ikke tilfeldig at molbegrepet ble valgt som tema. Som ung realfaglærer i den videregående skolen oppdaget jeg tidlig at det var interessant å undervise i kjemi og at faget fanget elevenes interesse samtidig som det ga både elever og lærer faglige utfordringer. Ikke minst gjald dette oppgaver i støkiometriske beregninger, der innlæringen av molbegrepet ofte ble en ekstra utfordring. Å finne ut nettopp hvorfor molbegrepet falt vanskelig å forstå og lett og misoppfatte ble en didaktisk utfordring og et naturlig tema for valg av oppgave. Dessuten kan jeg føye til at kjemifaget var et av de fagene KUF ga økonomisk støtte til videreutdanning for å styrke realfagenes stilling i skolen.

### **Oppgavens formål og problemstilling**

I kjemifaget er det mange elever som synes molbegrepet er vanskelig. I følge Kolb (1978) er det få emner kjemielever finner vanskeligere å forstå enn molbegrepet, samtidig som det er et av de emnene som er blant de mest grunnleggende. Med denne studien vil jeg se nærmere på hvordan molbegrepet historisk sett er oppfattet og definert og hvordan det bør formidles for elevene i dag for at de skal få en god forståelse av begrepet og mestre bruken av enheten mol.

Mol oppfattes altså som et sentralt begrep innenfor kjemifaget. Siden de fleste kvantitative beregninger er basert på mol som enhet, betraktes det å forstå og anvende begrepet i støkiometriske beregninger som essensielt. Flere studier innen kjemididaktikk viser at mange elever strever med å forstå og bruke mol i kjemiske beregninger. Noen studier viser også at lærere har mangelfull forståelse av molbegrepet, noe som kan bidra til å gi elever feilaktige oppfatninger. Flere misoppfatninger av molbegrepet er kartlagt gjennom internasjonale studier. Jeg kommer nærmere tilbake til disse studiene i oppgaven.

Da jeg startet med masteroppgaven, ville jeg lage et undervisningsopplegg som hadde til hensikt å hjelpe elevene med å forstå begrepet og unngå å danne seg noen av de typiske misoppfatningene som har kommet fram gjennom forskning. Jeg utførte tester i for- og etterkant for å få et innblikk i elevenes kjemikunnskaper før og etter endt undervisningsopplegg. I tillegg brukte jeg intervju for å utdype noen av funnene. Gjennom intervjuene ville jeg prøve å finne ut hvordan elevene tenkte og resonnererte slik at jeg kunne avdekke misoppfatninger.

Min hensikt var å bruke kunnskap fra en historisk gjennomgang og en klasseundersøkelse til å drøfte hvordan man kan legge opp undervisningen for at elevene kan danne seg en riktig forståelse av molbegrepet og unngå misoppfatninger.

Jeg har jobbet ut fra følgende problemstilling:

- Hvilke utfordringer kan lærere og elever møte ved innlæring av molbegrepet og hvordan kan undervisningen legges opp for å møte disse utfordringene?

For å belyse dette har jeg sett nærmere på følgende spørsmål:

- Hvordan kan kunnskaper om den historiske utviklingen av mol bidra til en bedre begrepsforståelse hos lærere og elever?
- Hvordan kan innsyn i læringsteorier ha betydning for tilrettelegging av undervisning om molbegrepet?
- Hvilke misoppfatninger om mol kan elever tilegne seg og hva kan de bakenforliggende årsakene være til at elevene får disse misoppfatningene?
- Hvordan kan undervisningen legges opp for at elevene skal få en forståelse av begrepet mol som er i samsvar med IUPACs definisjon?

## Oppbygging av oppgaven

Opgaven består av fire hoveddeler.

Del 1 tar for seg molbegrepet i et historisk perspektiv. Denne delen gir et innblikk i kjemihistorien og diskusjonene rundt introduksjonen av molbegrepet samt et historisk tilbakeblikk på kjemifagets utvikling i norsk skole fram til i dag med spesiell vekt på læreplanutvikling. Molbegrepet har endret meningsinnhold flere ganger siden det ble introdusert på slutten av 1800 tallet. Det er derfor sentralt å se det i et historisk perspektiv.

Del 2 tar for seg læringsteorier og de vanskeligheter elevene møter når kjemikunnskaper skal forstås og læres. Innlæringen av molbegrepet faller vanskelig for mange elever. Innsyn i læringsteorier kan være til nytte når undervisning om molbegrepet skal planlegges og som et teoretisk utgangspunkt.

Del 3 beskriver rammer for og gjennomføring av en kvalitativ klasseundersøkelse. Det blir beskrevet hvordan undervisningen ble lagt opp og hvordan undersøkelsen ble gjennomført for at det skulle være mulig å si noe om læringsutbyttet. Undersøkelsen er å betrakte som et didaktisk feltarbeid som sammen med tidligere forskning om introduksjonen om molbegrepet, kan si oss noe om hvordan molbegrepet bør presenteres.

Del 4 tar opp resultater fra den kvalitative undersøkelsen med diskusjoner og implikasjoner for god tilrettelegging av undervisning om molbegrepet. Jeg har valgt å bruke den kvalitative undersøkelsen som en av flere innfallsvinkler til å studere molbegrepet og ikke som eneste fokus. Omtalene og problematiseringen av undersøkelsen følger derfor ikke de rammer som man ofte ser i arbeider der slike undersøkelser utgjør hoveddelen av oppgaven.

Avslutningsvis, under det jeg har kalt sammenfatning og refleksjoner, tar jeg opp tråder fra den historiske delen og den kvalitative undersøkelsen og sammenfatter hvordan kjemifaget og molbegrepet har utviklet seg og bør presenteres alt med utgangspunkt i skillet mellom et produktorientert og et prosessorientert kjemifag.

# **Del 1: Historisk tilbakeblikk og innblikk i teorien om molbegrepet**

## **1.1 Historisk bakteppe**

For å forstå utviklingen av molbegrepet er det viktig å kjenne til bakgrunnen forut for introduksjonen av mol. Den kjemiske revolusjonen på 1700-tallet ble gjennombruddet for kjemien som moderne vitenskap. Man kan si at kjemi da for alvor utviklet teorier basert på eksperimenter. Rett etter den kjemiske revolusjonen satte Dalton fram sin atomteori og det var i den perioden mol begrepet ble presentert. Jeg vil spesielt ta for meg debattene i forbindelse med Daltons atom-teori siden begrepet mol ble presentert på ei tid da atom- teorien fortsatt ikke var akseptert av alle.

Deretter vil jeg gå inn på hvordan molbegrepet har endret meningsinnhold fra det ble presentert og brukt innenfor et ekvivalentistisk paradigme for senere å bli definert på en annen måte i et atomistisk paradigme under utviklingen til en mer moderne kjemi. Innenfor et ekvivalentistisk paradigme var det utenkelig for vitenskapsmenn/kvinner at materien var bygd opp av fysisk eksisterende atomer. Et atomistisk paradigme forutsetter at materien er bygd opp av små fysisk eksisterende atomer (Padilla og Furio-Mas 2007). I studiet av kjemiske reaksjoner vil en «ekvivalentist» være opptatt av hvordan stoffene reagerer med hverandre i et bestemt masseforhold mens en atomist vil være opptatt av hvilket forhold det er mellom partiklene som reagerer med hverandre. Det ekvivalentistiske paradigme var rådende fra introduksjonen av kvantitativ kjemi (støkiometri) på slutten av 1700-tallet og ble gradvis overlappet av et atomistisk paradigme. Først utover på 1900-tallet ble det atomistiske paradigme enerådende.

### **1.1.1 Utviklingen av kjemi til en moderne vitenskap**

Kjemi som moderne vitenskap går tilbake til 1700-tallet. Det vi i dag kaller kjemikunnskap har sine røtter tilbake til arbeid blant alkymister, medisinere og metallurger.

Alle disse yrkesgruppene arbeidet med å finne gode metoder for fremstilling av stoffer som de hadde behov for i sitt arbeid. (Bowler og Morus 2005, s. 55). Alkymistene arbeidet med å forstå kjemiske prosesser som for eksempel fremstilling av fargepigmenter, metaller og medisiner.

Alkymistene utviklet en rekke ulike teknikker og de laget utstyr for å undersøke stoffenes egenskaper. Samtidig utviklet de et eget språk og egne symboler som medførte at utenforstående ikke kunne ta del i denne kunnskapen. På samme tid var det mange av alkymistene som filosoferte over materiens oppbygging. De mente at viten om materiens oppbygning ville kunne hjelpe dem i prosessen med å utvikle nye stoffer som de trengte i yrket sitt. Alkymistene jobbet for å utvinne nye stoffer og spesielt kjent er ønsket om å omdanne uedle metaller til gull. De var begrenset av de

religiøse regler som var gjeldene i samfunnet på den tiden. Argumentasjoner og bevis var knyttet til gudstro og magi. Medisinere som Johann-Baptista van Helmont(1577-1644) og Paracelsus (1493-1541) var opptatt av å utvikle ny kunnskap om materien slik at de kunne dra nytte av det i medisinsk sammenheng (Bowler og Morus 2005, s. 57). Paracelsus videreførte læren om de fire grunnstoffene vann, jord, ild og luft og kombinerte de med tria prima (salt, svovel og kvikksølv). Tria Prima var knyttet til materien på den måten at salt var assosiert med ikke brennbart stoff, svovel var assosiert med forbrenning og kvikksølv med væske og væsker sin evne til fordampning (Partington 1961, bind 2, s.143, Ihde 1964, s. 20, Brock 1992, s. 48).

Den engelske vitenskapsmannen Robert Boyle (1627-1692) ønsket å vitenskapeliggjøre kjemien. Han utførte mange eksperimenter for å prøve å forstå materiens grunnleggende mekaniske egenskaper (Bowler og Mourus 2005, s.60). Boyle skrev boken «The Sceptical Chymist» som ble utgitt i 1661. I denne boken kritiserte han teorien om de fire grunnstoffer og tria prima som naturens byggesteiner. Han hevder at det er ingen grunn til å tro at disse stoffene er grunnstoffer. I stedet fremsatte han en atomteori (korpuskel- teorien)(Ihde 1964, s. 27 og 28.) Denne teorien går ut på at alt er bygd opp av partikler i bevegelse og at partiklenes (korpusklenes) form og plassering var det som bestemte stoffenes egenskaper. Kjemiske forbindelser ble dannet ved å kombinere partiklene. (Partington 1961 bind 2, 1961, s. 502 og 503, Brock 1992, s. 65). Teorien kunne forklare en rekke fenomen som kunne bli eksperimentelt bekreftet, men Boyles korpuskelteori var ikke eksperimentelt fundert (Brock 1992, s. 64).

### **1.1.2 Flogistonteorien**

En ny idé om materiens oppbygning ble framsatt av Johann Joachim Becher (1635-1682) i 1667. Becher var metallurg og opptatt av å utvinne mineraler for økonomisk gevinst. Becher avviste Paracelsus tria prima og mente materien bestod av fem grunnstoffer; vann, luft og tre typer jord. De tre typene jord erstattet Paracelsus tria prima (Salzberg 1991 s. 175). Hans teori ble videreutviklet av Georg Ernst Stahl (1660-1734) og fikk navnet flogistonteorien. Stahl var professor i medisin ved universitetet i Halle og han utga en bok om flogistonteorien. Flogistonteorien ble gjeldende i lang tid og var en suksess. Det er ikke rom for å gå detaljert inn på denne teorien her. I hovedtrekk gikk teorien ut på at materien bestod av Bechers fem grunnstoffer der det ene jord-grunnstoffet ble kalt flogiston. Det var mange likhetstrekk mellom Bechers tre jordgrunnstoffer, og tria prima og flogiston kan sies å være svovelet til Paracelsus (Salzberg 1991 s.175). Flogistonteorien ble brukt til å forklare metallurgiske prosesser. All materie inneholdt mer eller mindre flogiston som kunne avgis eller tas opp i kjemiske reaksjoner. Forbrenningsprosesser ble forklart ved at alle brennbare

stoff inneholdt flogiston som ble avgitt i forbrenningsprosessen (Brock 1992, s. 82), mens rene metaller ble dannet ved at metalloksider ble kombinert med flogiston under varneprosessen (Bowler og Morus 2005, s. 61). I følge Salzberg var Flogiston et virkelig stoff som ble overført fra ett kjemisk stoff til et annet (Salzberg 1991, s. 176). Teorien ble akseptert og rådende, og når eksperimentene førte til inkonsistens ble de forsøkt forklart ved hjelp av ad hoc teorier for at oppdagelsene skulle passe inn i flogistonteorien. Et eksempel på en slik teori var forslaget til franskmannen Louis-Bernard Guytonde Morveau (1737-1816) som gikk ut på at flogiston hadde negativ vekt (Bowler og Morus 2005, s. 61). I dag vet vi at det under forbrenning av metaller dannes oksider som har større masse enn metallet. På denne tiden ble denne prosessen forklart ved at flogiston hadde negativ vekt, noe som førte til at metallet ble tyngre når flogiston forsvant (Salzberg 1991, s. 177). En annen forklaring på at oksider ble tyngre ved forbrenning av metaller ble framsatt av de franske kjemikerene Pierre Joseph Macquer (1718-1784) og Louis Bernard Guyton de Morveau (1737-1816). De foreslo at oksidet ble tyngre fordi vekt per volum (tettheten) av oksidet var mindre enn vekt per volum av det rene metallet (Ihde 1964 s. 58). For mange var det viktigere å beholde flogistonteorien enn å finne en god forklaring på de eksperimentelle resultatene.

### **1.1.3 Oppdagelsen av oksygen**

Et viktig gjennombrudd for kjemien på 1700-tallet kom gjennom utviklingen av Wrights luftpumpe (Bowler og Morus 2005, s. 61 og 62). Luft hadde til nå blitt sett på som et inert ikke-materiale. Det kom etterhvert frem at luft bestod av flere typer gasser og at luft måtte bestå av aktive gasser som deltar i kjemiske reaksjoner. I denne sammenheng kan det også nevnes at Boyle brukte luftpumpe i sine forsøk da han fant sammenhengen mellom trykk og volum i gasser (Partington 1961, bind 2, s. 20).

Det var flere vitenskapsmenn som forsket på gasser og oppdagelsen av oksygen kan tillegges tre mulige kandidater: Scheele, Priestley og Lavoisier (Bowler og Morus, 2005, s. 67). Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) var en svensk kjemiker som i tillegg til å isolere oksygen, oppdaget en rekke syrer og uorganiske forbindelser. Han publiserte ikke arbeidet om oksygen og andre gasser i lufta før i 1777. Da var oksyngengassen allerede kjent (Ihde 1964, s. 50). Scheele var flogistontilhenger og forklarte at under forbrenningsreaksjoner ble luften kombinert med flogiston fra det brennende materialet. Som en følge av dette ble volumet av luften redusert. Det var nok ikke aktuelt for Scheele å forklare forbrenningsprosessen uten å bruke flogistonteorien. Teorien var godt rotfestet og han så nok ikke muligheten til å forklare prosessen uten å bruke denne teorien (Ihde 1964, s. 52).



Joseph Priestley (1733-1804) var en engelsk kjemiker som isolerte og studerte mange ulike gasser. I følge Ihde er det ingen som har, verken før eller senere, studert så mange gasser som han (Ihde 1964, s. 40). Spesielt viktig var oppdagelsen av dinitrogenoksid, en gass som han kalte deflogistonisert luft. Han var en flogistonist hele livet og forklarte alle eksperimenter ut fra flogistonteorien. Under sine eksperimenter oppdaget han at det i luft måtte finnes en spesiell type luft (gass), senere kjent som oksygen, som forårsaket både forbrenning og respirasjon. Han kalte denne gassen for deflogistonert luft. Ut i fra sin sterke tro på flogistonteorien, mente han at denne gassen måtte være vanlig luft som hadde mistet mye flogiston og som derfor kunne ta opp ny flogiston under forbrenning. I følge Ihde hindret hans flogistonfilosofi ham i å se viktigheten av denne nyoppdagede gassen (Ihde 1964, s. 50).

#### **1.1.4 Lavoisiers oksygenteori**

Den franske kjemikeren Antonio-Laurent Lavoisier (1743-1794) var som nevnt en av de som oppdaget oksygen. Lavoisier var opptatt av forbrenning og av å utvinne metaller fra oksider. Lavoisier var overbevist om at luft måtte spille en viktig rolle i forbrenningsreaksjoner. Etter å ha lest Priestlys arbeid omdøpte han deflogistonert luft til oksygen. Oksygen kommer fra gresk og betyr syredanner. Han kalte den nye gassen oksygen fordi han så at alle stoffer som hadde blitt dannet ved at metaller eller karbon ble kombinert med denne gassen (oksygen) var alle syrer. Alle stoffer som kunne dekomponeres, ble kalt oksider. Stoffer som ikke kunne dekomponeres, ble sett på som grunnstoffer (Bowler og Morus 2005, s. 69). Lavoisier prøvde ikke å tilpasse oppdagelsen av oksygen til flogistonteorien. Han avviste flogistonteorien og dannet sin egen teori som han kalte oksygenteorien. Forbrenning og oksidasjon kunne forklares ved å la de reagerende stoffene kombineres med oksygen. Oksygen var en av gassene i både luft og i vann. Oksygen kunne danne syrer og metaller kunne kombineres med oksygen og danne oksider. Dessuten var oksygen nødvendig i forbrenningsreaksjoner og til respirasjon (Ihde 1964, s. 74). Han mente at disse prosessene kunne forklares ved hjelp av oksygen uten å blande inn flogistonteorien. Lavoisier brukte også oksygenteorien som teorigrunnlag når han senere var med på å foreslå ny nomenklatur i kjemi.

#### **1.1.5 Den nye kjemiske nomenklaturen**

Lavoisier har ofte fått hovedæren for den kjemiske revolusjonen (Bowler og Morus 2005, s. 23). Et viktig steg for utviklingen av den moderne kjemi var dannelse av et kjemisk språk, en helt ny nomenklatur. Antallet nyoppdagede stoffer økte med nye analysemetoder, og det oppstod derfor et behov for en mer systematisk navnsetting av kjemiske forbindelser. Det var et problem at navnet på

stoffene ikke var entydige. Mange forbindelser hadde flere forskjellige navn og to ulike forbindelser kunne ha samme navn.

Den første som prøvde å lage et felles kjemisk språk var Louis-Bernard Guyton de-Morveau. Han kommuniserte ofte med kjemikere i andre land og ville ha et felles språk. Morveau dro til Paris for å fremme sitt forslag til ny nomenklatur. Han var egentlig flogistonist, men endret sitt syn da han møtte antifloginistene Antonie-Laurent Lavoisier, Claude- Louise Berthollet (1748-1822) og Antoine-Francois de Fourcroy (1755-1809) i Paris. De overbeviste Morveau om at oksygenteorien var den foretrukne (Ihde 1964, s. 77). Morveau tilpasset sin nomenklatur til et språk som stemte overens med antiflogionistenes språk. Sammen skrev de fire nevnte en bok, *Methode de nomenclature chimique* som ble utgitt i 1787. Boken inneholdt den nye kjemiske nomenklaturen og bygde på Lavoisiers oksygenteori. Boken ble ikke godt mottatt av alle, spesielt fordi mange fortsatt trodde på flogistonteorien.

I den nye nomenklaturen ble stoffene og de kjemiske forbindelser navngitt etter hva som skjedde med stoffet i en kjemisk reaksjon. Oksygen fikk sitt navn fordi det betyr «syredanner» og hydrogen betyr «vanndanner». Det nye språket fjernet navn som hadde med sanselighet å gjøre og navn som refererte til geografisk opphav eller opprinnelse. Navnsettingen skulle i følge Lavoisier knyttes til kunnskapen om kjemiske stoffer og reaksjoner. Kjemien skulle bygges ut fra fakta som kom frem gjennom analytisk arbeid fra det enkle til det komplekse (Bernsaude-vincent 1996, s. 88).

Kjemikeren skulle arbeide ut fra kvalitative fakta og ikke etter sansbare egenskaper som farge og lukt. Lavoisiers nomenklatur kan sies å være en «metode» framfor et «system» (Bernadette Bensude-Vincent 2002, s. 177-181).

Lavoisier gav senere ut boka *Traite elementaire de chimie* i 1789. I denne boka beskrev han kjemien ut fra sin oksygenteori og med utgangspunkt i eksperimentelle arbeider forklarte han hvorfor han mente flogistonteorien var ubrukelig (Ihde 1964, s. 76). Boka ble oversatt til flere språk og førte til at den nye franske nomenklaturen ble utbredt ved begynnelsen av 1800-tallet. Den nye nomenklaturen ble ikke fulgt slavisk når nye stoffer ble oppdaget. Humphry Davy (1778 - 1829) fant ut at hydrogenklorid hadde syreegenskaper selv om forbindelsen ikke inneholdt oksygen. Navnet oksygen ble likevel beholdt selv om Davy hadde oppdaget at det fantes syrer som ikke inneholder oksygen. Også en del navn, oppkalt etter stoffenes lukt eller farge, ble introdusert i forbindelse med oppdagelse av nye stoffer. Eksempler på dette er klor og brom. På gresk betyr chloros grønn og bromos betyr stank. Den nye felles nomenklaturen regnes for å ha vært av stor betydning for utviklingen av den kjemiske vitenskapen. Den gjorde at kjemikere fra ulike land

kunne kommunisere seg i mellom og det ble lettere for nye studenter å lære seg kjemi (Bernadette Bensude-Vincent 2002, s. 177-181).

Teorien til Lavoisier ble raskt akseptert både i England, Skottland og Frankrike, selv om det fantes dem som ikke aksepterte den. I Tyskland var det mer motstand mot teorien og den ble ikke akseptert før først på 1800-tallet selv om den ble oversatt og publisert i 1790 (Bowler og Morus 2005, s. 70).

Bowler og Morus sier at flere tidligere historikere har hevdet at den bakenforliggende årsaken til at Lavoisiers teori førte til en reform, en ny moderne kjemi, var at han avviste troen på de fire grunnstoffene og flogiston (Bowler og Morus 2005, s. 71). Lavoisier forklarte forbrenningsreaksjoner, "kalking" (oksidering) av metaller og respirasjon med utgangspunkt i oksygen. Han introduserte et nytt konsept for materien der elementer var grunnstoffene ikke kunne dekomponeres videre (Ihde 1964, s. 88).

### **1.1.6 Støkiometri-introduksjon og utvikling**

Fram til slutten av 1700-tallet hadde kjemien kun vært preget av eksperimenter uten det fantes kjemiske lover som kunne beskrives matematisk slik det var vanlig i fysikken. Det var derfor flere som var interessert i å gjøre kjemien mer vitenskapelig, med andre ord mer matematisk.

En matematiker som interesserte seg for kjemi var Jeremias Benjamin Richter (1762 -1802) (Brock 1992, s. 130). Han ønsket å gjøre kjemien mer matematisk og søkte etter aritmetiske forhold og regulariteter i kjemi. Richter innførte begrepet støkiometri om faste blandingsforhold mellom reagerende stoffer. Richter fant ut at blandingsforholdet mellom relative masser ved nøytralisasjon av de reagerende syrene og basene de hadde studert, var konstant. Ekvivalente mengder av syre og base deltar i en kjemisk reaksjon. Denne sammenhengen, som bare gjaldt nøytralisasjon, har senere blitt utvidet til å gjelde alle stoffer og er kjent som loven om ekvivalenter (The law of equivalents eller The law of reciprocal proportion, (se Brock 1992, s. 130)

Richters lov om ekvivalenter av 1792 sa: «Når to nøytrale løsninger blandes og hvis stoffene reagerer vil de nye produktene nesten uten unntak bli nøytrale; grunnstoffene må derfor være i et bestemt masseforhold til hverandre.» (forfatters oversettelse fra engelsk fra Partington 1962, bind 3, s. 676).

Denne loven ble brukt til å finne ut hvor mye masse man trengte av en base for å nøytralisere en bestemt masse av en syre. Loven ble senere utvidet til å gjelde andre typer stoffer og kunne brukes til å finne ut hvor mye masse man trengte av hvert av de reagerende stoffene.

Det var den tyske kjemikeren Ernst Fischer (1754- 1831) som i 1802 samlet Richters resultater i en tabell. Tabellen viste en oversikt over noen ekvivalente syrer og baser, med tusen deler svovelsyre som standard stoff, Se utdrag i tabell 1 (Brock 1992, s. 131, Partington 1962, bind 3, s. 679). Jeg har for enkelthets skyld valgt å bruke dagens norske betegnelser på syrene og basene (datidens engelske betegnelser står i parentes).

Tabell 1.1: viser utdrag fra Fishers tabell over ekvivalente syrer og baser (Brock 1992, s. 131)

| <b>Baser</b>                     |     | <b>Syrer</b>          |     |
|----------------------------------|-----|-----------------------|-----|
| <b>Aluminiumoksid (Alumina)</b>  | 525 | Flussyre (Fluoric)    | 427 |
| <b>Magnesiumoksid (Magnesia)</b> | 615 | Karbonsyre (Carbonic) | 577 |
| <b>Ammoniakk (Ammonia)</b>       | 672 | Saltsyre (Muriatic)   | 712 |

Av tabellen fremgår det hvor mye en trenger for å nøytralisere ei syre eller en base i forhold til svovelsyre som standardstoff. Hvis man tar den oppgitte mengde av en av basene blir basen nøytralisert ved å tilsette 1000 deler svovelsyre eller ved å bruke en av de andre syrene med oppgitt mengde. Med andre ord vil det si at hvis vi tar 672 deler ammoniakk trengs det i følge tabellen 427 deler hydrogenfluorid eller 712 deler saltsyre til nøytralisasjonen. Richter selv utvidet senere tabellen til å gjelde 18 syrer og 30 baser.

Disse resultatene hjalp kjemikerne til å fremsette hypoteser om sammensetningen av ulike forbindelser. Beregningene av kjemiske forbindelser var kun basert på vekt og var derfor fortsatt makroskopisk. Kvantitative beregninger basert på antall atomer ble ikke presentert før med Dalton sine publikasjoner (Padilla og Furio-Mas 2007).

Den franske kjemikeren Joseph Proust (1784-1826) jobbet med sammensetninger av stoffer og deres masse og det var han som framsatte loven om konstante masseforhold i 1802. Loven om konstante masseforhold sier at forholdet mellom masse av stoffene i en kjemisk forbindelse er konstant. Denne loven førte til en utvikling innenfor støkiometri der ekvivalente vekter ikke bare gjaldt syrer og baser, men der det ble antatt at alle stoffer ble kombinert med hverandre i et bestemt masseforhold (Bensaude-Vincent og Stengers 1996, s. 113). Motstanden mot denne teorien av blant annet den anerkjente kjemikeren Claude Louis Berthollet (1748-1822), førte til at det tok lang tid

før loven ble akseptert. Berthollet mente at forbindelsene ikke hadde en konstant sammensetning, men at forholdet mellom de ulike stoffene varierte i en kjemisk forbindelse (Padilla og Furio-Mas 2007). Stoffe som ikke har en konstant sammensetning kalles i dag berthollider.

### **1.1.7 Daltons atomteori**

Den britiske professoren John Dalton (1766-1844) støttet seg til loven om konstante masseforhold når han i 1804 framsatte en hypotese om at stoffer var bygd opp av atomer. Dalton var opptatt av gassenes fysiske egenskaper og han så nødvendigheten av å differensiere korpuskler eller atomer, ikke bare i størrelse og form, men også i forhold til vekten. Daltons hypotese gikk ut på at kjemiske forbindelser bestod av bestemte enheter kalt atomer, og forbindelser ble dannet ved at atomer ble bundet sammen. Atomer som tilhørte samme grunnstoff var like. Med utgangspunkt i Proust's lov om konstante masseforhold formulerte han en lov om multiple masseforhold (Bensaude-Vincent og Stengers 1996 s. 113). Grunnstoffene kunne kun kombineres etter et bestemt forhold av hele tall mellom grunnstoffene i forbindelsen. Grunnstoffer som kunne danne mer enn en forbindelse vil for hver forbindelse ha et konstant forhold til hverandre. Dette ble kalt loven om multiple proporsjoner (Shütt 2002, s. 238).

Padilla og Furio-Mas trekker fram at denne loven var med å bidra til en dreining der kjemien gradvis utviklet seg fra å bruke ekvivalente mengder med masseforhold, en makroskopisk måte å tenke på, til å forholde seg til hvordan atomene reagerer med hverandre, en mikroskopisk måte å tenke på. Loven knyttet det makroskopiske (massen) sammen med det mikroskopiske (antall elementærpartikler). Med Daltons hypotese sluttet etter hvert diskusjonene rundt temaet om konstante sammensetninger i kjemiske forbindelser og fokuset ble flyttet mot hvilke kjemiske formler som var riktige. Det har blitt hevdet at Daltons publikasjoner førte til en utvikling der kjemikerne begynte å tenke på atomer og molekyler som stoffenes byggesteiner (Padilla og Furio-Mas 2007).

### **1.1.8 Debatten rundt atomvekter**

Dalton gikk bort fra Richters tabell og laget en egen tabell som baserte seg på atomvekter med hydrogen som standard. Atomvektberegninger måtte ta utgangspunkt i en bestemt standard og atomvekten til hvert grunnstoff ble bestemt ut fra at hvordan hydrogen dannet kjemiske forbindelser. Hydrogen ble satt til 1 og de andre verdiene var relative atommasser i forhold til hydrogen (Bensaude-Vincent og Stengers 1996, s. 114).

Det tok lang tid før atomteorien ble akseptert. Selv i England var det ikke alle som aksepterte teorien (Bensaude-Vincent og Stengers 1996, s. 117) Daltons atomteori satte i gang en rekke diskusjoner og debatter. Mange kjemikere fant Daltons atomvekter nyttige. De behøvde ikke å ta standpunkt til atomteorien for å dra nytte av atomvektene. Flere benektet eksistensen av fysiske eksisterende atomer, men fant dem nyttige som et verktøy i kvantitativ kjemi. Etter hvert ble atomvekt et nødvendig hjelpemiddel for alle kjemikere, selv om det fortsatt var noen som valgte å bruke ordet ekvivalentvekt fremfor atomvekt (Bensaude-Vincent og Stengers 1996, s. 118).

Kjemikere som engelske William Hyde Wollastone (1766-1828) og Thomas Thomson (1773-1852) og den svenske kjemikeren Jøns Jakob Berzelius (1779-1848) valgte å bruke oksygen som referanse for atomvektene. En av årsakene til dette var at hydrogen ikke danner hydrider med mange grunnstoff. Flere valgte derfor å bruke oksygen som standardstoff siden oksygenmengden kunne bli beregnet ved å analysere oksider. Thomsen satte oksygen- atomvekten til 1, Wollaston satte den til 10 og Berzelius til 100 (Ihde 1964, s. 141- 144). Det var ikke før Berzelius sine publikasjoner om atomvekter som ble utgitt i 1818 og senere utvidet i 1826, at atomvekter ble standard. Berzelius' arbeid ble oversatt til en rekke språk. Berzelius nøt stor anerkjennelse og mange fikk tillit til ham. Berzelius systematiserte atomvekter og skrivemåten til kjemiske reaksjoner på en mer oversiktlig måte. Dalton hadde brukt sirkler som notasjon på atomene. Berzelius erstattet Daltons sirkler med bokstav-initialer som var basert på det latinske navnet til grunnstoffet. Han tok i bruk eksponenter når han skrev den kjemiske formelen. Eksponentene viste antallet av hvert grunnstoff som var representert i formelen, for eksempel  $S^2O^3$  (Brock 1992, s. 154).

Gay-Lussac undersøkte volumforholdene når ulike gasser reagerer med hverandre. Han kom fram til en sammenheng som er kjent som « The law of combining volumes of gases». Denne loven gikk ut på at gasser vil kombineres med hverandre i et enklest mulig proporsjonalt forhold og at nye gasser som dannes vil være i et enklest mulig proporsjonalt forhold til summen av volumene til de gassene som ble kombinert. Gassene vil kombineres i forholdet 1:1 eller 1:2 eller 1:3 (Bensaude-Vincent og Stengers 1996, s. 115). Forholdene mellom volum av reagerende gasser stemte godt med de gravimetrisk forhold. Men Gay-Lussac benektet Daltons atomteori og Dalton avviste Gay-Lussac lov. Den første til å forene disse teoriene var Amedeo Avogadro (1776-1856). Han brukte begge disse teoriene da han formulerte den kjente Avogadros lov (Ihde 1964, s. 119).

Avogadro var en italiensk fysiker og matematiker. Han framsatte i 1811 hypotesen om konstant gassvolum. Det som senere er kalt Avogadros lov, tilsier at like volum av ulike gasser ved samme trykk og temperatur inneholder samme antall molekyler (Ihde 1964, s. 120). Avogadros hypotese

ble svært omdiskutert fordi den la til grunn at molekyler kunne dannes ved at to eller flere atomer av samme grunnstoff ble bundet sammen. Det falt vanskelig for mange å akseptere dette, spesielt fordi den elektrokjemiske teorien til Berzelius (1779 - 1848) var rådende på denne tiden (Bensaude-Vincent og Stengers 1996, s.120-121). Teorien til Berzelius gikk ut på at atomer ble bundet sammen fordi ulike grunnstoffer hadde ulike ladninger (Ihde 1964, s. 132). Atomer av samme grunnstoff hadde samme ladning og ville i følge Berzelius teori bli frastøtt og ikke tiltrukket av hverandre.

Mange kjemikere var opptatt med å bestemme atomvekter eller ekvivalenter. Et problem rundt teorien om atomvekter var følgende: For å kunne finne atomvekten måtte man kjenne formelen til stoffet og for å finne formelen burde man kjenne atomvekten. Siden flere av formlene ikke var kjente skapte dette problemer. Det ble brukt forskjellige metoder for å prøve å finne atomvektene (Ihde 1964, s. 140-141). Noen kjemikere brukte sammenlignbare tettheter. Tettheten til gasser ville være i samme forhold som atomvekten, men siden de fleste grunnstoffer ikke er i gassform var denne metoden ikke så egnet før franskmannen Jean- Baptiste-André Dumas (1800-1884) i 1826 utviklet en prosedyre for bestemmelse av gasstettheten til stoffer som var væsker eller faste stoffer i romtemperatur (Ihde 1964, s. 149). Det førte til at det var mulig å sammenligne atomvekter også for stoffer som ikke var gasser i romtemperatur. Dumas anvendte Avogadros lov om at like volum inneholder like mange partikler, noe som gjorde at atomvekter kunne knyttes opp mot gasstettheten til stoffet.

Mange ulike metoder for å finne atomvekter ble utprøvd, deriblant stoffenes varmekapasitet. I 1819 kom Pierre Louis Dulong (1785-1838) og Alexis Therese Petit (1791-1820) fram til at det forelå et bestemt forhold mellom varmekapasiteten og atomvekten til et stoff. Atomvektene var i 1819 veldig usikre, og flere, deriblant både Dulong og Petit, justerte tabellene slik at de stemte med sin egen lov. Oftest var det bare små avvik mellom de ulike metodene. Men i 1832 påviste Dumas en større uoverensstemmelse. Dumas kalkulerte atomvekten til svovel 3 ganger større enn Berzelius beregnede atomvekt og atomvekten til fosfor og arsenikk var 2 ganger større enn oppgitt i Berzelius tabell (Ihde 1964, s. 152). Det ble derfor en motsetning mellom å bruke Avogadros lov og varmekapasitetsloven til Dulong og Petit. Denne uoverensstemmelsen førte til at Dumas valgte å avvise Avogadros lov (Bensaude-Vincent og Stengers 1996, s. 122- 123.) I følge Bensaude-Vincent og Stengers førte avvisningen av Avogadros lov til en kjedeeffekt. Når Avogadros lov ble avvist, førte det igjen til at det ble satt sterk tvil om Gay-Lussac lov og Daltons atomteori. Ihde hevder at problemet lå i at det ikke var noen klart skille mellom molekylene og atomene til grunnstoffene (Ihde 1964, s. 152). Mange kjemikere gikk bort fra bruk av begrepet atomvekt og gikk tilbake til ekvivalenter.

Avogadros teori ble ikke akseptert av majoriteten av kjemikere før i 1860 på den første internasjonale kjemi-kongressen (Padilla og Furio-mas 2007). Mange kjemikere som drev med analyse foretrakk for enkelthets skyld å bruke ekvivalente kvantiteter. De mente de kunne få samme resultat uten å forholde seg til eksistensen av atomer. Mens andre, slik som engelske William Hyde Wollastone (1766-1828), argumenterte med at ekvivalentvekt var basert på analyser, mens atomvekter var basert på vilkårlige antagelser. I følge Ihde er det ingen tvil om at ekvivalenter var et nyttig støkiometrisk verktøy, men det var ubrukelig som et universalt begrep i kjemisk terminologi. Mange grunnstoffer har forskjellige valenser og dermed flere ekvivalentvekter, men dette ble enten ignorert eller bare satt helt vilkårlig (Ihde 1964, s. 154).

### **1.1.9 Uenighetene rundt de kjemiske teoriene og notasjonen**

Uenigheten rundt ekvivalenter og atomer vedvarte. Det var en åpen konflikt mellom og «ekvivalentister» og «atomister». Samtidig var mange ekvivalentister uenig seg i mellom. (Bensaude-Vincent og Stengers 1996, s. 137). Ekvivalentistene var ikke enige om hvilke målemetoder man burde forholde seg til. Uenigheten baserte seg på hvilke målinger som var riktige når man skulle finne den enkleste formelen. Var det gravimetriske målinger, volumetriske målinger eller substitusjonsekvivalenter eller en blanding av disse som var riktig? Det var heller ikke enighet blant atomistene. Cannizzaro foreslo å doble atomvektene til noen metaller mens andre ville gjøre bare små modifikasjoner. Formlene var heller ikke entydige. For noe betydde for eksempel HO vann, mens for andre hydrogenperoksid. De fleste var enig om at det var vanskelig å kommunisere på grunn av alle de ulike notasjonene. Den tyske kjemikeren Friedrich August Kekule (1829-1896) tok derfor initiativ til en felles kongress, Kjemikongressen i Karlsruhe i år 1860 (Bensaude-Vincent og Stengers 1996, s. 137).

### **1.1.10 Karlsruhe kongressen**

Denne første kjemikonferansen i Karlsruhe i 1860 hadde til hensikt å få laget et felles kjemispråk. Som nevnt ble det brukt ulike navn og skrivemåter for samme kjemiske forbindelse. Dette gjorde kommunikasjonene mellom kjemikerne svært vanskelig. I tillegg var det en konflikt mellom ekvivalentister og atomister. Også innenfor hver av disse grenene var det stor uenighet. Både viktige kjemiske definisjoner, kjemiske formler og ekvivalenter var tema på kongressen. Vitenskapsmennene ønsket å finne en felles definisjon på hva som skulle ligge i begrepene atomer, molekyler og ekvivalenter. Det var fremdeles uenighet om eksistensen av atomer og molekyler selv om de ble benyttet ved beregninger i forbindelse med kjemiske reaksjoner. Kongressen hadde ikke til hensikt å bli enig om materiens opprinnelse, men de ønsket å bli enige om et felles kjemisk språk



og felles notasjon for kjemiske formler (Bensaude-Vincent og Stengers 1996, s. 138). Møtet blir hevet uten at de var kommet til enighet om definisjoner rundt begrepene atomer og molekyler. På denne konferansen tok den italienske kjemikeren Stansilao Cannizzaro (1826-1910) mye av oppmerksomheten. Utdeling av pamfletter, der Cannizzaros syn på materiens oppbygning var beskrevet, overbeviste mange av kongressdeltakerne til å endre sitt syn på Avogadros og Gerhards atomvektsystemer. Pamflettene inneholdt en artikkel, skrevet av Cannizzaro, som sammenfattet bidrag fra en rekke kjemikere, men med hovedvekt på Avogadros lov, til et konsist system (Lykknes og Kvittingen 2002). I etterkant av kongressen godtok mange av kjemikere skillet mellom molekyler og atomer og tok i bruk Gerhardts atomvekts-system (Bensaude-Vincent og Stengers 1996, s. 138). Avogadros hypotese ble sett på i nytt lys og det ble akseptert at noen gasser slik som oksygen, hydrogen og halogener kunne danne toatomige gasser. Padilla og Furio-Mas (2007) hevder at Kongressen var med på å gi styrke til atom-molekylær teorien.

Utover 1900 tallet ble det forsket på atomer. Forskning innen fysikk med bestråling av svart legeme førte til ny kunnskap om materiens oppbygning og atomer ble akseptert som materiens minste byggesteiner (Padilla og Furio-mas 2007). Aksepten av atomteorien førte til introduksjon av størrelsen «Amount of substance» (Furio et al 2000). Det kommer jeg tilbake til i neste del kap.

## **1.2 Opprinnelsen til begrepet mol og størrelsen stoffmengde, «amount of substance»**

Jeg vil nå ta for meg den historiske opprinnelsen til begrepet mol og stoffmengde. Først vil jeg belyse hvordan molbegrepet ble brukt og definert første gang. Deretter vil jeg se på hvordan begrepet har endret meningsinnhold i takt med utviklingen. Til slutt beskrives introduksjonen av den nye størrelsen, stoffmengde, i SI systemet.

Mol ble opprinnelig brukt og definert innenfor et ekvivalentistisk paradigme og var da knyttet til massen av et stoff, mens det nå er brukt innenfor et atomistisk paradigme og er knyttet til antall partikler. Begrepet har altså endret meningsinnhold og utviklet seg fra et begrep brukt om masse til å bli en enhet for stoffmengde, en størrelse brukt for å telle entiteter på en makroskopisk måte.

I følge didaktikerne Lybeck, Strömdahl og Tullberg (1985, s. 65) var det spesielt tre endringer som førte til at stoffmengde med enheten mol ble tatt opp i SI systemet i 1971. For det et første var det introduksjonen av begrepet atomvekt (nå kalt atommasse) dernest utviklingen av nye metoder for å bestemme atomvekten. Dette førte til flere atomvektstabeller og det ble derfor behov for å finne en felles standard. Det andre var lanseringen av ordet «mol» i kjemisk fagspråk. For det tredje førte

utviklingen i vitenskap og teknologi til et større behov for beregninger, spesielt innenfor kvantitativ kjemi.

### **Behov for felles standard**

Jeg vil først ta for meg atomvekttabellen og behovet for en ny felles standard. Som jeg beskrev i delkapittel 1.1.8, var atomvektene relative masser som var bestemt i forhold til et grunnstoff som ble brukt som referanse. På begynnelsen av 1900-tallet brukte man fortsatt både oksygen og hydrogen som referanse. Som beskrevet i delkapittel 1.1.8 fantes det flere atomvektstabeller for oksygen. I 1885 foreslo Ostwald å bruke  $O=16$  som referanse for atomvektene, dette for å forene atomvekttabellene (Lybeck et al 1985, s. 67). Forholdet mellom H og O ble rundt 1900 funnet til å være 15,88:1 eller 16:1,008, noe som påvirket flere til å se på  $O=16$  som en felles standard.

På slutten av 1800-tallet tok formannen i *Deutsche Chemische Gesellschaft* initiativ til å sette ned en komité som skulle ta for seg spørsmålet om hvilket grunnstoff som skulle være standard referanse for en felles atomvektstabell. Det ble holdt flere avstemninger før  $O=16$  ble akseptert som referanse for atomvektstabellen (Lybeck et al 1985 s. 66) og etterhvert tok de fleste kjemikere i bruk oksygen som referanse. I 1910 ble det funnet ut at grunnstoffer kunne bestå av flere isotoper. Den britiske fysikeren Joseph John Thomson (1856-1940) fant at neon kunne ha både atomvekt 20 og 22. Francis William Aston (1877-1945), en britisk kjemiker og fysiker, videreførte arbeidet med isotoper og i 1920 laget han verdens første massespektrograf (som i dag heter massespektrometer). Dette førte til at det ble lettere å bestemme atomvekter og isotoper. I 1929 fant de amerikanske kjemikerne William Francis Giaugue (1895-1982) og Herrick Lee Johnston (1898-1965) at oksygen fantes i isotopene  $^{16}O$ ,  $^{17}O$  og  $^{18}O$ . Videre ble det på midten av 1930-tallet oppdaget at oksygen hadde ulik isotopsammensetning i gassfase og væskefase, som var i likevekt med hverandre. Som en konsekvens hadde ikke oksygen i luft samme atomvekt som oksygen i vann. På grunn av denne forskjellen valgte fysikerne å basere atomvektskalaen på isotopen  $O-16$  som fikk atomvekt 16. Kjemikerne beholdt derimot sin atomvekttabell der 16 var vekten av en bestemt isotopblanding av de tre oksygenisotopene. De kunne tolerere en mer unøyaktig atomvekt og hadde ikke hadde behov for en så presis standard som fysikerne hadde valgt. Fra rundt 1940 ble det derfor brukt ulike skalaer i fysikk og kjemi (Padilla og Furio Mas 2007, Gorin 2003, Kieffer 1964). De kjemiske atomvektene kunne multipliseres med 1.000275 for å få fysikerens atomvekter. Dette førte til to Avogadrokonstanter og to Faradaykonstanter (Lybeck et al 1985,s. 68).

Det viste seg etter hvert at det ikke var hensiktsmessig å ha to skalaer. Det ble derfor satt i gang et arbeid med å finne en felles referanse for en felles atomvektskala. I 1953 ble det holdt et møte i den

internasjonale atomvektskommisjonen, IUPAC, der ulike alternativer ble diskutert. Kjemikerne var lite interessert i å bruke fysikerens skala, fordi det medførte at millioner av kjemiske data måtte revideres. Fysikerne på sin side var lite villige til å godkjenne kjemikernes skala fordi de mente at referansen måtte være helt presis, basert på en bestemt isotop, og ikke en blanding av isotoper. Dersom referansen skulle være en bestemt isotop, var kjemikerne opptatt av at standarden måtte være en stabil isotop, og på midten av 1950-tallet foreslo de å bruke fluorisotopen  $^{19}\text{F}$ . Denne isotopen ble ikke akseptert av fysikerne fordi den ikke var så godt egnet som referanse i massespektrografen (Kieffer 1964, s. 8, Chabas-Bues 1999, s. 205). Massespektrografen må nemlig bruke en nuklide som ikke har et primtall som massetall for at referansestandard skal bli innstilt i instrumentet (Kieffer 1964, s. 8).

Karbon og hydrokarboner danner lett ioner i en massespektrograf og hadde av den grunn fungert som en ekstra standard. Uavhengig av hverandre foreslo den amerikanske fysikeren Alfred O. Nier (1911-1994) og den svenske fysikalske kjemikeren A. Ölander rundt 1957 å bruke  $^{12}\text{C}$  som felles standard (Lybeck et al 1985, s.69). For å få en felles skala ble det i 1960 enighet mellom IUPAC og IUPAP (International union of Pure and Applied Physics), fysikernes motstykke til IUPAC som arbeider med å fremme utviklingen av fysikk, om å endre atomvektsskalaen ved å bruke karbonisotopen  $^{12}\text{C}$  med atomvekt 12 som referanse. Den nye skalaen førte til en opprydding der alle de kjemiske data ble endret med en faktor på 43 deler per million og fysikerne måtte endre sine data med en faktor på 313 deler per million (Kieffer 1964, s. 9). Det har blitt hevdet at dette var med på å bane vei for at mol ble tatt med i SI-systemet (Gorin 2003).

### **Introduksjon av begrepet mol**

I følge Lybec et al (1985, s.71) var den andre historiske begivenheten som førte til at mol ble tatt opp i SI-systemet introduksjonen av begrepet mol. Det er Wilhelm Ostwald (1853- 1932) som regnes som den første som tok i bruk ordet «mol» (Padilla og Furio- Mas 2007, Lybeck et al 1985). I følge Lybeck et al brukte Ostwald første gang ordet «mol.», med punktum bak, i 1889. Senere endret han det til «mol», uten punktum bak (Lybeck et al 1985, s.71).

Ostwald var en baltisk/tysk kjemiker og arbeidet størstedelen av sitt liv i Tyskland. Ostwald var en foregangsmann for fysikalsk kjemi, med hovedvekt på termodynamikk (Nye 1996, s103). Han var blant annet med å starte opp et tidsskrift for fysikalsk kjemi *Zeitschrift für physikalische Chemie*. Ostwald publiserte mer enn 400 vitenskapelige artikler og 45 bøker samt en stor del notater.

På slutten av 1800-tallet var det fortsatt diskusjoner om atomene var reelle eller om de kun var hypotetiske partikler som var nyttige i matematiske beregninger. Utvikling innenfor termodynamikk førte til at flere fysikere begynte å helle til den oppfatning at atomene var reelle partikler (Rocke 1984, s, 10). Det førte til et skille mellom kjemiske og fysiske atomer. Kjemiske atomer ble brukt som grunnlag for ekvivalentvektstabeller, til å skrive molekylformler på kjemiske forbindelse og som nyttig verktøy i støkiometriske beregninger. De fleste kjemikere på 1800-tallet trodde heller ikke på eksistensen av atomer (Roche 1984, s.10 ). I følge Roche var det å tro på fysiske atomer kontroversielt og ikke akseptert av flertallet. Ostwald var blant dem som ikke så for seg at verden kunne være bygd opp av små udelelige partikler og han benektet derfor atomteorien (Roche s. 328). Ostwald mente at energien var reell og av den grunn måtte atomene var hypotetiske. I følge Bancroft (1933) var det kampen for energisynet som drev Ostwald til å kjempe mot atomistene. I følge Noel (1982, s. 367 referert i Chabas-Bues 1999, s. 207) introduserte Ostwald mol fordi han ikke ville godta molekylteorien. Videre sier Furio et al (2000) at Ostwald brukte mol fordi det betyr stor masse, mens molekyl betyr liten masse.

I litteraturen jeg kjenner til, kommer det fram at Ostwald brukte mol i mange av sine publikasjoner. Jeg har valgt å fremheve hvordan Ostwald definerte mol i én av sine mange bøker. I boken til Ostwald *Hand und Hilfsbuch* (1893, s. 119 referert i Chabas-Bues 1999, s. 205) skriver Oswald følgende: «Vi kaller mol vanligvis vekten i gram numerisk lik molekylvekten til et stoff som er gitt.» I følge Chabas-Bues viser denne definisjonen at mol er brukt som en forkortelse for «molekül», «moleküle-gram» og at han ser en kobling mellom mikro- og makronivå. Forfatteren hevder at mol hadde en tvetydighet som var med på å gjøre mol til et akseptert begrep fordi det kunne aksepteres av både «ekvivalentister» og «atomister».

Ostwald brukte mol i flere sammenhenger. Han støttet seg til Richters ekvivalensfilosofi og brukte begrepet normalvekt fremfor molekylvekt (Furio et al 2000). Normalvekt ble brukt i forbindelse med Richters ekvivalentstabell og anga vekten av et grunnstoff/en forbindelse som reagerte i forhold til standardstoffet som ble brukt som referanse. I boken *Grundlinien der Anorganischen Chemie* (Ostwald 1900, s. 163 referert i Furio et al 2000) skrev Ostwald: « Vi har observert at hvis vi fortynner et mol (normal- eller molekylvekt av et stoff uttrykt i gram skal bli kalt mol fra nå) av et hvilken som helst stoff i 1L eller 1000g vann, vil den lagde løsningen fryse ved 1 :850.» Som vi ser av dette utdraget brukte Ostwald normalvekt når han refererte til molekylvekt, en betegnelse som ikke var knyttet til atomteorien. Mol ble definert som normalvekten/molekylvekten i gram eller med andre ord definert som en masse, noe som er en annen betydning enn den vi har i dag. Ostwald

brukte også begrepet stoffmengde (amount of substance/stoffmengde heter stoffmengde på tysk), men stoffmengden var alltid referert til som masse eller forhold mellom masser (Furio et al 2000). Selv om ordet mol ble introdusert av Ostwald på slutten av 1800- tallet, var det andre kjemikere som brukte andre begreper med samme meningsinnhold som mol (Furio et al 2000). Eksempler på slike begreper var atom-gram, molekyl-gram, ione-gram eller formula-gram. Lee (1961) hevdet at det var stor forvirring rundt disse begrepene også rundt 1960 tallet. I artikkelen «a redefinition of the mole» diskuterte Lee ulike definisjoner og bruk av begreper som hadde samme meningsinnhold som mol. I følge Lee fantes det mange begreper som hadde samme meningsinnhold som gramformelvekt. Gram-formelvekt ble definert som summen av atommassene i en formel gitt i gram. Gram-formelvekt hadde ulike navn etter hva man skulle finne vekten av. Begrepene gramatomvekt, grammolekylvekt, gramionvekt og gramekvivalentvekt refererer alle til gram-formelvekt. Videre sier han at de lange navnene ofte forkortet til mole, g mole, g atom, g ion, g ekvivalent eller bare ekvivalent. Lee hevder at alle forkortelsene og mangelen på et uniformt språk gjorde støkiometriske beregninger innen kjemi vanskelig å forstå. Han sier videre at *mol* egentlig var en forkortelse for molekylvekt men at mol også ble brukt for ioner i tillegg til molekyler. I *lærebok i kjemi for naturfaglinjen* (Bruuns 1965, s.58-59) fra omtrent samme tid blir grammolekyl (gmol) definert likt med mol. Videre blir det brukt flere begreper som betyr det samme som formelvekten men knyttet til et bestemt stoff. Jeg kommer tilbake til denne og andre norske lærebøker i kap. 1.3.

Dierks (1981) sier at det før 1957 fantes tre betydninger av ordet mol. Den ene var at mol er en individuell enhet for masse der mol er brukt synonymt med gram-molekyl, gram-atom og gram formula-vekt. Den andre betydningen er at mol er en andel av et stoff, som en mengde som inneholder Avogadros tall av enheter. Denne betydningen, er i følge Cohen (1961) den mest brukte betydningen av mol. Den tredje betydningen av ordet er at mol er et tall (Avogadros tall).

Gjennomgangen over illustrerer at det var stor forvirring rundt de ulike begrepene og at det derfor var behov for å finne en felles definisjon. I følge Lee ønsket kjemikerne seg en definisjon av gramformelvekt som var entydig og som ikke var knyttet til en spesiell type partikkel. Videre hevder Lee (1961) at det var søken etter et felles uttrykk som hadde samme meningen som formelvekten i gram uten å referere til en bestemt type partikkel, som var en av de bakenforliggende årsakene til at størrelsen stoffmengde ble introdusert.

## Behov for en ny fysisk størrelse stoffmengde med enhet mol

Den tredje begivenheten som bidro til at mol ble definert i SI-systemet, slik Lybeck et al (1985) beskriver det, var behovet for enheten mol i beregninger. I alle kvantitative beregninger er fysiske kvantiteter et produkt av en numerisk verdi og en enhet. I 1957 ble mol definert på denne måten av IUPAP som tok utgangspunkt i  $^{16}\text{O}$ : «Et mol er kvantiteten av et stoff som inneholder samme antall molekyler (ioner, eller atomer, eller elektroner, som saken angår) som det er atomer i eksakt 16 gram ren oksygen- isotop  $^{16}\text{O}$ » (IUPAP 1958, referert i Dierks 1981).

IUPAP oppfordret fysikerne til å bruke mol som en enhet for stoffmengde med symbolet Q og dette bidro til at stoffmengde med enheten mol ble en ny størrelse i SI systemet (de Boer 1958 referert i Lybeck et al 1985, s.76).

## Ny definisjon av mol med utgangspunkt i $^{12}\text{C}$

Som nevnt ble fysikere og kjemikere enige om en felles atomvektskala basert på  $^{12}\text{C}$  i 1960. Dette bidro til at molbegrepet også ble definert med utgangspunkt i  $^{12}\text{C}$ . For fysikerne var det en fordel å bruke  $^{12}\text{C}$  isotopen som referanse i massespektrografen og for kjemikeren var det en fordel å bruke en stabil nuklide som referanse for atomvektene.

I 1961 ble molbegrepet definert slik av Guttenberg (1961) innenfor det atomiske paradigme: «Mol er stoffmengden som inneholder samme antall av entiteter (atomer, ioner, molekyler etc.) som antall atomer inneholdt i 12 gram  $^{12}\text{C}$ .» (Guttenberg 1961, referert i Lee (1961) og Padilla og Furio Mas (2007), Kieffer 1964).

Diskusjonene angående den nye størrelsen var mange i det internasjonale vitenskapssamfunnet. De gikk på om det virkelig var behov for en ny størrelse, og i så fall hvilken hensikt den hadde, og om navnet på den den nye størrelsen var riktig i forhold til bruk av ordet mengde (amount) (Padilla og Furio-Mas 2007). Misnøyen med alle de ulike begrepene førte til at IUPAP anbefalte den nye størrelsen stoffmengde og i 1965 godtok IUPAC stoffmengde med enhet mol som en av de sju fundamentale størrelsene, forskjellig fra masse og antall partikler. Den nåværende definisjonen ble bestemt i 1967, men formelt var det på den fjortende CGPM (General Conference on Weights and Measures konferansen) i 1971 at stoffmengde offisielt ble med i SI systemet (Gorin 2003).

Den nåværende definisjonen på mol, definisjon, er følgende:

Et mol er stoffmengden til et system som inneholder like mange elementære entiteter som det er karbonatomer i 0.012 kilogram  $^{12}\text{C}$ ; symbolet er “mol”. Når enheten nyttes, må elementærentitetene spesifiseres. Entitetene kan være atomer,

molekyler, ioner, elektroner, andre partikler, eller spesifiserte grupper av slike partikler (IUPACforfatters oversettelse fra engelsk som er i samsvar med det store norske leksikon: <http://snl.no/SI/enhetssystem>)

Som vi ser i definisjonen av mol, er mol en enhet for størrelsen stoffmengde, mol er stoffmengden til et system. Av definisjonen ser vi at systemet inneholder elementære entiteter og at mol derfor ikke er det samme som antall elementære entiteter.

Den nåværende definisjonen på stoffmengde  $n$  (Som også inneholder definisjonen på: antall mol) er som følger:

"Grunnstørrelse i SI-systemet. Det er antall elementære entiteter delt på Avogadro konstant. Siden den er proporsjonal med antall entiteter, vil proporsjonalitetskonstanten være invers Avogadros konstant og den samme for alle stoffer, den må behandles nesten identisk med antall entiteter. De tellende elementære entitetene må alltid bli spesifisert».(IUPAC, forfatters oversettelse fra engelsk)

Av definisjonen kommer det tydelig fram at stoffmengden er en størrelse i SI-systemet og at stoffmengde er proporsjonal med antall entiteter.

Mengdebegrepet har mange ganger vært oppe til diskusjon. Det ble påpekt at ordet mengde ikke er entydig og ofte er forbundet med masse. Det har derfor blitt foreslått mange navn for å erstatte «amount of substance». Eksempler på navn som er foreslått er Psammity, ontcount, metromeriance, chemiance og chemical quantity (Padilla og Furio Mas 2007). Men alle forsøk på å komme med nytt navn har blitt nedstemt. Som man kan se av IUPACs definisjon, er «chemical amount» det eneste godkjente navnet som et synonym til «amount of substance». Gorin (2003) peker på at «amount of substance» kan knyttes både til masse, volum og antall entiteter. Utrykket bør i følge han bli forbeholdt mol-mengder for å forhindre forvirring og misforståelser.

Selv etter at definisjon ble vedtatt av IUPAC, har flere forfattere brukt de gamle begrepene i sine lærebøker. De har uttrykt at det var irrelevant å bruke mol og stoffmengde og hevdet at det var nok å kjenne til at mol inneholder Avogadros tall av partikler. Adamsen (1978) skriver at han ikke kan forstå hvorfor mol er en enhet i SI-systemet og han henviser til at mol bare står for et tall, Avogadros tall, som kan oppfattes på samme måte som for eksempel dusin eller snes. Andre forskere slik som Schmidt (1997), henviser til at det er et problem at det ikke er spesifisert hva som ligger i begrepet «amount of substance». «Amount of substance» er proporsjonal med antall partikler, men det betyr ikke det samme som antall partikler. Stoffmengde er en størrelse med enheten mol, det er ikke et antall partikler. Definisjonen på mol og stoffmengde presentert i lærebøker, er selv i dag, ofte ikke i tråd med IUPACs definisjon. Noen eksempler på dette vil jeg ta

for meg i neste delkapittel. Men aller først vil jeg se på kjemifagets plan i norsk skole fra midt på 1800-tallet og fram til i dag.

### **1.3 Kjemifaget i norsk skole**

I dette kapittelet tar jeg først et historisk tilbakeblikk på naturfagenes og spesielt kjemifagets posisjon i norsk skole. Deretter går jeg nærmere inn på de læreplanendringer som har skjedd fra Reform 94 (R94) til Kunnskapsløftereformen i 2006 (LK06) og ser på hvilke endringer reformen har hatt for kjemifaget. Til slutt gir jeg en oversikt over hvordan begrepene stoffmengde og mol er presentert i læreplaner og lærebøker, i perioden fra 1965 til 2010, og hvilke didaktiske utfordringer lærerne kan stå overfor når denne delen av kjemifaget skal tilrettelegges for læring.

#### **1.3.1 Enhetsskolen**

Enhetsskoletanken - tanken om en felles skole for alle barn - har lange tradisjoner i Norge. I 1850-årene hadde vi ennå et parallellskolesystem på grunnskolenivå der barna fra allmuen gikk i allmueskoler og barna fra øvrige sosiale lag gikk i borgerskoler eller latinskoler. Barna til embetsmenn gikk i latinskoler som rekrutterte studenter til universitetet. Gjennom en rekke reformer ble dette skolesystemet erstattet med en 7-årig obligatorisk folkeskole - en enhetsskole for alle barn mellom 7 og 14år – etter et vedtak i Stortinget i 1920 (Stortingsmelding nr. 16 2006-2007).

#### **1.3.2 Kjemirelaterte emner i grunnskolen**

I 1860 møter vi for første gang naturfagrelaterte emner i en skolelov for folkeskolen omtalt som «jordbeskrivelse» og «naturkundskap» med utgangspunkt i «utvalgte stykker av læsebogen» (referert i Sæter 1998). I folkeskoleloven fra 1889 finner vi et tillegg om «grunntrækk af sunhetslæren» og i 1909 et ytterligere tillegg om «de berusede drikkers virkninger og fare». I lov om folkeskolen i 1936 er naturfagemner beskrevet slik: «naturkunne med helselære og med opplæring om korleis tobakken og rusdrykken verkar, og kva farer dei fører med seg». Fra 1939 fikk vi læreplaner knyttet opp mot lovverket, kalt normalplanen for folkeskolen. For første gang får vi fysikk og kjemi spesifisert som emner i naturfag i den nå 7-årige folkeskolen.

I krigsårene og de første årene etter krigen var det små forandringer i norsk skolestruktur og læreplaner. Dette endret seg i 1954 da vi fikk en egen lov om forsøk i skolen, iverksatt og administrert av Forsøksrådet for skoleverket (1954-1985). Med utgangspunkt i ny lov for



folkeskolen av 1959, hadde Forsøksrådet satt i gang forsøk med 9-årig grunnskole. I læreplanen for forsøk med 9-årig grunnskole av 1964, finner vi et eget naturfag på 7.-9.-årstrinn som er delt inn i fysikk, kjemi og biologi. Tanken om en mindre fragmentert og mer helhetlig kunnskapsformidling stod sterk i disse årene og i læreplanen fra 1974, nå kalt normalplanen, ble det lagt vekt på integrering av fag. Naturfag som eget fag på timeplanen ble tatt bort og erstattet med et såkalt o-fag (orienteringsfag) på barnetrinnet (1-6 klasse) i grunnskolen. Dette faget inneholdt elementer fra samfunnsfag (historie og geografi) og naturfag. Denne ordningen ble opprettholdt i M87 og fram til ny læreplan i 1997 (L97). Det ble dokumentert blant annet gjennom Naturfagutredningen (KUF 1994-95), der professor Svein Sjøberg var leder, at integrering av naturfag i et o-fag hadde svekket faget stilling i skolen og at et løft for naturfagene var nødvendig både i forhold til målene i den generelle læreplanen og standarden på realfagskompetansen i andre land. I mønsterplanen fra 1974 opprettholdes denne tredelingen. I mønsterplanen fra 1987 treffer vi for første gang på et naturfag med vekt på faglig integrering av de tre hovedemnene, og i læreplanverket for den 10-årige grunnskolen fra 1997 (L97) finner vi et natur- og miljøfag som på alle årstrinn er delt inn i fire hovedtema: Kropp og helse, Mangfoldet i naturen, Stoff, egenskaper og bruk og Det fysiske verdensbilde. Det er angitt mål og hovedmomenter for hvert av de tre trinnene småskoletrinnet, mellomtrinnet og ungdomstrinnet (Sæther 1998). Kjemiske emner kommer hovedsakelig inn under hovedtemaet «Stoffer, bruk og egenskaper» og i hovedsak på ungdomstrinnet (L97). Etter LK06 har vi fått felles læreplaner for fag som undervises både i grunnskolen og den videregående skolen. I naturfag er det utarbeidet en felles læreplan for hele det 11-årige utdanningsløpet. Jeg vil nå gjøre rede for kjemifagets utvikling i den videregående skolen.

### **1.3.3 Kjemi i den videregående skolen**

Den høyere skolen som senere ble til gymnas, og som i dag er en del av den videregående opplæringen, var i utgangspunktet geistlige latinskoler (katedralskoler) som skulle forberede elevene til prestetjeneste. I 1797 startet det en reformprosess i latinskolen som endte med at det fra 1809 kom realfag og moderne språk med i fagkretsen i tillegg til klassiske språk og litteratur (Høigård og Ruge 1963, s.74).

Det var den kjente skolemannen Hartvig Nissen (1815-1874) som fikk ansvaret for å utarbeide forslag til nye lovreformer. Han var formann i den skolekommisjonen som førte til ny lov om høyere skoler av 1869 med en 5-årig middelskole, der det var fellesklasser de tre første årene og en inndeling i latinlinje og engelsklinje de to neste årene. I det påfølgende 3-årige gymnaset var det valg mellom latinlinje og reallinje uten klassiske språk (Høigård og Ruge 1963, s.136).

Allerede i 1896 kom en ny lovendring og fra da av var det tre linjer å velge mellom i gymnasen: en språkhistorisk linje, en språkhistorisk linje med latin og en reallinje. Med lov om høyere skoler i 1935 ble det etablert et 5-årig gymnas der de to første årene var felles med de to første årene i en 3-årig realskole (Høigård og Ruge 1963, s.180).

Helt tilbake til skolereformen i 1896 har det vært undervist i kjemi som obligatorisk felles fag i den høyere skolen/gymnasen. Fra 1935 og fram til de første reformgymnasene i 1969 ble det undervist i 3 timer kjemi pluss 1 time fysiologi per uke, som et fellesfag på 1. årstrinn i gymnasen og på 3. årstrinn i realskolen. Med utgangspunkt i Forsøksrådets forsøk med reformgymnas og 2-årig grunnkurs som ledet fram til Lov om videregående opplæring i 1974 (iverksatt i 1976), ble kjemifaget inkludert i et 5-timers naturfag på 1.årstrinn i gymnasen og de to første årene i et 2-årig grunnkurs der yrkesfag var kombinert med allmennfag (Telhaug 1975, s 114).

I naturfagplanen fra 1976 skulle de fem timene fordeles mellom biologi, fysikk og kjemi i forholdet 2:1:2 (KUD 1976, s. 112). Etter at naturfagplanen ble revidert i 1989, ble denne fordelingsnøkkelen utelatt og det ble lagt vekt på et mer integrert naturfag der innslaget av kjemi var mindre (RVO 1989).

Den neste store norske reformen innenfor videregående opplæring ble iverksatt i 1994. Etter Reform 94 ble naturfag fortsatt et 5-timers kurs på 1. årstrinn for studieretninger som etter tre år ga generell studiekompetanse. I denne planen var ett av sju mål kjemirelatert (KUF 1993).

#### **1.3.4 Læreplanendringer - fra R94 til LK06**

I de læreplaner som ble utarbeidet i forbindelse med R94 for videregående opplæring og L97 for grunnskolen, var det gitt klare rammer med mål og hovedmomenter der det ble listet opp hvilket lærestoff det skulle undervises i. I de nye lærerplanene etter LK06 er det ikke beskrevet lærestoff og arbeidsmetoder på ulike årstrinn, men angitt kompetansemål for bestemte fag og trinn (Udir.no). I tillegg til kompetansemålene, inneholder læreplanen en generell del der det legges vekt på fem grunnleggende ferdigheter. I kompetansemålene i læreplanen for det enkelte fag er de fem grunnleggende ferdighetene integrert på det enkelte fags premisser. De grunnleggende ferdighetene er: å kunne uttrykke seg muntlig, å kunne uttrykke seg skriftlig, å kunne lese, å kunne regne og å kunne bruke digitale verktøy. Kompetansemålene i LK06 er åpne og gir læreren et stort handlingsrom når det gjelder valg av innhold og arbeidsmetoder. Det er derfor behov for å spesifisere de målene læreren ønsker at elevene skal oppnå etter endt undervisningsperiode. I blant

annet naturfag har utdanningsdirektoratet utarbeidet veiledninger som lærere og lærebokforfattere kan forholde seg til.

I den nye læreplanen i naturfag (revidert plan fra 1.08.2010) er faget strukturert i hovedmomenter. Innenfor hvert hovedemne er det formulert kompetansemål etter 2., 4., 7. og 10. trinn i grunnskolen og etter 1. årstinn i den videregående skolen (Vg 1). I grunnskolen og i Vg 1 er det følgende hovedområder (navnet som brukes på Vg 1 står i parentes): Forskerspiren, Mangfoldet i naturen (Bærekraftig utvikling), Kropp og helse (Ernæring og helse), Verdensrommet (Stråling og radioaktivitet), Fenomener og stoffer (Energi for fremtiden), Teknologi og design (Bioteknologi). Årstimettall for naturfag er angitt i 60 - minutters enheter der det totalt er 328 timer på 1.-7. årstrinn, 256 timer på 8.-10. årstrinn og 140 timer på studieforberedende utdanningsprogram i Vg 1. Kjemirelaterte kompetansemål finner vi i hovedsak under hovedområdet Fenomener og stoffer etter 10. årstrinn, mens man etter Vg 1 i hovedsak finner kjemirelaterte kompetansemål under hovedområdet Ernæring og helse.

Prinsippet med gjennomgående læreplaner, det vil si læreplaner som ser hele skoleløpet i fellesfag under ett fra starten i grunnskolen til og med første året i den videregående skole (Vg1), har medført en mer strømlinjeformet progresjon der lærestoffet fra grunnskolen ikke forutsettes repetert i videregående skole. Med LK06 er det såkalte spiralprinsippet for opplæring forlatt. Spiralprinsippet gikk ut på at relativt avansert fagstoff ble introdusert på et tidlig utdanningstrinn for så å bli repetert og utvidet på et høyere trinn. Det har blitt hevdet at spiralprinsippet hindret en effektiv progresjon (Ringnes 1993, s. 213). Hannisdal og Ringnes mener at selv om den nåværende ordning etter LK06 har forlatt spiralprinsippet, bør den ikke forlates i undervisningen (Hannisdal og Ringnes 2011, s. 6). Det kan være en utfordring for både elever og lærere når kompetansemålene ikke er nådd på et lavere nivå. Mye kan ha gått i glemmeboken og oppfriskning av kunnskap være nødvendig når elevene starter med programfaget kjemi på 2. årstrinn i videregående skole.

### **Fordypning i kjemi**

Så langt har jeg kun omtalt naturfagrelaterte og kjemirelaterte emner i lover og læreplaner som er felles for alle elever. Når det gjelder kjemi som linjefag/studieretningsfag/programfag, det vil si som fordypningsfag på 2. og 3. årstrinn i gymnas/i den videregående skolen, ble det gjort et pionerarbeid i 1948. Dette året ble det opprett en naturfaglinje med 3 uketimer kjemi på hvert av de tre årstrinnene (Ringnes 1993, s. 20). På slutten av 1960-tallet og begynnelsen av 70- tallet ble denne linjen etablert på flere og flere skoler parallelt med økt miljøbevissthet hos myndighetene og i befolkningen. Det var først etter forsøkene med reformgymnas i Forsøksrådets regi fra 1969 til

1976 og i verksetting av Lov om videregående opplæring med nye læreplaner fra 1976, at de tre realfagene kjemi, fysikk og biologi fikk en noenlunde lik stilling (Telhaug 1975, s. 123). Det ble nå utarbeidet læreplaner i linjefaget kjemi med 3 uketimer på 2. årstrinn og 5 uketimer på 3. årstrinn. Etter reformen i 2006 har programfaget kjemi 140 årstimer a' 60 min. på både 2. og 3. årstrinn, svarende til 5 + 5 uketimer a' 45 min. gjennom hele skoleåret. Med LK06 har altså kjemifaget styrket sin stilling i videregående opplæring.

### 1.3.5 Stoffmengde og molbegrepet

I læreplanen for kjemi fra 1996, 2.årstrinn, som er skrevet med utgangspunkt i R94, finner vi følgende mål og hovedmomenter knyttet til begrepene stoffmengde og mol (tabell 1.3):

Tabell 1.3: viser utdrag fra læreplanen fra 1996 knyttet til stoffmengde og mol.

| Mål 3                | Elevene skal beskrive stoffer, deres tilstand, mengder og reaksjoner   |
|----------------------|--|
| <b>Hovedmoment b</b> | Elevene skal kjenne til grunnstørrelsen stoffmengde og foreta enkle beregninger med atommasse, formelmasse og molar masse.   |
| <b>Hovedmoment c</b> | Elevene skal kunne sette opp enkle reaksjonslikninger, kunne forklare disse og beregne stoffmengdene som reagerer og dannes. |
| <b>Hovedmoment e</b> | Elevene skal kunne lage løsninger med ulike konsentrasjoner og nøyaktighet   |

I læreplanen for programfaget kjemi etter LK06 er det fokusert på fem ulike hovedområder med tilhørende kompetansemål på hvert av de to årstrinnene (Vg2 og Vg3). Læreplanen er delt inn i hovedområder: Språk og modeller, Metoder og forsøk, Vannkjemi, Syrer og baser, Organisk kjemi og Redoksreaksjoner. Det forutsettes at de grunnleggende ferdighetene som er nevnt i delkapittel 1.3.4 skal integreres i alle kompetansemålene.

Følgende grunnleggende ferdighet og kompetansemål kan etter min mening relateres spesifikt til læring om stoffmengde og mol (tabell 1.4):

Tabell 1.4: viser utdrag fra læreplanen fra kjemi 1 (LK06) knyttet til stoffmengde og mol.

| Hovedmål/grunnleggende ferdighet                                     | Kompetansemål   |
|--|---|
| <b>Grunnleggende ferdighet:</b><br><b>Å regne</b>                    | Å kunne regne i kjemi innebærer å beregne stoffmengder, konsentrasjoner og pH, og vurdere svarene. Det betyr å bruke, bearbeide og tolke formler, modeller og ulike typer data, og å løse likninger |
| <b>Kompetansemål under hovedområdet:</b><br><b>Språk og modeller</b> | Mål for opplæringen er at eleven skal kunne sette opp reaksjonslikninger med tilstandssymboler og bruke reaksjonslikninger i beregninger med stoffmengde  |
| <b>Kompetansemål under hovedområdet:</b><br><b>Vannkjemi</b>         | Mål for opplæringen er at eleven skal kunne lage løsninger med ulike konsentrasjoner ved hjelp av innveing og fortynning  |

I læreplanen fra 1996 (tabell 1.3) er det klare mål om at eleven skal beregne atommasse, formelmasse, molar masse, stoffmengder i reaktanter og produkter samt kunne lage løsninger med bestemte konsentrasjoner. I den nåværende læreplan (tabell 1.4) står det, i kompetansemålene, at elevene skal utføre beregninger med stoffmengde i reaksjonslikninger og kunne lage løsninger med ulike konsentrasjoner. Til forskjell fra læreplanen fra 1996 er det ikke presisert hvilke beregninger eleven skal kunne utføre. I den grunnleggende ferdigheten å regne, finner vi noen presiseringer, men de er ikke spesifisert på samme måte som den forrige lærerplanen.

Jeg tok utgangspunkt i ovenstående kompetansemål da jeg utformet konkrete mål for undervisningen som skulle ligge til grunn for undervisningsopplegget om molbegrepet. Disse målene er beskrevet i delkapittel 3.2.

Som nevnt gir læreplanen stor frihet til lærebokforfattere og lærere å velge fagstoff og presentasjonsform for på best mulig måte å nå kompetansemålene. Denne friheten vil være en utfordring for de som får ansvar for å lage felles oppgaver til sentralgitte eksamener.

Erfaringsmessig vil sentralgitte prøver og eksamener etter hvert være styrende for både utvalg og presentasjonsform. I denne sammenheng er det interessant å se på hvordan ulike lærebøker har presentert lærestoffet som omhandler innlæring av stoffmengde og molbegrepet.

### 1.3.6 Presentasjoner av mol og stoffmengde i norske lærebøker

I dette kapittelet vil jeg gi en oversikt over hvordan mol og stoffmengde blir presentert i noen norske lærebøker fra perioden 1965 -2010 (tabell 1.2). Dette er på ingen måte noen fullstendig oversikt, men den vil gi innblikk i hvordan lærebokforfattere framstiller molbegrepet. Deretter kommenterer jeg hvordan begrepene stoffmengde og mol blir presentert i de tre norske lærebøkene i programfaget kjemi som er laget etter reform LK06. Utvalget av lærebøker ble i hovedsak foretatt på bakgrunn av hvilke bøker som var tilgjengelig gjennom BIBSYS.no. Det ble lagt vekt på å få lærebøker som opprinnelig ble skrevet før IUPAC sin definisjon av mol og de nye lærebøkene som er laget med utgangspunkt i LK06.

Som beskrevet i delkapittel 1.2 var det flere betydninger av molbegrepet før IUPAC sin definisjon kom i 1967. Jeg har valgt å gjengi dem her. I følge Dierks (1981) var det før 1957 tre ulike betydninger av ordet mol. Disse tre betydningene var: Mol var en individuell enhet for masse, mol var en mengde som inneholdt Avogadros tall og mol ble brukt synonymt med Avogadros tall. I 1961 ble mol definert av Gluttenberg på følgende måte: Mol er stoffmengden som inneholder samme antall av entiteter (atomer, ioner, molekyler etc.) som antall atomer inneholdt i 12 gram  $^{12}\text{C}$ . Gluttenbergs definisjon er i samsvar med den ene betydning av molbegrepet gitt av Dierks: mol var en mengde som inneholdt Avogadros tall. I den nåværende definisjon som kom i 1967 og som ble tatt opp i SI-systemet i 1971, er mol definert slik: Et mol er stoffmengden til et system som inneholder like mange elementære entiteter som det er karbonatomer i 0.012 kilogram  $^{12}\text{C}$ ; symbolet er "mol". Når enheten nyttes, må elementærentitetene spesifiseres. Entitetene kan være atomer, molekyler, ioner, elektroner, andre partikler, eller spesifiserte grupper av slike partikler (<http://snl.no/SI/enhetssystem>). Jeg har valgt å undersøke om mol er brukt som i eldre definisjoner eller om mol er definert i samsvar med IUPAC. I tillegg har jeg sett på om lærebøkene presenterer mol som en enhet i SI-systemet. For å gi en oversikt over hvordan molbegrepet og stoffmengde presenteres i lærebøkene, har jeg valgt å sette opp en tabell med utgangspunkt i de fire ulike versjonene av betydningen av begrepet mol som ble beskrevet (se tabell 1.5). Tabellen inneholder tall som referer til sitater fra lærebøkene og stjerner som refererer til bemerkninger til presentasjoner i lærebøkene.

Tabell 1.5: oversikt over hvordan mol og stoffende blir presentert i noen norske lærebøker

| Bok                             | Mol brukes synonymt med antall partikler eller Avogadros tall | Mol brukes synonymt med masse eller molar masse | Mol brukes som en mengde som inneholdt Avogadros tall. (Gluttenbergs definisjon) | Definerer mol slik som IUPAC har definert mol. | Presenterer stoffmengde som en størrelse i SI-systemet med enheten mol |
|---------------------------------|---|---|--|--|--|
| Bruun (1965, s. 58)             | nei   | ja, 1)  | Nei  | nei *  | nei *  |
| Bruun (1971, s. 15)             | nei   | ja 2)   | Nei  | nei *  | nei *  |
| Fløttre (1997, s.112)           | ja 3)   | nei   | Nei  | nei  | ja   |
| Grønneberg et al (1997, s.130)  | nei   | nei   | Nei  | nei **   | ja   |
| Reistad et al (1997, s. 89)     | nei   | nei   | ja 4)  | nei  | ja   |
| Berit Storm (1998, s.27 og 28)  | Ja 5)   | nei   | Nei  | nei  | nei  |
| Brandt og Hushovd (1997, s.71)  | nei   | nei   | ja 6)  | nei  | ja   |
| Steen et al (2010, s. 88)       | ja 7)   | nei   | Nei  | nei  | nei  |
| Grønneberg et al (2007)         | nei   | nei   | Nei  | Nei 8)   | ja   |
| Brandt og Hushovd (2010, s. 87) | ja 9)   | nei   | Ja 6)  | nei  | ja   |

Sitater referert i tabellen:

- 1) Et mol er et grammolekyl (gmol). Et grammolekyl av et stoff er vekten i gram som svarer til molekylvekten
- 2) Et mol av et stoff er den masse av stoffet som inneholder like mange partikler som Avogadros tall sier: {N} lik  $6,02 \cdot 10^{23}$  partikler (atomer, molekyler, elektroner, ioner eller partikler).
- 3) ..vi kan bruke  $6,0 \cdot 10^{23}$  som enhet. Da kaller vi enheten mol. Et mol er stoffmengden av karbonatomer i eksakt 12g av  $^{12}\text{C}$ . (men kommenterer senere at mol er proporsjonal med avogadroskonstanten)

- 4) Et mol er en stoffmengde som inneholder like mange partikler som det er atomer i 12g karbon-12.
- 5) Et mol er det samme antallet som det er atomer i 12,0 g  $^{12}\text{C}$ . Et mol er  $6,0 \cdot 10^{23}$  enheter.
- 6) Formelenheter (atomer, molekyler, ioner). Et mol er en stoffmengde som inneholder like mange formelenheter som der er karbonatomer i 12,0g av karbonisotopen  $^{12}\text{C}$ .
- 7) Dette antall atomer kalles et mol og har navnet Avogadros tall. Det betegnes med  $N_A$  og har verdien  $6,023 \cdot 10^{23}$ .
- 8) Forklarer hva 1 mol er uten å definere mol. Forklaringen er forenelig med IUPAC sin definisjon
- 9) Stoffmengdeenheten mol =like mange som i 12,0 g  $^{12}\text{C}$ .
- 10) [... vi kan bruke  $6,0 \cdot 10^{23}$  som enhet. Da kaller vi enheten mol]

Bemerkninger referert i tabellen:

\* Ikke vedtatt ny definisjon av IUPAC ennå

\*\* Forklarer hva 1 mol er uten å definere mol. Forklaringen er forenelig med IUPAC sin definisjon

Som tabell 1.5 viser, følger ikke alle lærebøker IUPAC sine anbefalinger for definisjon av molbegrepet og flere av lærebøkene presenterer ikke stoffmengde som en størrelse i SI- systemet. Lærebøkene fra 1965 og fra 1971 bruker den gamle definisjonen av mol og identifiserer mol som masse. I noen av lærebøkene ble mol brukt synonymt med antall partikler eller Avogadros tall, mens andre bruker Gluttenberg sin definisjon fra 1961 der mol blir brukt som en mengde som inneholder Avogadros tall. Ingen av lærebøkene bruker IUPAC sin definisjon.

Det er tre norske lærebøker som er laget etter kunnskapsløftet: Steen, Fimland og Juel (2010), *Aqua*, Gyldendal forlag; Grønneberg, Hannisdal og Ringnes, 2007, *Kjemien stemmer*, Cappelen forlag og Brandt og Hushovd, 2010, *Kjemi 1*, Aschehoug forlag. I boken til Steen et al brukes mol synonymt med Avogadros tall (se 7 i tabellen ovenfor). Denne presentasjonen er ikke i samsvar med IUPAC sin definisjon. Stoffmengde presenteres ikke som en størrelse i SI-systemet med enhet mol, men det nevnes at mol er en enhet til stoffmengde. I boken til Grønneberg et al blir ikke molbegrepet definert, men forklaringen er forenelig med IUPAC sin definisjon. Stoffmengde presenteres som en størrelse i SI-systemet, men IUPAC sin definisjon av stoffmengde gis ikke. I Brandt og Hushovds bok gis en upresis presentasjon. Først settes det likhetstegn mellom mol og antall atomer i 12,0g  $^{12}\text{C}$ , en presentasjon som betrakter mol som Avogadros tall. Deretter presenteres mol likt med Gluttenbergs definisjon fra 1961, der de unnlater å ta med at mol er stoffmengden til et system, slik det er formulert i den nye definisjon. Stoffmengde presenteres som en størrelse i SI-systemet med enhet mol. IUPAC sin definisjon av stoffmengde gis ikke, men forklaringen på stoffmengden er forenelig med IUPAC sin definisjon.



I dette kapitlet har det kommet fram at mange lærebøker bruker mol slik betydningen var før IUPAC sin definisjon kom i 1967. Altså bruker flere bøker molbegrepet etter gammel betydning (før IUPAC 1967). I det neste kapitlet vil jeg komme inn på ulike læringsteorier og se på hvordan en feilaktig begrepsoppfatning kan ha betydning for elevenes bruk av mol i støkiometriske beregninger.

## **DEL 2 LÆRING OG VANSKELIGHETER MED LÆRING I KJEMI OG NATURFAG**

Dette kapittelet omhandler ulike typer læringssyn og vanskeligheter knyttet til det å forstå naturvitenskapelige begreper. I det første delkapittelet vil jeg ta for meg grunnlaget for ulike typer læringssyn med utgangspunkt i utviklingspsykologien. Utviklingspsykologien omhandler teorier om hvordan barn lærer og har derfor betydning for hvordan undervisningen bør legges opp for at elevene skal lære å forstå begreper i naturvitenskapen. Utviklingspsykologien er grunnlaget for både et sosiokulturelt læringssyn og et konstruktivistisk læringssyn. Konstruktivismen har vært brukt av naturfagdidaktikere særlig på 1990- tallet (Ringnes 1993, s. 24). I dag er det sosiokulturelle synet på læring i vinden. Jeg kommer nærmere inn på dette sosiokulturelle perspektivet i forbindelse med «Språket i kjemi» (delkapittel 2.2).

Jeg har valgt å ta for meg konstruktivismen som et eget delkapittel (2.2.3) da mange av mine begrunnelser bygger på et konstruktivistisk læringssyn. Et konstruktivistisk læringssyn ligger ofte til grunn for valg av undervisningsmetoder i naturfagene. Forskning på hverdagsforestillinger, skolelagde misforståelser og andre misoppfatninger i naturfagene bygger tradisjonelt på et konstruktivistisk læringssyn. I følge Ringnes og Hannisdal(2000) omfatter det engelske ordet «misconception» både hverdagsforestillinger og skolelagde misoppfatninger. De foreslår å bruke elevers forestillinger som et felles navn for både hverdagsforestillinger og skolelagde misoppfatninger. Når jeg omtaler disse samlet vil jeg derfor bruke uttrykket «elevenes forestillinger». Disse forestillingene vil omhandles spesielt fordi de kan være et hinder for læring. Til slutt har jeg valgt å ta for meg hvilke misoppfatninger som ofte kommer til uttrykk hos elevene vedrørende molbegrepet.

Som vi skal se, har det blitt hevdet at både elevers forestillinger og det naturvitenskapelige språket kan bidra til at mange elever ikke behersker kjemifaget og da spesielt molbegrepet. Jeg har derfor valgt å ta for meg hvordan språkbruk og misoppfatninger kan være et hinder for å forstå og lære kjemi, og da spesielt en korrekt forståelse av molbegrepet.

### **2.1 Utviklingspsykologi**

#### **2.1.1 Piagets utviklingspsykologi**

Utviklingspsykologien inneholder en rekke teorier om menneskets mentale utvikling. En viktig bidragsyter til utviklingspsykologien var sveitsiske Jean Piaget. Han utga en rekke bøker og langt

flere artikler fra tidlig på 1920-tallet til sin død i 1980. Piaget hentet inspirasjon fra biologien og brukte tilpasning mellom individ og samfunn som grunnlag for å fremsette teorier på det erkjennelsesmessige plan. Hans teori om utvikling tar utgangspunkt i at vi tolker og vurderer alt som hender rundt oss. Våre gamle oppfatninger revurderes når vi blir konfrontert med nye teorier, og våre mentale strukturer vil tilpasse seg den nye kunnskapen slik at nye strukturer dannes.

Piaget differensierte mellom to aspekter når det gjelder barns utvikling. Det ene er selve prosessen, det andre er resultatet av prosessen. Prosessen beskriver hvordan samhandlingen foregår og hva som skjer i barnets indre. Resultatet av prosessen er det som vi kjenner som Piagets stadieteori, tanken om at barns utvikling foregår i stadier, og det er det jeg skal konsentrere meg om her. Piaget mente barns psykiske utvikling var forskjellig i ulike perioder og kunne beskrives i fire stadier; det sensomotoriske, det pre-operasjonelle eller intuitive stadiet, det konkret-operasjonelle stadiet og det formelt-operasjonelle stadiet. Stadiene følger etter hverandre og kan ikke hoppes over. Det første stadiet danner barnet mellom ca.0-2 år. Barnet kan utføre handlinger som å gripe, krabbe og bite, det vet ting eksisterer selv om de ikke kan se det, de har indre forestillinger om objekter, men mangler sammenhenger mellom dem, de kan imitere og har evnen til symbolisering. Det andre stadiet danner barnet mellom ca.2-7 år. I dette stadiet får barnet overført handlingene på det mentale planet, barnet utvikler språk, men språket har etter Piagets oppfatning kun mening om det knyttes til operative strukturer. Skjemaene er knyttet til ytre stimuli og barnet er ikke i stand til å knytte ulike skjemaer sammen på det mentale nivå. De to siste stadiene omhandler barn i skolealder. Det tredje stadiet, det konkret-operasjonelle utvikler seg hos individet mellom ca.7 -11 år. Barnet er i stand til å se flere dimensjoner i sammenheng, men fortsatt krever tenkingen ytre stimuli. Med det mener Piaget at barnet må knytte resonnementer til noe observerbart. Forståelse for konstantbegrepet gjør det mulig for eleven å forstå tallbegreper og regneoperasjoner som pluss og minus. I denne perioden utvikles evnen til å klassifisere og serieordne. Det siste stadiet, det formelt-operasjonelle stadiet, utvikles hos barnet fra ca.11 år. Tenkingen krever ikke lenger ytre stimuli, strukturene står på egne bein. Ideene trenger ikke å ha fotfeste i virkeligheten. Barnet er i stand til å tenke hypotetisk-deduktivt, med abstrakte modeller, med proporsjonalitet, med kontroll av variabler med mer. Ifølge stadieteorien forutsettes det at de fleste ungdommene behersker dette stadiet, noe som har vist seg å ikke være tilfelle. Stadiet krever tankeprosesser som kommer til anvendelser i naturvitenskapen og flere lærebøker forventer at elevene mestrer operasjoner på dette stadiet. (Imsen 2005 s. 241, Sjøberg 2004 s. 267, Driver, Asoko, Leach, Mortimer og Scott 1994).

På 1970- og 1980-tallet ble det utført en rekke tester for å kategorisere elever etter Piagets stadier. Engelskmannen Michael Shayer regnes som en foregangsmann når det gjelder bruk av Piagets

stadier i naturfagdidaktikk (Sjøberg 2004, s. 269). Han laget spesielle tester for å undersøke både lærebøker og elevgrupper i forhold til Piagets nivåer. En undersøkelse gjort i England av Shayer i 1970-årene viste at kun 20% av 15 år gamle elever behersket formelt-operasjonell tenking, mens nesten alt lærestoffet i lærebøkene i naturfag krevde at elevene behersket slike tankeoperasjoner (Sjøberg 2004 s. 269). Tilsvarende undersøkelser er gjort i Norge (Svein Sjøberg 1979 og 1982 referert i Sjøberg 2004). Han registrerte at lærebøkene i stor grad overvurderte elevenes evne til abstrakt tenking. Andre tester gjort av Mansoor Niaz i Venezuela viste at elever startet på universitetet uten å ha nådd det formelt-operasjonelle nivået (Niaz 1985). Resultatene til Niaz viste at 80% av første års universitetsstudenter opererte på konkret-operasjonelt nivå og kun 3,5% på formelt-operasjonelt nivå. Analysen av disse undersøkelsene konkluderte med at skolens naturfag var for abstrakt og intellektuelt krevende for de aller fleste (Sjøberg 2004, s. 270). Elevene maktet å komme seg gjennom det krevende stoffet ved å utvikle spesielle teknikker slik at de kom frem til riktig svar uten egentlig å ha forstått innholdet. Flere uttrykte at manglende forståelse kunne tildekkes gjennom innstuderte løsningsalgoritmer. Noen forskere hevdet til og med at studentene kunne komme gjennom et universitetsstudium uten egentlig å måtte vise formelt-operasjonell tankegang. Det ble derfor konkludert med at det var liten vits i å presse naturvitenskaplig lærdom på elever som ikke utviklingsmessig er i stand til å forstå innhold og tankegang (Sjøberg 2004, s. 270).

Det har senere kommet kritikk mot både Shayer og de definerte stadiene til Piaget. Flere undersøkelser viste at stadiene ikke kan forstås uavhengig av både faglig innhold og sosial kontekst. Både barn og voksne kan vise formelt-operasjonell tenkning på ett område, men mestrer det ikke på andre områder. Små endringer i innhold eller kontekst kan medføre store endringer i tilnæringsmetodene. De fleste mennesker kan enkelte ganger vise konkret-operasjonell tenking mens de andre ganger bruker formelt-operasjonell tenking. De ulike stadiene er ikke absolutte, og elever kan operere på ulike nivå på forskjellige områder (Imsen 2005 s. 244, Sjøberg 2004 s.289 ). Som Sjøberg sier kan Piagets stadieteori bidra til å klargjøre at visse tankeprosesser er mer krevende enn andre: tenking med abstrakte modeller, kontroll av variabler og forståelse av proporsjonalitet er eksempler på slike krevde prosesser.

Innenfor kjemi, og da også spesielt innenfor støkiometri, regnes det av flere som nødvendig å beherske tankeprosessene på formelt-operasjonelt nivå for å lykkes. En studie gjort i USA av Krajac og Honey (1987, referert i Larsen 1997) gikk ut på å undersøke High-School elever sine evner til resonnering og forståelse innenfor kjemifaget. Krajac og Honey konkluderte med at den formelt-operasjonelle forståelsen er direkte knyttet til det å lykkes i faget. Kjemifaget inneholder mange tegn og symboler, og det har vist seg at elever som opererer på det konkret-operasjonelle stadiet

ikke klarer å løse oppgaver som er på rent symbolsk nivå (Scott, Asoko og Leach 2007 ). Eksempel på en slik oppgave kan være å balansere en reaksjonslikning med kjemiske symboler eller bare det å forstå hva som ligger i en kjemisk formel. Slike oppgaver krever at eleven kan tenke abstrakt, tenke uten å knytte kunnskapen til noe visuelt. For å bruke reaksjonslikningen i en støkiometrisk oppgave må eleven i tillegg ha evnen til å gjøre beregninger med proporsjonalitet og ha kontroll over variabler. Dette hører også med til det formelt-operasjonelle stadiet.

Til nå har jeg sett på hvordan barn utvikler seg ut fra Piagets utviklingspsykologi og hvordan dette kan sees i sammenheng med læring og vanskeligheter knyttet til læring. Jeg vil nå gå inn på hvordan man kan se barns utvikling og læring ut fra Vygotskys utviklingspsykologi.

### **2.1.2 Vygotskys utviklingspsykologi**

I klasserommet foregår læringen i en sosial sammenheng. Elevene har dialog både med lærer og medelever. Det er derfor vanskelig å se på læring uten å ta hensyn til den konteksten læringen foregår i. Derfor vil jeg si noe om et læringssyn som tar utgangspunkt i at læring er en sosial prosess. Grunnet for dette synet bygger på Lev Vygotskys (1836-1934) utviklingspsykologi. Vygotsky var en russisk-jødisk psykolog som virket fra 1915 til 1934. Han er kjent for teorien om menneskets sosiokulturelle utvikling, der menneskets personlighetsdannelse kontinuerlig er bestemt av sosiale og kulturelle prosesser. Han ser på læring som en sosial prosess der språket er svært viktig. (Leach og Scott 2003). Språket er selve verktøyet for individuell tenking i Vygotskys lære. Vygotsky mente at individuell bevissthet bygges ut fra relasjoner med andre og videre at høyere intellektuelle funksjoner hos mennesket sees som resultat av dette. Dette innebærer at elevenes intellektuelle utvikling og tenking må ha utgangspunkt i sosial aktivitet. Når elevene mester den sosiale aktiviteten, vil de etter hvert kunne være i stand til å utføre oppgavene på egen hånd. Alle har et potensiale til å utvikle seg videre, og det er i samhandling med andre det kan skapes utvikling på det individuelle plan. Vygotsky skiller mellom det eleven kan klare å gjøre alene, og det eleven har mulighet til å lære med hjelp og støtte, det potensielle utviklingsnivået. Det potensielle utviklingsnivå kan eleven kun nå ved å få hjelp fra en som er kommet lenger i utviklingsprosessen og som kan mer enn eleven som skal lære. En slik person kalles en medierende hjelper. Forskjellen mellom det eleven klarer å gjøre alene og det potensielle utviklingsnivået kalles den «proksimale utviklingssonen», et begrep som er sentralt i Vygotskys utviklingspsykologi. Den medierende hjelperen vil, gjennom å bruke språket aktivt og gi adgang til diskusjoner, støtte opp om elevens kunnskapskonstruksjon. Når språklige tegn trekkes inn i forholdet mellom stimulering og handling kalles det mediering. En forutsetning for at kunnskapen utvikler seg fra det sosiale til det

individuelle er at andre personer fungerer som medierende hjelpere. Språket danner derfor grunnlaget for den selvstendige tenkingen og den intellektuelle utviklingen til eleven (Imsen 2005, s. 264-260)

Læring vil ut fra et sosiokulturelt læringssyn skjer gjennom sosiale interaksjoner mellom individer eller individuelle interaksjoner mellom kulturelle produkter som bøker, media eller andre kilder (Scott og Leach 2003). Bruk av språket i både muntlig og skriftlig sammenheng vil ha innvirkning på læring. Fra å se på hvordan språket har stor betydning for læring ut fra et sosiokulturelt læringssyn, vil jeg nå gå inn på hvordan språket påvirker elevens læring slik det fremstår i naturfagene og da spesielt i kjemi.

## **2.2 Språket i kjemi**

Språket er en viktig del av vår kultur. Mange ord fra dagliglivet benyttes i det naturvitenskaplige språket. Elevenes hverdagspråk er ofte godt festet i hukommelsen gjennom mange år. Flere av naturvitenskapens begreper brukes i hverdagssammenheng og betydningen av ordene slik de brukes i dagligtale samsvarer ofte ikke med naturvitenskapelig definisjon og bruk. Derfor har mange ord og uttrykk et annet meningsinnhold for elevene før de møter disse som definerte begrep i undervisningen. Slike ord kan være substantiver som gass, lys, varme og lyd eller verb som lyse, smelte, fryse og varme (Maagerø og Skjelbred 2010). Disse ordene har ofte en mening for eleven før han/hun møter til undervisning. Dette er i følge Maagerø og Skjelbred krevende fordi eleven allerede har festet en mening til ordet. Det betyr at elevene må kunne lære seg å skille mellom dagliglivets betydning og den faglige betydningen av ordet og være i stand til transformering av ordene.

Et uttrykk som vi ofte hører er at «batteriet er tomt for strøm». I det naturvitenskaplige språket blir dette helt feil. Batteriet inneholder ikke strøm og kan derfor ikke være tomt for strøm. I det vitenskapelige språket vil man si at «batteriet er utladet». Ordets mening skifter med konteksten, hverdagens kontekst og faglig kontekst. I følge Sjøberg er det viktig å argumentere for nødvendigheten av et høyere presisjonsnivå når situasjonen krever det og nødvendigheten av ulike språk i forskjellige sammenhenger (Sjøberg 2004 s. 292).

I kjemien finner vi både trivialnavn og systematiske navn for samme forbindelse. Et eksempel på dette er eddiksyre med det systematiske navnet etansyre. Ringnes og Hannisdal(2000) poengterer at det er viktig å assosiere etansyre med eddiksyre og for å knytte kjemien til dagliglivets arena.

Spesialisert terminologi som inneholder andre ord enn dagliglivets språk og som kun er knyttet til vitenskapelig kontekst har ikke noen mening for eleven før han/hun møter til undervisning i skolen.

Slike ord kan være substantiv som pendel, reagensrør eller verb som divergere, simulere og assimilere eller adjektiv som elektrisk, konstant, geometrisk. (Maagerø og Skjelbred 2010 s.78). Kjemi har svært omfangsrik terminologi. For å unngå tolkning av teksten kreves det en presis og nøyaktig fremstilling, og fagterminologien er med på å bidra til øke presisjonen i tekster (Maagerø og Skjelbred 2010, s. 78).

I kjemien møter elevene nye begreper som kun brukes i naturvitenskapen, slik som kovalente bindinger, atommasse, protoner mm. Disse ordene har ingen mening for eleven i hverdagslivet og er i følge Barke, Hazari, Yitbarek (2009) mindre problemorientert enn de som er felles med hverdagsspråket. Men Barke, Hazari, Yitbarek (2009, s. 26) poengterer at nye begreper må knyttes til eksisterende begreper for å inngå i en kognitiv struktur og at det er viktig å repetere og styrke de nye begrepene for at elevene skal huske dem. Hvis eleven ikke forstår fagterminologien, vil teksten oppleves som meningsløs for eleven (Maagerø og Skjelbred 2010, s. 77).

Også andre ikke-faglige abstrakte ord eller akademiske ord kan gjøre at tekster blir meningsløse for eleven. Slike ord kan være uttrykk som « i forhold til» og «i forbindelse med» eller verb som konkludere og belyse eller adjektiv som relevant og karakteristisk (Maagerø og Skjelbred 2010, s. 85). Anne Golden (referert i Maagerø og Skjelbred 2010) peker på at ordforrådet til elevene er ulikt og at det har innvirkning på forståelsen av fagtekster.

Kjemi er et fag rikt på symboler. Disse og annen fagterminologi er ofte et problem for elevene. Det har blitt hevdet at det å skille mellom stoffer, partikler og kjemiske symboler er vanskelig (Barke, Hazari, Yitbarek 2009, s.26). Ringnes og Hannisdal (2000,s. 58-59) sammenligner det å lære kjemiens språk med å lære seg et fremmedspråk. De sammenligner blant annet kjemiens grunnstoffsymboler med det å lære seg bokstaver. Grunnstoff-symboler og indekser som settes sammen til formler og molekyler sammenlignes med det å lage ord av bokstaver. Kjemiske likninger sammenlignes med setningsbygning.

I følge Ringnes og Hannisdal (2000,s. 60) bør læreren legge til rette for at elevene forstår sammenhengen mellom norske ord og de kjemiske fagord. Det å skrive en balansert reaksjonslikning krever at elevene klarer å skrive korrekte formler for produktene og utgangsstoffene. En undersøkelse gjort av Smith (1990, referert i Barke, Hazari, Yitbarek 2009, s. 127) viser at også dekomponering av formler og det å finne riktige forholdstall mellom ioner kan være vanskelig for eleven. For å kunne anvende det kjemiske språket må eleven vite hva koeffisientene og indeksene betyr. Videre hevder Ringnes og Hannisdal at betydningen av koeffisientene bør poengteres, og det

må illustreres på en slik måte slik at elevene skjønner at det er forholdstall og ikke eksakte tall. (Ringnes og Hannisdal 2000,s. 66).

Noen begreper i kjemien er «dobbelbegreper». Med det mener jeg at begrepet kan beskrives på både makro- og mikronivå. Grunnstoff er et slikt begrep fordi det kan defineres både på makro- og på mikronivå. Et eksempel er hydrogen. På makronivå kan vi si at hydrogengass,  $H_2$ , er et grunnstoff. På mikronivå kan vi si at hydrogengassen er bygd opp av hydrogenmolekyler og at hydrogenmolekylene består av to hydrogenatomer. Men hydrogenmolekylene og hydrogenatomet er fortsatt et grunnstoff. Begrepet grunnstoff er derfor et begrep som kan brukes på begge nivåer. (Ringnes og Hannisdal 2000 s. 82). Slike dobbeltbegreper kan gjøre det vanskelig for elevene, fordi elevene ofte har problemer med å skille mellom makronivå og mikronivå i kjemien. Undersøkelser gjort av Ringnes (1993) viste at elevene fant det vanskelig å skille mellom makro- og mikronivå. Vanskeligheter knyttet til makro- og mikronivå blir utdypet i delkapittel 2.4 som omfatter misoppfatninger i kjemi

Historiske fakta og samfunnsrelaterte emner kan trekkes inn i undervisningen for å hjelpe elevene til å knytte assosiasjoner til den nye terminologien. Som jeg kommer tilbake til i del 2.4 vil undervisning som legger vekt på den historiske bakgrunnen for kjemiske begrep og symboler hjelpe elevene til en bedre forståelse (Padilla og Furio-Mas 2007).

## **2.3 Konstruktivismen**

I dette delkapittelet vil jeg ta for meg ulike typer konstruktivisme. Konstruktivisme er både en teori som handler om hva kunnskap er og en teori som forteller oss hvordan læringen skjer. Det finnes ulike teorier som sier noe om hva kunnskap er. I denne oppgaven vil jeg vil ta for meg konstruktivisme som læringsteori.

Felles for alle typer konstruktivisme er at læring er en aktiv prosess og at kunnskap ikke kan overføres passivt, men må konstrueres av eleven selv i løpet av den læringsprosessen han/hun gjennomgår (Quale 2004). Innenfor konstruktivisme som læringsteori kan vi skille mellom kognitiv konstruktivisme og sosial konstruktivisme. Den kognitive konstruktivismen ser på læring som en individuell prosess der læringen skjer i samspill mellom eleven og omgivelsene. Denne blir ofte omtalt som personlig eller individuell konstruktivisme. Som nevnt er Piaget prototypen for dette synet, og det er det individuelle læringssynet som ligger til grunn for denne læringsteorien. Jeg vil nå utdype hva som ligger i den kognitive konstruktivismen og sosial konstruktivisme.



### 2.3.1 Kognitiv konstruktivisme

Som vi har sett kan menneskets kognitive egenskaper, fornuft og intelligens, organiseres i skjemaer definert av Piaget. Disse skjemaene kan endres gjennom vekselvirkning med omgivelsene. Når skjemaene endres kalles det adopsjonsprosess. Det er i følge Piaget to måter å endre skjemaene på; gjennom assimilasjon eller akkomodasjon. Når ny kunnskap er forenelig med det vi allerede vet og passer inn i eksisterende skjema, vil nye inntrykk tas opp i den eksisterende strukturen. Det kalles assimilasjon. Når ny kunnskap ikke er forenelig eller ikke passer inn i det eksisterende skjemaet, må strukturen endres og skjemaene reorganiseres og utvides. Tidligere kunnskaper og erfaringer må omorganiseres for at ny kunnskap skal kunne assimileres. Denne prosessen kalles akkomodasjon, og det er denne endringen vi kaller læring. (Sjøberg 2004, s. 263, Imsen 2005, s. 232). Piagets teorier er ofte brukt som grunnlag for å forklare elevens ervervelse av ny kunnskap gjennom referanse til assimilasjon og akkomodasjon.

Selve læringsprosessen kan beskrives som en tretrinnsprosess (Imsen 2005 s. 210 og Ringnes og Hannisdal 2000, s.187). Tretrinnsprosessen går ut på at eleven sanser, bearbeider inntrykkene og lagrer dem. Slik beskriver Ringnes og Hannisdal denne prosessen: «Elevens inntrykk bearbeides i et korttidsminne der de tolkes, omorganiseres og sammenholdes med informasjon som hentes ut fra et langtidsminne - hukommelsen. Hvis den bearbejdede kunnskapen gir mening, lagres den i langtidsminnet, og resultatet blir da en endring i den kognitive strukturen for begrepet».

Et konstruktivistisk syn på læring fører ofte til at læringsprosessen tar utgangspunkt i fysiske erfaringer. Disse erfaringene kan danne en kognitiv konflikt som vil oppfordre eleven til å utvikle nye skjemaer som er tilpasset de nye erfaringene. Ofte er det praktiske aktiviteter støttet av gruppediskusjoner som er kjernen i slik pedagogisk praksis (Driver, Leach and Mortimer 1994). Lærerens rolle er da å hjelpe eleven til å skaffe seg disse erfaringene og oppfordre til refleksjon. Slike konstruktivistiske arbeidsformer blir ofte kalt "learning by doing", hvor eleven arbeider problemorientert, undersøkende og til dels selvstendig (Jfr John Dewey referert i Imsen 2005, s. 325).

Naturfagdidaktikk har i hovedsak blitt bygget på et konstruktivistisk læringssyn (Ringnes og Hannisdal 2000, s. 183). Som nevnt er hovedtanken bak konstruktivismen at alle mennesker lager sine egne forestillinger og konstruerer mentale modeller av sin sosiale og fysiske virkelighet. Fordi konstruktivisme legger vekt på at personen som skal lære er aktiv, så er elevens egen konstruksjon av kunnskap viktig. Scott, Asoko, Leach (2007) hevder at flere forskere mener at vår evne til logisk tenking vil være sterkt avhengig av den spesielle kunnskap og erfaring vi har på ulike felt og at det

derfor er viktig at hvert enkelt individ får muligheten til å konstruere kunnskap ut fra egne erfaringer og de utfordringer som læreren legger til rette for. Når ny kunnskap ikke passer inn i eksisterende skjema, må eleven omstrukturere tidligere kunnskaper og skjemaene endres. Det vises i denne forbindelse et sitat fra Ringnes og Hannisdal (2000 s. 184): «[...]Læring vil derfor innebære både en utvidelse, en ombygging og en omstrukturering av elevens til en hver tid kognitive struktur».

Ofte er det vanskelig for eleven å gi slipp på tidligere etablert kunnskap slik at den nye kunnskapen kan etableres i nye skjemaer. Mange elever har forestillinger om naturfenomener som ikke er i samsvar med rådende vitenskapelige forklaringsmodeller og teorier. Både Sjøberg (2004, s. 295) og Barke, Hazari, Yitbarek (2009, s. 28) uttrykker at det er viktig å kjenne til at elevene har egne forestillinger, vite noe om disse, og ha strategier som kan bidra til at eleven utvikler eller forkaster det de har med seg. Ut fra et konstruktivistisk læringssyn vil man være opptatt av hvordan eleven kan forkaste de gamle strukturene og lage nye strukturer som samsvarer med elevens nye erfaringer. Dette utdyper jeg i misoppfatninger i kjemi.

### **2.3.2 Sosial konstruktivisme**

Sosial konstruktivisme tar utgangspunkt i at læringen foregår i en sosial kontekst der språk og kultur bidrar til vår forståelse. Denne læringsteorien støtter seg til Vygotskys teori som la stor vekt på språkets betydning. Derfor har Vygotsky ofte blitt omtalt som en sosial konstruktivist (Imsen 2005 s39). Et sosialkonstruktivistisk læringssyn innebærer at læringen skjer ved at eleven blir introdusert for en symbolsk verden med begreper, symboler og tradisjoner innenfor vitenskapssamfunnet. Kunnskapen konstrueres gjennom kommunikasjon med andre. (Scott, Asoko and Leach 2007). Vygotsky pedagogiske teori om barns kognitive utvikling teori beskrevet i kapittel 2.1.1 omtales som sosiokulturell læringsteori.

Kunnskapen eleven har ervervet, og organiseringen av kunnskapen som et nettverk av konstruksjoner, omtales i de konstruktivistiske tradisjonene som elevens kognitive struktur. Konstruksjonen av kunnskap kan sees på som en individuell prosess, en sosial prosess eller begge deler. Både individuell og sosial konstruktivisme påpeker at eleven må bygge på egne erfaringer og kunnskaper under læringsprosessen. Elevene møter til undervisning med varierende bakgrunnskunnskap og elevenes tidligere erfaringer kan ha stor innvirkning på ny læring (Leach og Scott 2003). Elevers tidligere forestillinger kan føre til at elevene har andre forestillinger enn det som akseptert av vitenskapen i dag. Jeg vil nå ta for meg elevers forestillinger som omfatter både hverdagsforestillinger og misoppfatninger dannet på skolen.

## 2.4 Elevenes forestillinger i kjemi og naturfag

Barn og unge danner seg forestillinger om naturen og deres omgivelser ut fra egne erfaringer, holdninger og bakgrunn. Mange av elevenes forestillinger om naturen er i overensstemmelse med naturvitenskapens teorier og prinsipper, mens andre forestillinger ikke er forenelig med disse teoriene.

Hverdagsforestillinger og misoppfatninger er forestillinger som ikke samsvarer med dagens naturvitenskaplige forståelse av verden. Hverdagsforestillinger dannes før elevene får undervisning om emnet i skolen. Misoppfatninger er i denne sammenheng forestillinger som dannes gjennom undervisningen i skolen.

Personlige forestillinger om naturen som er i uoverensstemmelse med naturvitenskapens teorier og prinsipper kan være til hinder for læring (Barke, Hazari, Yitbarek 2009, s. 2). Ut fra et sosiokulturelt syn vil språket definere og forsterke vår måte å tenke på i en sosial arena og det vil derfor være svært vanskelig å endre på de alternative forestillingene (Scott, Asoko and Leach 2007).

Som nevnt tidligere vil læring ut fra et konstruktivistisk læringssyn, innebære både en utvidelse, en ombygging og en omstrukturering av elevens kognitive struktur. Elevenes tidligere kognitive strukturer vil påvirke hvordan eleven klarer å tilpasse den nye kunnskapen slik at den gir en mening. Siden elevene konstruerer egne forklaringsmodeller vil disse ofte være forskjellig fra etablert teori presentert av læreren (Driver, Asoko, Leach, Morteimer og Scott 2004 ).

Forklaringsmodellene som elevene danner seg kan være rene misforståelser, alternative modeller, direkte gale forestillinger eller andre helt personlige modeller av virkeligheten.

Selv om lærere er kompetente og kvalifiserte, hender det ofte at elevene sitter igjen med ubesvarte spørsmål og mer eller mindre uforklarte sammenhenger som ikke er skikkelig forstått. Det kan føre til at elevene danner seg misoppfatninger. Men selv om nye begreper er forklart og eleven har forstått hvordan ting henger sammen, kan elevene lett bli påvirket av andre elevers misoppfatninger og tidligere godt rotfestede forklaringer slik at de faller tilbake til gammel oppfatning av begrepene. I følge Barke, Hazari, Yitbarek (2009, s. 29) vil undervisning som ikke tar hensyn til elevers «før-forestillinger» føre til at ny kunnskap gradvis blir glemt og at eleven faller tilbake til sin gamle etablerte forklaringsmodell. De hevder at endring av elevenes forklaringsmodeller ut fra et konstruktivistisk læringssyn kun kan skje hvis følgende betingelser oppfylles:

- Individet må få mulighet til å konstruere sin egen kunnskapsstruktur
- Hver elev må få mulighet til aktiv læring

- Det legges til rette for begrepsmessig utvikling gjennom assimilasjon
- Det legges til rette for begrepsmessig endring gjennom akkomodasjon

En begrepsmessig endring vil ut fra et dette læringssynet skje hvis det dannes en kognitiv konflikt. Eleven må derfor få mulighet til å bli klar over uoverensstemmelsen mellom sin egen forklaringsmodell og gjeldende vitenskapelige forklaringsmodell. Læring bør ta utgangspunkt i barns erfaringer og føroppfatninger. Det bør bygges en bro mellom før-forestillinger og dagens vitenskapelige forestillinger (Pfundth 1975, referert i Barke, Hazari, Yitbarek 2009, s. 29).

Som nevnt i del 2.1.2 vil man ut fra et sosiokulturelt perspektiv være opptatt av språket og den sosial konteksten læringen foregår i. Eleven kan ha flere forklaringsmodeller egnet til hver sin spesielle sosiale arena. I følge Sjøberg (2004, s. 278) vil eleven kunne mestre læringssituasjonen ved å lage flere parallelle forklaringsmodeller av virkeligheten. Noen forklaringer fungerer godt i hverdagen fordi alle skjønner hva som menes i hverdagslivets sosiale setting. I naturvitenskapen møter eleven en ny symbolsk verden og begreper som har en annen betydning enn i hverdagslivet. Som nevnt under kap. 2.2 «Språket i kjemi» vil en undervisning som hjelper elevene med å forstå begrepene, symbolene og teoriene være nyttige verktøy for å kommunisere innenfor vitenskapssamfunnet. Eleven må konstruere sin egen personlig oppfatning og bruke denne på den nye kulturelle arenaen.

For at eleven skal danne seg en riktig forståelse av begrep kan man hjelpe eleven til å reflektere over det språket de bruker når de forklarer sammenhenger i naturen. Elevene har som nevnt lett for å glemme de nye forklaringene og faller ofte tilbake til gamle forestillinger. Elevene må bli klar over mangelen på samsvar mellom sine egne forestillinger og de som regnes som riktige i nåtidens vitenskapssamfunn. For å kunne forutsi hvordan elevene responderer på læringen, er det nødvendig å vite noe om den kunnskapen elevene har med seg til læringssituasjonen (Leach og Scott 2007). Hvis læreren kjenner til hvilke tidligere forestillinger og forklaringer eleven har om de spesifikke begrepene, er det lettere å legge en strategi for hvordan undervisningen kan legges opp for å hindre elevene i å danne seg misoppfatninger.

For at elevene skal bli klar over denne mangelen på samsvar, vil jeg fremheve to ulike læringsstrategier beskrevet i boken « Misconception in chemistry» av Barke, Hazari, Yitbarek (2009, s. 30). Det ene strategien går ut på at undervisningen starter med først å diskutere hvilke misoppfatninger som ofte oppstår om spesifikke begrep og deretter komme med den vitenskapelige forklaringen. Den andre strategien går ut på at man starter med å undervise om det nye

vitenskapelige begrepet og deretter sammenligner forklaringen med elevens egen forestilling eller misforståelse fra litteraturen.

Elevenes forestillinger kan ofte være de samme forestillingene og teoriene som tidligere vitenskaps-menn/kvinner har hatt (Barke, Hazari, Yitbarek 2009, s. 9). Et eksempel på dette er forbrenning. Elevene har ofte en forestilling om at noe forsvinner når et stoff brenner. Eleven har observert at asken har mindre masse enn det brennbare stoffet. Denne forestillingen kan sammenlignes med flogistonteorien som var svært sentral på 1600- og 1700-tallet (Barke, Hazari, Yitbarek 2009, s.11). Som beskrevet i del 1.1.2 var det Stahl som framsatte denne teorien og han forklarte forbrenningsprosessen ved å si at alle brennbare stoffer inneholdt flogiston som forsvant ved forbrenning. Eleven har observert det samme som de gamle vitenskapsmennene. Det er ikke riktig å si at elevens forestilling om forbrenning er feil. Han/hun har bare en annen forestilling enn den som er gjeldene i dagens naturvitenskaplige forståelse av forbrenning.

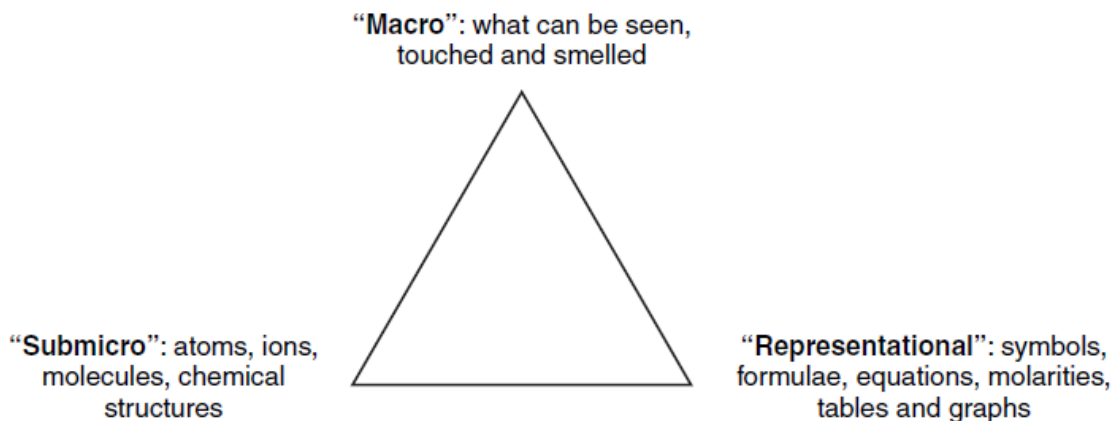
Et annet eksempel er forestillinger om transformering av stoffer. Eleven har en forestilling om at metallet kan endre egenskaper som for eksempel farge. De brunrøde kobberplatene ble grønne, den blanke sølvskjeen ble svart og den grå jernspikeren fikk en brunrød farge. Forestillingen om at stoffer kan endre egenskaper kan sammenlignes med alkymistenes tenkemåte. De mente det var mulig å transformere metaller, som å lage gull av kvikksølv.

En strategi for å hjelpe eleven med å gi slipp på sin egne teori og akseptere den teorien som nå er gjeldende i vitenskapssamfunnet, er å introdusere den historiske utviklingen av begrepene. Det kan være lettere å akseptere den nye teorien når eleven kan sammenligne sin teori med en eldre teori og få forklaring på hvorfor det har skjedd en endring av teorien gjennom historien. Molbegrepet er et nytt begrep for elevene. I kap 1.2 beskrev jeg hvordan dette begrepet ble introdusert som masse, men endret mening til å bli en enhet for stoffmengde. Flere av misoppfatningene knyttet til dette begrepet samsvarer med den historiske utviklingen av meningsinnholdet, noe jeg kommer tilbake til i neste delkapittel.

Mange skolelagde misforståelser oppstår fordi det er problemer med den spesifikke terminologien og det vitenskapelige språket. Som nevnt under «Språket i kjemi» kan det å lære seg det naturvitenskaplige språket sammenlignes med å lære seg et fremmedspråk. Å lære seg dette fremmedspråket er spesielt vanskelig fordi naturvitenskapen opererer på tre nivåer. Vi observerer og ser, vi lager modeller av virkeligheten på et nivå vi ikke er i stand til å se og vi bruker matematiske modeller for å beskrive sammenhenger.

K Johnston belyste sammenhengen mellom stoffer , partikler og kjemiske symboler i en trekant. Se figur 1. Trekanten har 3 nivåer av tankevirksomhet.

- Det makroskopiske og håndgripelige nivå.
- Det mikroskopiske nivå med atomer og molekyler.
- Representasjons- nivået der det brukes symboler og matematikk.



**Figur 1**

Figur 1 viser et kjemisk triangel i henhold til Johnstone (kopi fra Barke, Hazari, Yitbarek 2009, s. 27). Denne trekanten er også gjengitt i en av de norske lærebøkene i kjemi.

Johnsen påpeker at kun den trente kjemiker kan holde disse nivåene i balanse, mens de som er under en læringsprosess ikke har noen mulighet til å følge en slik veksling mellom nivåer. (Johnsten er referert i Barke, Al Hazari, Sileshi Yitbarek 2009, s. 27). Videre sies det at det ikke er nivåene i seg selv som gjør kjemi vanskelig å forstå, men at innlæringen nesten bestandig foregår på det mest abstrakte nivå, symbol- nivået (Gabel og Bunce 2004). En undersøkelse gjort av Ringnes (1993, s 202) viste at det var vanskelig å skille mellom makro- og mikronivå.

For å illustrere bruken av de ulike nivåene i kjemi har jeg valgt å se på reaksjonen som skjer når aluminium brenner i oksygen. Jeg har fått inspirasjon fra Ringnes og Hannisdal og laget dette eksempelet.

| Det makroskopiske   | Det mikroskopiske   | Representasjons-nivået (symbol-nivå)  |
|---|---|---|
| Grått aluminium-metall  | Aluminiumatomer i metallet, metallbinding   | Al(s)   |
| Oksyngengass  | Oksygenmolekyler  | O <sub>2</sub> (g)  |
| Aluminiummetallet reagerer med oksyngengass og det dannes aluminiumoksid. | Metallbindingen mellom atomene i aluminiums-metallet brytes og de kovalente bindingene mellom oksygenmolekylene brytes. Det skjer en elektronoverføring og vi får dannet aluminiumoksid som består av positive aluminiumioner og negative oksidioner. Og det dannes ionebindinger mellom de motsatt ladde ionene. | 2Al(s) + 3O <sub>2</sub> (g) → Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)<br>Beregning av stoffmengde, antall partikler, masse, gassvolum mm. |

I følge Gabel foregår undervisningen ofte på presentasjonsnivå. I dette tilfelle vil læreren ofte presentere reaksjonen i form av en reaksjonslikning. Hvilken betydning presentasjonsnivået har for elevenes forståelse av begrepet stoffmengde, skal vi nå se nærmere på.

## 2.5 Misoppfatninger av molbegrepet

Til nå har jeg omtalt de generelle læringsteoriene og elevenes oppfatninger generelt. I det som følger vil jeg gå nærmere inn på elevenes forståelse av molbegrepet og hvordan man kan unngå at elevene danner seg misoppfatninger om mol. Det er gjort en rekke studier knyttet til dette problemet fra ulike ståsteder. Problemet er blitt belyst fra et historisk og filosofisk perspektiv, fra et læringspsykologisk ståsted og fra elev- og lærerhold. Jeg vil ta for meg noen av undersøkelsene som er gjort for å finne ut hvilke oppfatninger elever og lærere har om molbegrepet.

Begrepet stoffmengde er i dag knyttet til masse, volum og antall elementære partikler (N), men er ikke lik noen av disse størrelsene. Bruk av begrepet stoffmengde gjør det mulig å få etablert et teoretisk meningsfylt forhold mellom den makroskopiske og den mikroskopiske verden (Furio et al 2000, Wakeley og de Grys 2000 ).

Jeg vil nå gå inn på noen av de faktorene som kan bidra til at molbegrepet er vanskelig å forstå og hvilke misoppfatninger elevene ofte danner seg rundt dette begrepet.

Jeg har valgt å ta for meg:

- Misoppfatninger knyttet til den historiske definisjonen av begrepet.
- Vanskeligheter knyttet til de matematiske regneoperasjonene i støkiometri.
- Problemer knyttet til molbegrepets abstrakte karakter.
- De vanligste misoppfatningene.

### **2.5.1 Misoppfatninger om molbegrepet knyttet til den historiske definisjonen av begrepet.**

I kap 1.2 beskrev jeg hvordan begrepet mol oppstod og hvordan det har endret sitt meningsinnhold gjennom historien. Det er en utbredt oppfatning at den historiske endringen av meningsinnholdet i begrepet mol har skapt forvirring blant lærere, elever og lærebokforfattere og at flere fortsatt bruker den opprinnelige betydningen gitt av Ostwald i år 1900 (Furio, Azcona og Guisalola 2000).

En lærer må ha god kunnskap om emnene han skal undervise i hvis han skal lykkes med sin undervisning, hevder Furio, Azcona og Guisasola (2000). I følge dem innebærer det å ha god kunnskap mer enn å kjenne til den presise definisjonen til et begrep. De hevder at man må vite hvordan begrepet er knyttet til andre begrep, vite hva som gjør det forskjellig fra dem og i tillegg kunne noe om den historiske bakgrunnen til begrepet, hvordan det oppstod og i hvilken kontekst, samt hvilke endringer begrepet har gjennomgått.

Har man god kunnskap om begrepet, vil dette kunne føre til bedre undervisning mener Padilla og Furio–Mas(2007).

Padilla og Furio-Mas 2007 hevder at:

«The knowledge of historical facts can help teachers and students to correctly appreciate a variety of scientific theories. It is important to be aware of the evolution of the basic concepts, particularly the ones students find very abstract and therefore difficult to understand. Historical knowledge of chemical concepts will allow us to understand their difficulties and make them easier to teach successfully»

For å finne ut hvordan stoffmengde og molbegrepet ble presentert i ulike lærebøker foretok Padellia og Furio-Mas en lærebokanalyse av 30 første- og andre-års collage-lærebøker fra 1980 til 2004. Bøkene er vanlige ved universiteter og flere av dem har internasjonal prestisje og brukes på universiteter. Denne undersøkelsen viste at flere lærebøker ikke forholder seg til IUPACs definisjon av begrepet (se delkapittel 1.2). Det ble brukt foreldede begreper, slik som ekvivalentvekt, som ikke



hører hjemme etter et paradigmeskifte til en ny verdensanskuelse der naturen er bygd opp av atomer.

Undersøkelsen viste at

- 90% av lærebøkene ikke hadde en klar definisjon av molbegrepet slik IUPAC har definert det.
- 33% betraktet mol som molar masse. (slik som Ostwald definerte det)
- 27% betraktet mol som molart volum av gasser.
- 93% betraktet mol som Avogadros tall.
- Kun 20% presenterte at stoffmengde er en SI størrelse med enheten mol.
- 37% brukte begrepet «kjemisk ekvivalent».

Det er ikke bare i lærebøker man finner en feilaktig oppfatning av begrepet stoffmengde med enheten mol. Mange lærere har også en feilaktig oppfatning av begrepet stoffmengde. En annen undersøkelse gjort på High School i Spania av Furio, Azcona og Guizasola (2000) gikk ut på å finne ut hvilke oppfatninger lærere har av begrepet stoffmengde og hvordan lærebøkene framstilte molbegrepet. Denne undersøkelsen viste at

- 23,4% av lærerne og 50,6% av lærebøkene ikke tok hensyn til endringen av begrepsinnholdet som kom med atom- og molekylteorien.
- 38,9% av lærerne og 50,6% av lærebøkene betraktet mol som masse.
- 44,4% av lærerne og 21,8% av lærebøkene betrakter mol som synonymt med antall elementær- partikler.

Studien konkluderer med at lærere mangler kunnskap om den historiske utviklingen av begrepet. De brukte fremdeles den originale definisjonen av molbegrepet som ble framsatt av Ostwald og tok ikke hensyn til endringen av begrepsinnholdet som kom sammen med atom - og molekylteorien i den moderne kjemien. Begrepet ble betraktet som masse eller Avogadros tall. Lærerne brukte uttrykket «antall mol» som i den operative definisjonen av begrepet og ikke stoffmengdebegrepet som IUPAC fastsatte som norm.

Cervelatti et al (1982) foretok en lærebokanalyse i Italia for å undersøke hvordan mol ble fremstilt i bøkene og utførte i tillegg en test av elevene for å finne ut hvordan de hadde forstått begrepet. Også denne undersøkelsen viste at få bøker (kun 3 av 13 lærebøker) hadde en korrekt fremstilling av begrepet i følge IUPAC. Og flere av elevene hadde en feilaktig oppfatning av begrepet og identifiserte det med masse. Dette mener Cavaletti har sammenheng med den misvisende definisjonen av begrepet som ble brukt av lærere og i lærebøkene.

Disse undersøkelsene tyder på at historisk kunnskap om kjemiske begreper vil kunne gjøre læreren mer reflektert og bevisst i sin undervisning slik at elevene får en forståelse i samsvar med etablert vitenskap. Som beskrevet i del 2.4 er det ofte slik at elevene danner seg de samme bildene og ser for seg teorier som likner på dem tidligere vitenskapsmenn og filosofer fremsatte. Barke, Hazari, Yitbarek (2009, s. 10) hevder at hvis man kjenner til hvorfor de gamle teoriene ble forkastet og grunnlaget for hvordan nye nåværende teorier ble framsatt, vil det kunne hjelpe elevene til å forkaste sin egen teori og danne nye kognitive strukturer som samsvarer med nåtidens viten.

De samme feilene som lærere gjør, finner man også i svært mange lærebøker og i mange prestisjetunge tidsskrifter som har til hensikt å synliggjøre vitenskapelige teorier for voksne (Furio et al 2000). Dette understreker hvor viktig det er at lærere har god kunnskap om de vitenskapelige begrepene og kjenner til den historiske utviklingen av disse. Cleasgens og Stacy (2003) hevder at elever som misoppfatter begrepet mol vil få problemer med å løse oppgaver som innbefatter mol.

### **2.5.2 Vanskeligheter knyttet til de matematiske regneoperasjonene i støkiometri**

Min erfaring tilsier at mange elever har vanskeligheter med å løse støkiometriske oppgaver. Flere forskere (Schmidt 1990, Staver og Lumpe 1993, Gabel og Brunce 1994) har kommet fram til at elever har vanskeligheter med å løse oppgaver innenfor kvantitativ kjemi og dermed støkiometriske oppgaver som innbefatter bruk av mol (Dori and Hameiri 1998). Dori and Hameiri (1998) sier at kvantitative problemer i kjemien inkluderer ulike matematiske manipulasjoner, slik som proporsjonalitetsregning, det å endre rekkefølgen på størrelsene og gjøre om enhetene. De sier videre at mange elever prøver å innføre en rekke algoritmiske teknikker for å løse kvantitative problemer fremfor å forstå meningen med begrepene og lage sine egne løsningsstrategier. Det hevdes at en kombinasjonen av manglende matematisk resonnering og mangel på forståelse av kjemiske begreper er hovedårsaken til vanskelighetene kjemistudenten møter når de skal løse kvantitative problemer (Dori and Hameiri (1998).

Det er gjort undersøkelser som viser at elever som har en riktig forståelse av begrepene gjør det bedre i numeriske oppgaver enn de elevene som bruker en innstudert algoritmisk fremgangsmåte (Gabel og Brunce 1994). Videre er det slik at de som har alternative oppfatninger og som ikke har dannet seg en riktig kognitiv struktur, vil velge en algoritmisk fremgangsmåte. Det er derfor ikke samsvar mellom elevens forståelse og riktig svar på numeriske oppgaver. Den algoritmisk orienterte eleven vil få rett svar på enkle gjenkjennbare oppgaver uten å skape en kognitiv struktur som korresponderer med problemet. Mange elever er ikke i stand til å løse problem på et høyere nivå

eller løse problemer som ikke er tilpasset noen av de innstuderte algoritmene som de kjenner (Zoller et al.1995).

Cervalatti et al (1982) hevder at elevenes problemer med støkiometriske oppgaver kan henge sammen med feil oppfatning av begrepet. Forskning i forbindelse med kjemididaktikk har vist at de fleste elever som lærer å bruke algoritmer til å løse kjemiproblemer mangler en fundamental forståelse for begrepene (Bodner 1991). Annen forskning er opptatt av de matematiske problemene i forbindelse med molberegninger. Det har vist seg at det er en sammenheng mellom elevenes matematikkunnskaper og beregninger knyttet til mol. Gabel og Sherwood (1984) argumenterte med at studenter som er flinke i proporsjonalitetsregning og har gode resonneringsferdigheter er flinkere til i å løse problemer knyttet til mol. Det er flere som hevder at vanskelighetene oppstår fordi de støkiometriske beregningene ofte foregår i flere steg (multistage problems) og at elevene har vanskeligheter med å bruke vitenskapelig notasjon (Gabel og Sherwood 1984). Med flersteg-oppgaver menes det at oppgavene inneholder flere regneoperasjoner etter hverandre. Elever som er matematikkyndige og har gode resonneringsferdigheter vil være flinkere i kjemi i følge Claesgens og Stacy (2003).

### **2.5.3 Problemer knyttet til molbegrepets abstrakte karakter.**

Flere studier fokuserer på den psykologiske siden ved læring av molbegrepet. Studiene går ut på å se på elevenes utvikling i forhold til blant annet evnen til å tenke abstrakt og hvordan eleven kan danne nye kognitive strukturer. Kognitive strukturer er utdypet i kapittelet 2.1.1.

En studie om molbegrepet gjort av Goodstein og Howe (1978, referert i Furi et al 2002) hadde til hensikt å se på den psykologiske siden ved innlæring av begrepet. De studerte vanskelighetene med den indre forståelsen av begrepet, og brukte Piagets utviklingsstadier som grunnlag for sine studier. De kom fram til at vanskelighetene med forståelsen av begrepet mol oppstår fordi svært få elever hadde nådd det formelt-operasjonelle nivået, noe som er nødvendig for å kunne tenke abstrakt. Som beskrevet i kap 2.1.1 viste flere undersøkelser at mange av kjemielevne ikke hadde nådd det formelt-operasjonelle nivået som var nødvendig for å tenke abstrakt. I følge Norvic og Menis (1976) må elevene ha utviklet det kognitive nivået som kreves for å forstå molbegrepet og løse oppgaver som innbefatter bruk av mol. Molbegrepet er av abstrakt karakter og har blitt sett på som en av de mest vanskelige emnene å lære (Larson 97). Ved beregninger med mol i forbindelse med laboratorieforsøk, vil observasjoner foregå på makronivå, forklares på mikronivå og deretter overføres til et operasjonelt nivå med matematiske formler og likninger. Elevene må være i stand til

å bruke abstrakte symboler og veksle mellom konkret virkelighetsforståelse og abstraksjon (Duncan og Johnstone 1973). Som beskrevet under 2.4 «Elevenes forstillinger i kjemi og naturfag» er det vanskelig å veksle mellom disse nivåene, men det er nødvendig å beherske dette for å forstå molbegrepet (Phillips 89). En studie gjort av Staver og Lumpe (1995) viste at elevene ikke behersket vekslingen mellom makro- og mikronivå når de løste støkiometrioppgaver.

#### **2.5.4 Noen andre misforståelser**

Flere studier tar for seg de bakenforliggende årsaker til at elever får en feilaktig forståelse av molbegrepet. Andre prøver å finne sammenhengen mellom forståelse av støkiometri og forståelse av molbegrepet. Dahah og Coll (2007) utførte en undersøkelse blant elever (97 deltakere) i Thailand som gikk på 10. og 11. trinn. Studien hadde til hensikt å se på betydningen av elevenes begrepsforståelse relatert til det å kunne utføre støkiometriske beregninger. Studien konkluderer med at elevenes begrepsforståelser ser ut til å påvirke elevenes forståelse for støkiometri. Elever som hadde en feilaktig oppfatning av begreper hadde problemer med å løse oppgaver knyttet til molbegrepet. Misoppfatningene som elevene hadde i studien var at masseforhold ble brukt som molforhold, forholdet 1:1 ble brukt for alle stoffer i en kjemisk reaksjon, enheter ble brukt feil ved at mol/dm<sup>3</sup> ble erstattet med mol/kg eller dm<sup>3</sup> ble brukt i stedet for cm<sup>3</sup>, molart volum av en gass ble brukt for andre stoffer enn gass (ved at 1 mol vann var 22,4dm<sup>3</sup> i volum) og reaktant med minst masse, (ikke stoffmengde) ble betraktet som minste reaktant.

Også andre studier viser at elever generaliserer bruk av Avogadros lov og bruker den for andre stoffer enn gasser. Novick og Menis (1976) utførte en studie i Israel blant elever på 10. trinn (15år) som omhandlet elevenes forståelse av molbegrepet. I denne studien kom det fram at elever ikke knyttet Avogadros lov til gasser og brukte loven for andre stoffer enn gasser og heller knyttet loven til to-atomig stoffer i stedet for gasser. Denne studien i likhet med flere andre studier som er beskrevet i delkapittel 2.5.1, konkluderer med at elevene oppfatter mol som en masse eller et bestemt tall. I delkapittel 2.5.1 ble det beskrevet hvordan flere forskere mente dette kunne henge sammen med den historiske betydningen av mol og feilaktige fremstillinger i lærebøker og av lærere. Novick og Menis mener denne oppfatningen henger sammen med at kvantitative beregninger er basert på massemålinger.

I flere andre studier blir elevenes feilaktige oppfatninger av molbegrepet diskutert. I en biografisk studie gjort av Furio, Azcona og Guisasola (2002) blir det hevdet at det virkelige problemet med elevenes feilaktige begrepsforståelse av mol har sammenheng med elevenes manglende forståelse for at stoffmengde er en makroskopisk størrelse knyttet til den mikroskopiske verden. I denne

studien ble det gjennomgått relevant bibliografi, inkludert nyere forskning, vedrørende vanskelighetene med å lære seg begrepene stoffmengde og mol inkludert pedagogiske fremgangsmåter ved innlæring av molbegrepet.

I boken *A Source Book Module* av Ayers, Dail og Morse (2010) er det fremhevet tre misoppfatninger som ofte oppstår i forbindelse med læring om mol. Disse tre misoppfatningene samsvarer med noen av de misoppfatningene som ble beskrevet i tidligere i dette kapittelet. Disse misoppfatningene kan sammenfattes slik:

**1) Like volum eller like masser av forskjellige grunnstoffer inneholder alltid like mange mol, uavhengig om det er en gass, fast stoff eller en væske.**

Like volumer av gasser inneholder samme antall mol gassmolekyler (ved lik temperatur og tykk). Elevene generaliser ofte denne sammenhengen til å gjelde andre stoffer enn gasser.

**2) Ved bruk av molbegrepet knyttes stoffmengden kun til molekyler/formelenheter.**

Elevene knytter ikke molbegrepet til mengden av atomer, ioner, elektroner eller andre entiteter.

**3) Et mol av ulike stoffer kan inneholde ulikt antall elementære enheter av disse stoffene**

Avogadros tall er et stort tall og kan ikke visualiseres direkte. Elevene oppfatter ikke at ett mol av et stoff inneholder samme antall partikler som ett mol av et annet stoff. De forestiller seg at like masser eller samme volum inneholder samme antall partikler.

I undervisningsopplegget om mol har jeg lagt spesiell vekt på at elevene skulle unngå de tre misforståelsene som Ayers et al nevner. Disse blir spesielt drøftet i del 4.4.

## **2.6 Om å forstå molbegrepet – noen anbefalinger**

I kjemididaktisk litteratur finner vi en rekke studier med anbefalinger om hvordan undervisningen kan legges til rette for at elevene skal forstå molbegrepet. Anbefalingene varierer og er ikke entydige (Sanabina 1993). Noen studier legger vekt på i hvilken rekkefølge undervisningen bør legges opp, mens andre mener det vil hjelpe å sette molbegrepet inn i et historisk perspektiv. Andre igjen er mer opptatt av hvilke læringsstrategier læreren kan bruke for å unngå misoppfatninger blant elevene.

Som jeg beskrev i delkapittel 2.1, tar man i naturfagdidaktikk ofte utgangspunkt i et konstruktivistisk læringssyn. De anbefalinger jeg har valgt å referere her, bygger hovedsakelig på et konstruktivistisk syn der eleven konstruerer sin egen mentale modell av virkeligheten og der

læringsprosessen vil føre til en omstrukturering av elevens kognitive struktur (se kapittel 2.3.1). I tillegg vil jeg vise til forskere som legger vekt på presis språkbruk og god kommunikasjon mellom lærer og elev og elevene imellom, noe som er i samsvar med et sosiokulturelt læringsyn slik jeg har beskrevet dette i delkapittel 2.1.

I delkapittel 2.4 beskrev jeg hvordan elevenes tidligere kunnskaper vil påvirke deres evne til å tilegne seg ny kunnskap. Før det undervises om molbegrepet, mener jeg det er viktig at elevene har en god forståelse for den mikroskopiske verden med atomer og molekyler. Claesgens og Stacy (2003) hevder at elevenes tidligere kunnskap om materie påvirker deres oppfatning av stoffmengde og dermed deres forståelse av mol. De anbefaler derfor at man bør knytte atomteorien til elevenes erfaring med materien for å øke elevenes forståelse. Også andre forskere er opptatt av at elevene kjenner til oppbyggingen av materien og da spesielt samspillet mellom makro- og mikro-nivå som ble beskrevet i delkapittel 2.4. Furio, Azcona og Guisasola (2002) hevder at det virkelige problemet knyttet til begrepet stoffmengde ligger i den manglende forståelsen av at stoffmengde er en makroskopisk størrelse som er knyttet til den mikroskopiske verden. For at elevene skal ha mulighet til å knytte disse to nivåene sammen, hevder de at eleven må danne seg en klar forståelse av hva som tilhører den mikroskopiske verden og hva som tilhører den makroskopiske verden. De anbefaler at kjemiske stoffer og reaksjoner må knyttes til atomteorien slik at elevene tenker i form av atomer når det snakkes om stoffenes oppbygning og de endringer som skjer i en kjemisk reaksjon. For at elevene skal knytte begreper til riktig nivå, anbefaler Barke, Hazari, Yitbarek (2009, s. 83 og s.126) at lærerne legger vekt på å være presis i sin språkbruk gjennom å bruke terminologien på det nivået den hører hjemme. Vann på mikronivå bør i følge de samme forfatterne omtales som H<sub>2</sub>O molekyler og vann på makronivå som vann, is eller vanndamp. Ved å spørre elevene om hva de mener er de minste partiklene i et stoff, kan man hjelpe dem til å få en bedre forståelse for atomteorien (Barke, Hazari, Yitbarek 2009, s. 83). Spørsmålet kan være: Hva er den minste partikkelen i vann? Svaret som kan aksepteres er kun vannmolekyler. Svarer elevene hydrogenatomer eller oksygenatomer er det følge dem duket for diskusjon. Dahash og Coll (2007) fremhever viktigheten av å se sammenhengen mellom symboler for å kunne løse støkiometriske oppgaver. Barke, Hazari, Yitbarek (2009, s. 128) hevder at elever som ikke behersker den kjemiske terminologien kan danne negative holdninger til faget

Begrepslæring er et annet viktig tema ved innlæring av molbegrepet. Jeg har funnet flere artikler som tar opp problematikken rundt elevens manglende forståelse av molbegrepet. I følge Dahsah og Coll (2007) har elever som har alternative forestillinger om begreper vanskeligheter med å løse matematiske oppgaver der disse begrepene blir brukt. De anbefaler derfor at det må gis

undervisning i begrepsoppfatning slik at elevene har en klar forståelse av sentrale begrep før elevene blir satt til å løse støkiometriske oppgaver ved hjelp av algoritmer. De mener at læreren må oppfordre elevene til å tenke fremfor å memorere. Furio, Azcona og Guiosola (2002) er også opptatt at elevene danner seg god begrepsforståelse. De mener at begreper som stoffmengde, masse, volum og antall partikler bør forklares hver for seg slik at elevene får en god forståelse av hvert begrep før de knyttes sammen. I følge Furio, Azcona og Guiosola bør man introdusere den operative definisjonen på begrepene etter at elevene har dannet seg en riktig begrepsforståelse av de begreper som er nevnt ovenfor.

For å hjelpe eleven til å danne seg en bedre begrepsforståelse, vil jeg fremheve tre ulike læringsstrategier: lesestrategier, analogier og praktiske aktiviteter.

Phillips (1989) brukte skrivestrategier for å øke forståelsen for molbegrepet og hjelpe eleven til å lære seg det nye vokabularet. Han foreslår å bruke tre ulike skjemaer: Den såkalte Frayers modell, tankekart og grafisk organisering. I tillegg foreslår han å bruke et spesielt dataprogram for å repetere, drille og øve. Det er ikke rom for å gå inn på dette data-programmet her, men jeg vil kort si noe om de tre skjemaene. Frayers modell er en kartmodell der eleven beskriver hva begrepet (mol) er og hva begrepet ikke er, samt eksempler og ikke-eksempler på begrepet. Tankekart anbefales brukt for å knytte alle de relaterte begrepene til mol, mens grafisk organisering kan fortelle de matematiske sammenhengene mellom begrepene. Også andre anbefaler bruk av lesestrategier. Hand, Yang og Bruxvoort (2007) anbefaler at det tas i bruk en «skrive for å lære-strategi» der en elev får i oppgave å skrive en tekst om støkiometri til en yngre elev. En undersøkelse utført av disse forskerne viser at en slik strategi kan hjelpe elevene til å danne seg en meningsfull oppfatning av begrepene de bruker i støkiometri.

Flere kjemididaktikere forskere anbefaler å ta i bruk analogier for å gjøre abstrakte begreper mer forståelig. Treagust og Thiele (1991) hevder at bruk av analogier er spesielt nyttig for innlæring av abstrakte begreper. Jeg vil referere noen anbefalinger om bruk av analogier.

Walkely og de Grays (2000) hevder at elevene kan utvikle god forståelse for mol gjennom personlige erfaringer. De mener at elevene lærer best gjennom at læreren veileder dem gjennom praktiske oppgaver. Relative masser kan utforskes gjennom å bruke andre objekter for å illustrere masseforholdet mellom atomer. Deretter anbefaler de å introdusere masseforholdet for virkelige grunnstoffer. Også andre, som Sanabina (1993), hevder at de relative massene og molbegrepet kan bli bedre forstått ved å bruke analogi. En analogi hun foreslår går ut på at eleven utfører en praktisk øvelse der eleven selv utforsker relative masser gjennom å bruke papirbiter med ulik størrelse og

masse. Staver og Lumpe (1995) foreslår en liknende aktivitet, men da ved å bruke pellets med varierende størrelse og la en bestemt størrelse på kulene være standardmassen, for deretter å finne de relative massene til de øvrige pelletskulene.

Analogiene ovenfor var ment for å hjelpe eleven til å forstå begrepet relativ masse og dermed definisjonen av mol. Padilla og Furio-Mas (2007) er også opptatt av at eleven skal danne seg en rett oppfatning av molbegrepet. De mener presentasjonen av mol bør følge IUPAC sin anbefaling og at stoffmengde bør presenteres som en størrelse i SI-systemet med mol som enhet. De er også opptatt av at molbegrepet må presenteres i en historisk sammenheng. Elever danner seg ofte misoppfatninger som for eksempel at mol er det samme som masse eller antall partikler. Som beskrevet i delkapittel 2.4, kan det være en mulig strategi og først introdusere den historiske utviklingen av begrepet. Slik kan det bli lettere for elevene å forkaste sin egen feilaktige oppfatning (se delkapittel 2.4).

I flere artikler skrevet av blant annet Diment (2000), Uthe (2002) og Kolb (1978) foreslås det å bruke analogier for å hjelpe elevene med å forstå store tall, så som Avogadros tall. Kolb viser blant annet til følgende analogi: «Hvis du har like mange sandkorn som tilsvarer Avogadros tall og sprer dem ut over hele California vil sanden dekke et lag som er like høyt som en 10 etasjes bygning».

Ut fra de anbefalinger som det er referert til i litteraturen vil jeg for egen del anbefale at kjemilærere legger vekt på følgende i sin undervisningsplanlegging når molbegrepet skal introduseres:

- Bruke analogier for å visualisere abstrakte begreper knyttet til mol.
- Arbeide med å forstå relevante begreper, ved å bruke skrivestrategier, før man anvender dem i støkiometriske beregninger.
- Hjelp elevene til å få en klar forståelse for atomteorien slik at de kan knytte den til den makroskopiske verden.
- Utføre praktiske øvelser for å hjelpe eleven til å forstå abstrakte begreper som mol.
- Sette molbegrepet inn i et historisk perspektiv for å få en god forståelse av begrepet.

Noen av disse anbefalingene er lagt til grunn for min kvalitative undersøkelse som er omtalt i del 3.



## Del 3 Kvalitativ undersøkelse

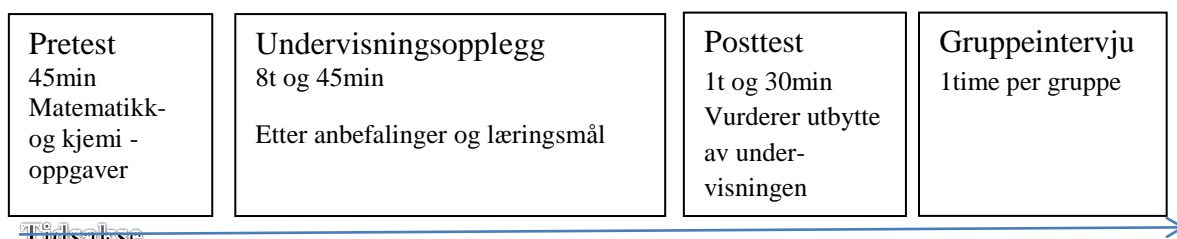
### 3.1 Design, kontekst og metodisk tilnærming

Jeg har valgt å planlegge, gjennomføre og vurdere et undervisningsopplegg som handler om innlæring av molbegrepet. Som beskrevet i del 2.5 har flere undersøkelser vist at elevene ofte danner seg misoppfatninger knyttet til molbegrepet. Jeg har i denne undersøkelsen lagt vekt på at elevene skulle unngå tre sentrale misoppfatninger, noe som jeg vil komme tilbake til senere. Jeg lagde et undervisningsopplegg ut fra noen av de anbefalingene som er presentert i delkapittel 2.6. I tillegg satte jeg opp konkrete mål for undervisningen med utgangspunkt i de styrende retningslinjer som er gitt i LK06, og som er beskrevet i delkapittel 1.3.5. Disse er vurdert i resultat- og diskusjonsdelen.

Jeg har valgt en kvalitativ tilnærming i min undersøkelse. En kvalitativ tilnærming prøver å forstå handlinger og adferd til menneskene og legger vekt på å søke kunnskap om menneskets erfaringer, opplevelser, tanker forventninger og holdninger (Ary, Jacobs og Razaviech 2002, s. 422). En slik tilnærming går i dybden og legger ikke vekt på breddekunnskap. Tallmaterialet er ikke statistisk signifikant og det er derfor ikke mulig å generalisere de funn som er gjort. Hensikten med denne studien er å fange opp *enkeltelevers* forståelse og opplevelse av innlæring av molbegrepet og søke å forstå elevens handlinger. Ikke å trekke generelle utfordringer elever jevnt over møter i innlæringen av molbegrepet. Resultatene kan brukes som rammer for videre arbeid.

Undervisningsopplegget beskrives i kap. 3.3.

Undersøkelsen i hovedtrekk:



For å kunne vurdere læringsutbyttet av dette undervisningsopplegget gjennomførte elevene en pretest i forkant av undervisningen og en posttest etter gjennomført undervisning. De to testene inneholdt to felles spørsmål. Deretter valgte jeg å intervju elevene for å få et størst mulig grunnlag for å vurdere elevenes læringsutbytte og prøve å forstå elevenes handlinger.

Undersøkelsen ble gjort på en videregående skole som jeg har kalt Fjellbygd videregående skole som er en skole i nærheten av en større by i Norge. Det var den eneste videregående skolen i området. Denne skolen har programområder for både yrkesfag og studie-spesialisering. Skolen har ca. 300 elever. Undervisningsopplegget ble gjennomført innenfor programområdet studiespesialisering på 2. års trinn i faget Kjemi 1. Kjemigruppen bestod av 13 elever. 11 av disse elevene, 7 gutter og 4 jenter, deltok i hele undervisningsforløpet og ble derfor brukt som grunnlag i pretest, posttest og i intervju. I følge faglærer var det noe spredning i prestasjonsnivå blant elevene, men generelt var det en flink gruppe med et høyt prestasjonsnivå. Faglæreren ga uttrykk for at elevene generelt hadde gode evner innen realfag, men at noen av elevene hadde lav egeninnsats.

Dette kan sies å være « Comprehensive Sampling » der alle deltakerne er inkludert i studiet. I en slik type studie er antallet ofte lite og det er ingen regel for hvor mange det bør være. (Ary, Jacobs og Razaviech 2002, s. 429).

For at de etiske retningslinjer skulle bli fulgt, ble det inngått en skriftlig kontrakt med informanten og deres foresatte (Vedlegg 1). For å oppnå konfidensialitet har alle elevene og skolen blitt anonymisert og fått pseudonymer.

### **Gruppeintervju**

Intervju av elever ble gjort i grupper, i såkalte fokusgrupper. Jeg valgte å utføre gruppeintervju slik at jeg fikk med meg interaksjoner mellom medlemmene i gruppen. Gruppeintervju er dessuten tidsbesparende (Ary, Jacobs og Razaviech 2002, s. 435). Samtaler innad i gruppen kan gi nye viktige perspektiver. Jeg valgte å ha et halvåpent intervju. Med det mener jeg at spørsmålene var laget på forhånd, men de skulle bare være veiledende. Jeg la vekt på at intervjuet skulle være som en samtale slik at nye spørsmål ble utviklet underveis. Denne typen intervju kan både gi ny informasjon og verifisere funn (Ary, Jacobs og Razaviech 2002, s. 343). Intervjuene hadde til hensikt å få en dypere innsikt i deltakernes forståelse og misoppfatninger rundt stoffmengde og begrepet mol enn bare testene kunne si. Jeg ønsket spesielt å få et innblikk i elevenes tenking rundt spørsmålene på posttesten.

Antall personer i et gruppeintervju bør generelt sett være lite nok til at alle kan ta del i samtalen og samtidig mange nok til at flere perspektiver kommer fram (Ary, Jacobs og Razaviech 2002, s. 435). Jeg valgte å dele elevene i 4 grupper, 3 grupper med 3 elever og 1 gruppe med 2 elever. Gruppene bestod av følgende elever (Tabell 3.1):

Tabell 3.1. Viser oversikt over gruppene som ble brukt på intervjuet

| Gruppe   | Navn                      |
|----------|---------------------------|
| Gruppe 1 | Marit, Inga og Sivert     |
| Gruppe 2 | Markus og Kristian        |
| Gruppe 3 | Katrine, Harald og Halvor |
| Gruppe 4 | Mona, Truls og Knut       |

Sammensetningen av gruppene ble gjort med bakgrunn i resultater fra posttest. De elevene som hadde flest samsvarende svar under testen havnet på samme gruppe, slik at elevene i samme gruppe skulle ha en forholdsvis lik forståelse av molbegrepet. Det ble ikke tatt hensyn til kjønn ved gruppesammensetningen og heller ikke til om noen av elevene var mer pratsomme enn andre. I ettertid erfarte jeg at forståelsen innad i gruppen var svært forskjellig. På noen av spørsmålene det ble derfor en utfordring å få alle til å svare på spørsmålene under intervjuene. Noen ganger tok de beste eller de mer pratsomme elevene ordet på bekostning av de andre i gruppen.

### **Testene**

Begge testene inneholdt formuleringsoppgaver der eleven selv måtte formulere svaret og skrive ned det han selv mente var rett og viktig. Testene bestod av tre typer oppgaver:

- Kortsvarsoppgaver der spørsmålsstillingen kan være av typen definer, hva er, finn eller andre spørsmålstillinger som krever et kort svar.
- Langsvarsoppgaver der spørsmålsstillingen kan være forklar, grei ut, hvorfor.
- Regneoppgaver

I følge Ringnes (1993, s 70-71) finnes det både fordeler og ulemper ved å bruke formuleringsoppgaver. Fordelene med slike oppgaver er at elevene i mindre grad gjetter siden de må formulere sine egne svar. Slike oppgaver er godt egnet til å se på manglende kunnskaper eller uheldige forestillinger som er bundet i elevenes kognitive struktur. En ulempe med bruk av slike oppgaver er at oppgaven krever at eleven kan utrykke seg godt skriftlig. Derfor vil slike oppgaver måle evnen til å utrykke seg skriftlig og ikke bare elevenes kunnskap. En annen ulempe er at det kan være vanskelig å vurdere svarene siden svarene til en viss grad er subjektive. Jeg valgte å bruke formuleringsoppgaver i testene da denne typen oppgaver er velegnet til å se på enkeltelevers forståelse og avdekke misoppfatninger.

Resultatene fra pretesten ble brukt til å kartlegge matematikk- og kjemikunnskapene til elevene før undervisningsopplegget. Oppgavene og begrunnelse for valg av oppgaver blir omtalt i delkapittel 3.3. Pretesten ble derfor brukt til å vurdere om manglene matematikk- og kjemi- kunnskaper kan være bakgrunnen for at elevene svarer feil på posttesten.

Pretesten og posttesten inneholdt to spørsmål med samme tema. Spørsmålene som ble gjentatt var knyttet til elevenes forståelse av forholdstallet mellom ioner og spørsmål om forskjellen på makro- og mikronivå. De to spørsmålene ble gjentatt for å kunne vurdere om elevene hadde endret oppfatning og fått en annen forståelse etter gjennomført undervisning.

Resultatene fra posttesten ble brukt til å se på hvilket utbytte elevene hadde etter undervisningsopplegget om mol og hvilke misoppfatninger elevene eventuelt hadde dannet seg. Oppgavene og begrunnelser for valg av oppgaver blir omtalt i delkapittel 3.4. Resultatene fra pretesten og posttesten ble sammenlignet for å finne ut om manglene bakgrunnskunnskap var av betydning for måloppnåelsen.

Resultatene fra testene ble presentert både i en tabell og i et søylediagram (se delkapittel 4). Tabellen ble brukt for å få fram om samme elev svarte feil på flere oppgaver. Jeg mente at dette kunne hjelpe meg i å få et helhetsinntrykk av eleven og bidra til å forstå elevens handling når oppgavene skulle løses. Søylediagram ble brukt for å synliggjøre hvor mange elever som svarte rett og feil. Selv om undersøkelsen ikke kan generaliseres, kan det gi meg et signal på om noen emner falt vanskeligere for elevene enn andre emner. Slike signal kan gi rom for diskusjoner om enkeltelevers besvarelser.

### **3.2 Mål for undervisningen:**

Under del 1 beskrev jeg hvilke læreplanmål som nå er gjeldene i støkiometri for kjemifaget på 2. årstrinn vgs. Med utgangspunkt i lærerplanen for Kjemi 1, LK06, egne erfaringer, læreboken *Kjemien stemmer* (Grønneberg et al 2007) og tiden jeg hadde til rådighet satte jeg opp konkrete mål for undervisningen. De generelle målene og kompetansemålene i LK06, som omhandler stoffmengde og beregninger med mol, er omtalt i del 1.3.5 under læreplaner.

Dette ble satt opp som konkrete mål som elevene skulle oppnå etter at undervisningsopplegget var gjennomført. De skulle være i stand til å

- 1) definere molbegrepet og forklare hva vi mener med stoffmengde.
- 2) gjøre rede for forskjellen mellom massen i u og molar masse. (Mikro- og makronivå.)
- 3) forklare hvorfor kjemikere finner det fordelaktig å uttrykke mengden av et stoff i mol. (fremfor masse, volum, nummer av enheter eller andre enheter)
- 4) beregne molar masse til en forbindelse, når formelen er gitt.
- 5) finne forholdet mellom antall mol i forbindelser og reaksjonslikninger.
- 6) beregne mol, masse eller antall av enheter til faste stoffer (atomer, molekyler, formelenheter etc) gitt passende data.
- 7) beregne mol, masse eller volum av en gass ved standard betingelser, gitt passende data.
- 8) beregne masseprosent.
- 9) beregne konsentrasjonen til en forbindelse og til et ion i en løsning.
- 10) utføre beregninger i forbindelse med fortykning av løsninger.

### 3.3 Pretest

Jeg valgte å lage testen slik at den kunne gjennomføres på 45 minutter slik at det ble tid til å starte undervisning om molbegrepet i de resterende 45 minuttene av 1. økt. Som beskrevet i delkapittel 3.1, inneholdt testen formuleringsoppgaver. Testen skulle ikke påvirke elevenes karakter i faget.

Pretesten bestod av oppgaver av matematisk karakter som omhandlet forholdsregning, prosentregning og omgjøring av enheter i tillegg til en del grunnleggende kjemikunnskaper om atomer og ioner.

Formålet med pretesten ble beskrevet i delkapittel 3.1 og resultatene fra pretesten presenteres i delkapittel 4.2. De kjemiske oppgavene i pretesten ble laget med utgangspunkt i kompetansemålene som er beskrevet under. Lærestoffet knyttet til disse kompetansemålene hadde elevene jobbet med før jeg startet på undervisningsopplegget. Dette skulle gi meg informasjon om elevens kompetanse og før-forestillinger.

Kompetansemål fra ungdomstrinnet (LK06, læreplan i naturfag):

- Elevene skal kunne vurdere egenskaper til grunnstoffer og forbindelser ved bruk av periodesystemet

Kompetansemål fra vg 1 naturfag:

- Elevene skal beskrive kjemiske kjennetegn og forskjeller på de viktigste næringsstoffene

Kompetansemålene fra Vg 2 kjemi 1:

- Elevene skal kunne forklare, illustrere og vurdere stoffers sammensetning, bindingstyper og egenskaper ved hjelp av periodesystemet
- Elevene skal kunne sette navn på enkle uorganiske forbindelser ved hjelp av regler for navnssetting

Emnene som presenteres nedenfor ble valgt ut på bakgrunn av de problemer elever møter i oppgaver om molbegrepet (se beskrivelse i delkapittel 2.5). Det er hevdet at det er lettere for elevene å forstå begrepet stoffmengde hvis elever knytter kunnskapen om stoffer og reaksjoner til atomer og at deres evne til å forstå vekslingen mellom mikro- og makronivå i kjemi vil påvirke deres evne til å danne seg rett begrepsforståelse av mol (Cleasgens og Stacy 2003). Det er også hevdet at grunnleggende ferdigheter som bruk av kjemisk terminologi vil påvirke elevenes evne til å løse støkiometriske oppgaver (Schmidt 1990 referert i Barke, Hazari, Yitbarek 2009, s.127).

De matematiske oppgavene ble valgt fordi det er blitt hevdet at problemene elevene møter i støkiometriske beregninger oppstår fordi elevene ikke behersker proporsjonalitetsregning og det å gjøre om enheter (Dori og Hameiri 1998). Elevenes matematikkferdigheter kan hjelpe meg til å bekrefte eller avkrefte om det er elevens manglende matematikkunnskaper som kan være årsaken til at eleven mangler forståelse for mol.

Pretesten skulle teste følgende matematikk- og kjemikunnskaper:

Matematiske ferdigheter

- Elevenes kunnskaper i proporsjonalregning; snu en formel og finne forholdstall.
- Elevenes evne til å gjøre om mellom enheter.

Kjemikunnskaper

- Elevenes begrepsforståelse for atomer, molekyler og ioner.
- Elevenes kunnskap om forhold mellom ioner i en formelenhet og navn på ioner/salter.
- Elevenes evne til å balansere en reaksjonslikning.
- Elevenes kunnskaper om makro- og mikronivå i kjemien

Tabell 3.2. Oversikt over pretesten.

|                                | <b>Oppgaver</b>   |
|--------------------------------|---|
| <b>Matematiske ferdigheter</b> | <p><b>Oppgave 1</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Snu formelen <math>b = v/h^2</math> og finn en formel for <math>v</math> uttrykt ved <math>h</math> og <math>b</math>.</li> <li>Et smykke veier 20 gram. Smykket er en legering av 13g gull og 7 gram andre metaller. Hvor mange prosent gull er det i smykket?</li> <li>Gjør om til L: <ol style="list-style-type: none"> <li>250mL</li> <li>39cL</li> <li>300cm<sup>3</sup></li> </ol> </li> </ol> <p><b>Oppgave 2</b></p> <p>I en kiosk selger de to typer cola: P -cola og C- cola. Forholdet mellom P-cola og C-cola er 5 : 7.</p> <p>Hvor mange flasker P-cola selger de når de selger 504 flasker C- cola?</p>  |
| <b>Kjemioppgaver</b>           | <p><b>Oppgave 3</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Forklar hva som er forskjellen mellom et atom, et molekyl og et ion?</li> <li>Hva er forholdet mellom antall ioner i formelenheten FeCl<sub>3</sub>?</li> <li>Hva er forholdet mellom antall kloridioner og formelenheter i MgCl<sub>2</sub>?</li> </ol> <p><b>Oppgave 4</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Balanser følgende reaksjonslikning:<br/> <math display="block">\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}</math> </li> <li>Hva er forskjellen på H og H<sub>2</sub>?</li> </ol> <p><b>Oppgave 5</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Hvor mange jernioner og hvor mange nitrater er det pr formelenhet av saltet Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>?</li> <li>Hvor mange oksygenatomer er det pr formelenhet av saltet Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>?</li> </ol> <p><b>Oppgave 6</b></p> <p>I kjemien er det et samspill mellom mikro- og makronivå. Når bruker vi makronivå og når bruker vi mikronivå? Og hvorfor trenger vi begge deler?</p> <p><b>Oppgave 7</b></p> <p>Skriv formelen for</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>kvikksølv(II)klorid</li> <li>aluminiumoksid</li> </ol> |

### **3.4 Valg av undervisningsmetoder og gjennomføring av undervisningsopplegget**

#### **3.4.1 Begrunnelse for valg av undervisningsmetode**

Undervisningsopplegget ble planlagt med utgangspunkt i ideer og anbefalinger fra tidligere forskning (se delkapittel 2.6), læreboka som var brukt i faget og den tiden jeg hadde til rådighet for å gjennomføre undervisningsopplegget. I tråd med problemstillingen min hadde jeg laget et opplegg som hadde som mål at elevene skulle få en forståelse av molbegrepet som samsvarer med IUPAC sin definisjon og unngå misoppfatninger. Som undervisningsmetoder valgte jeg gjennomgåelse på tavla i dialog med elevene, praktiske øvelser i grupper og selvstendig elevarbeid. Dette kommer jeg tilbake til i detalj senere.

Jeg la vekt på at undervisningen skulle være variert. Variert undervisning kan øke motivasjonen (Ringnes og Hannisdal 2000, s. 238) samtidig som det blir tatt hensyn til at elever lærer på forskjellige måter (Gardner 2006). Flere undersøkelser påpeker at det er samsvar mellom variasjon av undervisningsmetoder og prestasjon. I følge Gardner lærer elever forskjellig ut fra sju grunnleggende intelligenser. Variert undervisning kan bidra til å belyse kunnskap fra flere sider og dermed gi elevene mulighet til å lære ut fra de intelligensene som gjør at de lærer best.

Jeg valgte også å bruke noen analogier for å hjelpe elevene til å forstå abstrakte begreper. Treagust og Thiele (1991) hevder at analogier kan hjelpe eleven til å forstå ny kunnskap og er spesielt nyttig for emner som er av abstrakt karakter eller mikroskopisk karakter, men analogier kan også bidra til misforståelser. For elever som allerede har forstått begrepet og som fungerer på formelt-operasjonelt nivå kan analogier føre til misoppfatninger.

Som beskrevet i delkapittel 2.3 bygger naturfagundervisningen i den videregående skole på et konstruktivistisk læringssyn. Også i dette undervisningsopplegget tok jeg utgangspunkt i et konstruktivistisk læringssyn der eleven konstruerer sin egen kunnskap.

Siden skolereformen av 1938 har praktisk arbeid vært en del av kjemi- og naturfagundervisningen. I eldre læreplaner var det nedfelt hvor mange timer praktisk arbeid som skulle gjennomføres i de forskjellige naturfagene (Ringnes og Hannisdal 2000, s. 231). Med reform 94 ble det fastsatte timetallet tatt ut av læreplanen, men både i læreplanen for kjemi fra 1996 og LK06 presiseres det at kjemifaget skal knytte teori til praktiske aktiviteter. Derfor er det en sterk tradisjon å utføre praktisk arbeid i kjemi. I læreplanen for kjemi 1 (LK06) finner vi en presisering av hvordan læring i faget bør foregå: «Utviklingen av kjemisk viten skjer i en vekselvirkning mellom eksperimenter og teori. Denne vekselvirkningen bør gjenspeiles i programfaget kjemi, der planlegging og gjennomføring av forsøk og vurdering av



resultater er sentralt». Videre står det: «Programfaget har som formål å skape interesse for kjemi og naturvitenskap. Opplæringen i kjemi skal knytte teori til praktisk laboratoriearbeid».

Undervisningsopplegget inneholder en del praktiske øvelser. Det finnes i følge Kind (2003, s. 239) to grunnleggende pedagogiske ideer som har ledsaget begrunnelsen for praktisk arbeid i naturfag. Den ene ideen går ut på at elevene gjennom praktisk arbeid opparbeider bestemte kognitive ferdigheter som er overførbare til andre situasjoner. Gagnes relaterte vitenskapelig arbeidsmetode til en rekke kognitive egenskaper slik som evnen til å observere, fremme hypoteser, tolke data og trekke konklusjoner. Den andre teorien går ut på at eleven lærer best gjennom å gjøre eksperimenter i laboratoriet. Begge teoriene er omdiskutert og problematiske (Kind 2003, s. 233) Det har vist seg at eleven ikke alltid lærer best gjennom å gjøre eksperimenter, og det er hevdet at elever ikke nødvendigvis lærer intellektuelle ferdigheter gjennom praktisk arbeid. Men det er heller kunnskap som gjør dem i stand til å anvende vitenskapelige arbeidsmåter. Forenklet kan målene med praktisk arbeid i naturfag deles opp i fire punkter i følge Kind:

- 1) Elevene skal bli kjent med og få erfaring med naturfenomener, lære begreper, teorier og modeller som beskriver og forklarer dette.
- 2) Elevene skal lære om naturvitenskapen og hvordan naturvitenskapelig kunnskap skapes og etableres.
- 3) Elevene skal lære å utøve naturvitenskap, dvs. selv kunne anvende metoder (både fremgangsmåter og instrumenter) og argumentasjonsformer som er særegne for naturvitenskap.
- 4) Undervisningen skal skape interesse og motivasjon for naturfag gjennom opplevelser.

Jeg tok utgangspunkt i Kinds oppdeling da jeg planla målene med det praktiske arbeidet.

I Tabell vises en enkel oversikt over undervisningsforløpet. Elevenes plan for perioden er lagt ved som vedlegg 8. Undervisningsopplegget beskrives for hver økt og deler av undervisningsopplegget er lagt med som vedlegg. Med utgangspunkt i egen erfaring og i dialog med faglærer valgte jeg å bruke 9 undervisningstimer til studiet om molbegrepet, hvorav 5 timer á 60 min og 4 timer á 90 min.

Tabell 3.3. Undervisningsopplegg

| Tid             | Aktiviteter og tema   |
|-----------------|---|
| Økt 1<br>90 min | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pretest</li> <li>• Tavleundervisning. Introduksjon av stoffmengde, mol og Avogadros tall</li> <li>• Praktisk aktivitet. Øvelse 1: Mol, volum og masse (se vedlegg 2)</li> </ul>  |
| Økt 2<br>60 min | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tavleundervisning. Gjennomgåelse av reaksjonslikninger. Forhold mellom antall atomer og antall mol i kjemiske formler og reaksjonslikninger.</li> <li>• Utlevert oppgave. Prosentvis sammensetning av stoffer. (se vedlegg 4)</li> </ul> |
| Økt 3<br>90 min | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tavleundervisning med introduksjon av formel og eksempler.</li> <li>• Egenaktivitet. Arbeid med oppgaver fra boka</li> </ul>   |
| Økt 4<br>60 min | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tavleundervisning. Introduksjon av begrepet konsentrasjon med eksempler.</li> <li>• Arbeid med oppgaver fra boka</li> </ul>  |
| Økt 5<br>60 min | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Øvelse 2. Løsninger.(se vedlegg 6)</li> </ul>  |
| Økt 6<br>90 min | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Øvelse 3. Krystallvann.(se vedlegg 7)</li> </ul>   |
| Økt 7<br>60 min | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Repetisjon</li> <li>• Egenaktivitet. Spørsmål og oppgaveløsning</li> </ul>   |
| Økt 8<br>60 min | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Repetisjon</li> <li>• Egenaktivitet. Spørsmål og oppgaveløsning</li> </ul>   |
| Økt 9<br>90 min | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Posttest.</li> </ul>   |

### 3.4.2 Gjennomføring av undervisningsopplegg:

#### 1. økt:

Første time startet med en pretest (se delkapittel 3.3) for å kartlegge elevenes tidligere kjemikunnskaper og matematiske kunnskaper.

Etter at pretesten var gjennomført, startet undervisningen om molbegrepet. Stoffmengde ble presentert som en av de sju fundamentale størrelsene i SI- systemet med enheten mol. Det ble

presisert at stoffmengde med enheten mol er en størrelse på samme måte som at masse er en størrelse med enheten gram.

I SI systemet er mol definert slik: (<http://snl.no/SI/enhetssystem>)

Et mol er stoffmengden til et system som inneholder like mange elementære entiteter som det er karbonatomer i 0.012 kilogram  $^{12}\text{C}$ ; symbolet er "mol".

Når enheten nyttes, må elementærentitetene spesifiseres. Entitetene kan være atomer, molekyler, ioner, elektroner, andre partikler, eller spesifiserte grupper av slike partikler (14.CGPM, 1971).

Avogadros tall ble så introdusert. Jeg brukte sammenligninger for at elevene skulle få en følelse av hvor stort dette tallet var. Uthe (2002) sier at han synes den beste måten å hjelpe elevene til å forstå hvor stor mengde partikler det er i et mol, er å utføre beregninger som sier noe om hvor lang tid det vil ta å telle Avogadros tall eller hvor mange mennesker som må utføre tellingen av Avogadros tall for å komme i mål i løpet av en viss tid.

En av sammenligningene jeg brukte var: Hvis vi kunne telle atomer med en hastighet på 10 millioner per sekund, ville det ta omtrent 2 milliarder år å telle atomene i et mol.

For å prøve å unngå at elevene knyttet molbegrepet kun til molekyler, valgte jeg å bruke flere eksempler for å illustrere stoffmengden til både med ioner, molekyler og atomer. Jeg ønsket å hindre at elevene skulle danne seg en misoppfatning (se delkapittel 2.5.4) som gikk ut på at molbegrepet kun ble brukt om atomer eller molekyler og ingen andre entiteter.

Jeg brukte flere eksempler for at elevene skulle forstå begrepet og oppfatte at et mol av ulike stoffer ikke behøvde å ha samme volum og masse.

Et eksempel var følgende: Masse og volum trenger ikke å være lik selv om stoffmengden er lik, det er fordi at atomene ikke veier det samme. 10 gullatomer veier mye mer enn 10 helium atomer, og derfor vil 1 mol gullatomer veie mye mer enn 1 mol helium atomer. Men både et mol gullatomer og et mol heliumatomer inneholder samme antall atomer.

Denne tankegangen ble fulgt opp med en praktisk øvelse (øvelse 1) der elevene ble introdusert for beholdere med 1 mol av ulike faste stoffer.

**Øvelse 1: Mol, volum og masse** (se vedlegg 2 for fullstendig forsøksbeskrivelse).

Øvelsen gikk ut på at elevene skulle undersøke fem begerglass som inneholdt ett mol av et grunnstoff eller en kjemisk forbindelse. Elevene skulle finne volumet og massen til hvert stoff. Deretter skulle elevene svare på spørsmål i tilknytning til den praktiske oppgaven. Spørsmålene skulle få elevene til å tenke igjennom hvorfor stoffene hadde ulikt volum og masse selv om det var ett mol av hvert stoff. Svarene ble diskutert i fellesskap til slutt.

Formålet med øvelsen var at elevene skulle bli kjent med og få erfaring med begrepet mol. Øvelsen hadde til hensikt å visualisere at ett mol av ulike faste stoffer har ulikt volum og ulik masse.

Med dette opplegget ønsket jeg å illustrere at massen og volumet var ulikt selv om antall partikler var lik i hver beholder. Jeg håpet at denne illustrasjonen skulle hjelpe elevene til å unngå misoppfatningen om at «like volum eller like masser av forskjellige grunnstoffer inneholder alltid like mange mol, uavhengig om det er en gass, fast stoff eller væske.»

## **2. økt:**

Andre time gikk med til å lære elevene om forhold mellom molekyler, formelenheter og ioner i reaksjonslikninger. Det ble vist en Power-Point presentasjon for å visualisere forholdene (se vedlegg 3).

Elevene fikk utlevert en oppgave (vedlegg 4) der de skulle beregne den prosentvise sammensetningen av stoffer. Proporsjonalitetsregning og resonneringsferdigheter er viktige innenfor støkiometri. I følge Gabel og Sherwood (1984) vil elever som er flinke i disse ferdighetene gjøre det bedre i problemoppgaver der molbegrepet brukes. Jeg illustrerte forholdet mellom ioner på flere måter for at flest mulig av elevene skulle klare å forstå hvor mange det var av hvert ion i en formelenhet og hvor mange atomer det var av hvert grunnstoff i molekylet. Ut fra egen erfaring har jeg lagt merke til at det er mange elever som ikke klarer å løse mer sammensatte oppgaver i støkiometri fordi de ikke ser denne sammenhengen.

## **3. økt**

Først i den tredje timen ble formelen som viser sammenhengen mellom stoffmengde, masse og molar masse introdusert (formel 1).

Formel 1:  $M_m = \frac{m}{n}$

Det ble gjennomgått eksempler på tavla der denne formelen ble brukt. Molart volum ble så introdusert der det ble presisert at denne formelen (formel 2) gjelder kun for gasser.

$$\text{Formel 2: } n = \frac{V}{V_m}$$

Jeg tok et tilbakeblikk for å minne elevene på at beholderne med de ulike faste stoffene ikke hadde hatt samme volum. Eksempel på bruk av formelen for molart volum ble gjennomgått og deretter fikk elevene selv jobbe med oppgaver der de skulle bruke disse formlene.

Jeg ventet med å introdusere formelen som viser sammenheng mellom stoffmengde, molar masse og masse (formel 1) til etter at elevene hadde fått god kjennskap til begrepet mol. Vi hadde tidligere forklart sammenhengen mellom de ulike størrelsene og mange av elevene fortsatte med å tenke selvstendig uten å benytte seg direkte av formelen. Introduksjon av formelen kunne presenteres i dialog med elevene siden sammenhengen mellom de ulike størrelsene allerede var kjent. Et av målene mine var at elevene ikke bare skulle bruke algoritmer, men tenke og forstå hva de gjorde. Som beskrevet i 2.6 anbefaler Furio, Azcona og Guisasola (2002) at lærerne først introduserer nye begreper kvalitativt for deretter å introdusere den operative definisjonen. Det har vist seg at elever som innøver algoritmiske teknikker for å løse kvantitative problemer kan senere ha problemer med å løse støkiometriske oppgaver på et høyere nivå der oppgaven ikke passer inn i noen algoritmisk mal (Zoller et al 1995).

#### **4. økt**

Fjerde time ble brukt til introduksjon av begrepet konsentrasjon. Begrepet ble definert og forklart gjennom å henvise til kjente væsker med bestemte konsentrasjoner som for eksempel salt- eller sukkerkonsentrasjon. Formelen som viser sammenheng mellom konsentrasjon, stoffmengde og volum ble deretter gjennomgått med eksempler og utregninger. Til slutt ble fortynning av løsninger gjennomgått (se vedlegg 5) og under beregningene og forklaringene ble fortynningsformelen brukt (formel 3):

$$\text{Formel 3: } c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2.$$

En undersøkelse gjort av Duncan og Johnstone (1973) konkluderer med at fortynning av en løsning faller vanskelig for elevene fordi de ofte ikke bruker fortynningsformelen og beregner den nye konsentrasjonen uten å ta hensyn til volumendringen. Jeg valgte derfor å bruke og forklare fortynningsformelen.

## 5. økt

Femte time ble brukt til praktisk aktivitet (øvelse 2).

### **Øvelse 2: Løsninger.** (se vedlegg 6)

Øvelsen var todelt. I begge delene av øvelsen skulle elevene lage en saltløsning med en bestemt konsentrasjon og et bestemt volum. I første del av øvelsen skulle elevene lage løsningen ved å beregne og veie inn riktig masse til et fast stoff.

I andre del av øvelsen skulle elevene lage en løsning ved å fortynne løsningen de hadde laget i første del av oppgaven. De måtte beregne og ta ut et bestemt volum av løsningen.

Øvelsen hadde til hensikt å lære metodene for fortynning av løsninger og få erfaring med begrepene konsentrasjon og fortynning, samt teorier knyttet til disse begrepene.

## 6. økt

Sjette time ble også brukt til en praktisk øvelse (øvelse 3).

### **Øvelse 3: Krystallvann** (se vedlegg 7).

Øvelsen gikk ut på at elevene skulle finne massen til krystallvannet i et salt ved å veie saltet før og etter oppvarming. Under oppvarming vil krystallvannet fordampe. De kjente massene ble brukt til å beregne stoffmengden til saltet og til krystallvannet. Ved å regne ut forholdet mellom stoffmengdene av saltet og av krystallvannet skulle elevene til slutt sette opp formelen til saltet med krystallvann.

Formålet med øvelsen var at elevene skulle lære en metode for å bestemme massen til krystallvannet i et salt og samtidig få større erfaring med å løse oppgaver som handlet om forhold mellom entiteter.

Oppgaven krevde selvstendig resonnement. Vi startet med drøfting av hvordan det var mulig å finne forholdet mellom antall vannmolekyler og formelenheter av saltet.

Med utgangspunkt i Kinds fire mål for praktisk arbeid (se delkapittel 3.4) var målet med øvelsene at elevene skulle lære naturvitenskaplig metodikk, dvs anvende metoder (både fremgangsmåter og bruk av instrumenter) som er særegne for naturvitenskap. Et annet mål var at undervisningen skulle skape interesse og motivasjon for faget. Det har blitt hevdet at det kan være en fordel å bruke flere sanser under læringsprosessen. Da blir kunnskapen mer sammensatt og muligheten for læring øker.

Konstruksjon av kunnskap kan dannes gjennom praktisk arbeid. Praktisk arbeid kan være en motivasjonsfaktor og et viktig avbrett i undervisningen. (Ringnes og Hannisdal 2000,s. 237)

### **7. og 8. økt**

Sjuende og åttende time ble brukt til repetisjon og arbeid med oppgaver (se vedlegg 9 og 10). I denne perioden ble det arbeidet med mer kompliserte og sammensatte oppgaver. Oppgavene er lagt ved som vedlegg. Elevene hadde stor arbeidsmengde i andre fag, derfor ble prøven utsatt til neste kjemitime i forhold til den ordinære planen. Bruk av repetisjon som læringsstrategi er velkjent. Repetisjon kan være nyttig når man skal lære seg faktakunnskap. I disse øktene handler det ikke om å bare lære fakta, men å trenge dypere inn i fagstoffet ved å løse sammensatte oppgaver. I Piagets termer kalles dette assimilasjon der ny kunnskap knyttes til eksisterende kunnskap (Imsen 2005, s.317). Se for øvrig delkapittel 2.3.1 om kognitiv konstruktivisme.

### **9. økt**

I niende time gjennomførte vi en prøve uten hjelpemidler. Denne prøven ble benyttet som posttest (se tabell 3.4, i delkapittel 3.5).

### **3.5 Posttest**

Posttesten bestod av formuleringsoppgaver (som beskrevet i 3.1) som krevde selvstendige og utfyllende forklaringer på begreper og sammenhenger i det kjemiske fagstoffet, samt støkiometriske beregninger med varierende vanskelighetsgrad. I regneoppgavene (støkiometriske oppgaver) var vanskelighetsgraden knyttet til om oppgaven inneholdt skifte av variabler og enheter, en eller flere regneoperasjoner, multiplikasjons- eller divisjonsoppgaver, bruk av proporsjonale størrelser, bruk av vitenskapelig notasjon eller om oppgaven var satt inn i en ny kontekst. Langvarsoppgavene krevde at de kjemiske begrepene ble rett forstått og at elevene kunne se det kjemiske fagstoffet i sammenheng. Formålet med testen ble beskrevet i delkapittel 3.1 og resultatene fra testen presenteres i delkapittel 4.2.

Posttesten ble laget for å undersøke i hvilken grad elevene hadde nådd de undervisningsmålene jeg hadde satt opp som ble beskrevet i delkapittel 3.2. I tillegg inneholdt posttesten to emner fra pretesten. Disse emnene, makro- og mikronivået i kjemi og forholdet mellom koeffisienter i en formel, ble brukt for å se om elevene hadde fått større forståelse for dette kjemiske fagstoffet etter gjennomført undervisningsopplegg. Som beskrevet i 2.3, med Johnstones tretrinnsfigur, faller vekslingen mellom de ulike nivåene i kjemi ofte vanskelig for elevene. Jeg valgte å se på elevenes oppfatninger om makro- og mikronivå siden stoffmengde er en makroskopisk størrelse som er

bundet sammen med det mikroskopiske ved at stoffmengde er proporsjonal med antall partikler. Oppgaven, som gikk på forhold mellom koeffisienter, er sentral i støkiometriske beregninger. Elever som har vanskeligheter med å se forholdet mellom antall ioner i en formelenhet, vil også ha problemer når de skal se forholdet mellom antall mol i reaksjonslikninger.

Tabell 3.4 viser en oversikt over oppgavene som ble gitt på testen. Noen av spørsmålene krever utregninger og logisk tenking i flere trinn. Spesielt oppgave 7 ble formulert slik at den ikke kunne løses ut fra en algoritmisk løsningsmetode. Oppgaven satte krav til logisk tenking og forståelse. Enkelte oppgaver kunne løses algoritmisk og det kunne derfor være vanskelig ut fra en skriftlig test å vite om eleven hadde forstått lærestoffet eller bare hadde lært seg en fremgangsmåte for å løse slike oppgaver. Derfor ble slike spørsmål gjentatt under intervjudelen slik at elevene fikk mulighet til å forklare tankegangen sin.

Tabell 3.4 viser også hvilke oppgaver som var ment å teste de ulike målene.

Tabell 3.4. Posttest

| Mål.       | Oppgaver   |
|------------|--|
| Mål 1      | <b>Oppgave 1</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>I kjemi er det et samspill mellom mikro- og makronivå. Hvorfor er det vanskelig å bare forholde seg til ett av disse nivåene.</li> <li>Hva er definisjonen på mol? Forklar hva vi mener med stoffmengde.</li> <li>Hva har størst masse av 1 mol Fe og 1 mol H<sub>2</sub>O? Forklar</li> <li>1) Hva tror du er mest av et dusin appelsiner og et mol appelsiner? 2) Hvilke mengder er størst: 1000 appelsiner eller 1 mol appelsiner? 3) Hvor mange objekter er det i et mol?</li> </ol> |
| Mål 2 og 4 | <b>Oppgave 2</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>Når bruker vi begrepet molekylmasse, og når bruker vi begrepet formelmasse?</li> <li>Hva menes med begrepet molar masse?</li> <li>Finn molekylmassen til glukose (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>)</li> <li>Finn molar masse til eddiksyre (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>)</li> </ol>   |
| Mål 6      | <b>Oppgave 3</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>Hva er stoffmengden til 5g SO<sub>3</sub>?</li> <li>Hva er massen til 2 mol SO<sub>3</sub>?</li> <li>Hvor mange oksygen atomer er det i 2 mol SO<sub>3</sub>?</li> <li>Hvor mange vannmolekyler er det i en vanndråpe med <math>m = 9,00 \times 10^{-2}</math> g?</li> </ol>   |
| Mål 8      | <b>Oppgave 4</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>Bestem masseprosenten av nitrogen i denne forbindelsen: (N<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Mm = 156,1 g/mol</li> </ol>  |



|            |  |
|------------|--|
| Mål 5      | <p><b>Oppgave 5</b></p> <p>Reaksjonen der saltet <math>\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3</math> løses i vann er :</p> $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 (\text{s}) \rightarrow 2\text{Fe}^{3+} (\text{aq}) + 3\text{SO}_4^{2-} (\text{aq})$ <p>a) Hvor mange jernioner og hvor mange sulfationer er det pr formelenhet av saltet <math>\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3</math>?</p> <p>b) Hva blir forholdet mellom <math>\text{Fe}^{3+}</math> og <math>\text{SO}_4^{2-}</math> ?</p> <p>c) Hva blir forholdet mellom <math>\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3</math> og <math>\text{Fe}^{3+}</math> ?</p> |
| Mål 9      | <p><b>Oppgave 5</b></p> <p>d) Hvor mange mol <math>\text{Fe}^{3+}</math> er det i 250ml av 0,25mol/L <math>\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3</math>?</p>  |
| Mål 6 og 9 | <p><b>Oppgave 6</b></p> <p>a) Forklar og vis utregning på hvordan du vil lage 100ml 0,5mol/L <math>\text{CuSO}_4</math> løsning ut fra fast kobbersulfat- pentahydrat (<math>\text{CuSO}_4 * 5 \text{H}_2\text{O}</math>).</p>   |
| Mål 10     | <p><b>Oppgave 6</b></p> <p>b) Forklar og vis utregning på hvordan du du kan lage 1,0L 1,0 mol/L svovelsyreløsning ut fra den konsentrerte syren som har en konsentrasjon på 18mol/L.</p>   |
| Mål 9      | <p><b>Oppgave 7</b></p> <p>En medisin mot depresjon inneholder <math>\text{Li}_2\text{O}_3</math>. Litiumioninnholdet i blodet til en pasient var 1,4mg pr 100mL blod. Blodets litiumkonsentrasjon bør ikke overstige <math>1,5 * 10^{-3}</math> mol/L. Kan pasienten fortsette med medisinen. Utregning må vises.</p>   |
| Mål 3 og 7 | Ble ikke testet, kun intervju  |

### 3.6 Intervjuene

Gruppeintervjuene ble brukt til å finne ut hvordan elevene tenkte, samt hvordan de resonerte rundt sine besvarelser på posttesten. Intervjuene ble derfor et supplement til testen. Gjennom intervjuene kunne funn verifiseres og det kunne komme fram ny informasjon om elevenes forståelse eller misoppfatninger av molbegrepet. Hensikten var å bruke intervjuene til å bekrefte eller avkrefte om det skriftlige språket hadde betydning for elevenes prestasjon og finne ut hva den bakenforliggende årsaken var til elevenes handlinger. Intervjuene hadde også som hensikt å gi meg et bedre helhetsinntrykk ved å ha muligheten til å stille noen spørsmål som gikk på elevenes holdninger til faget, altså å utfylle testresultatene. Intervjuene ble presentert sammen med resultat- og diskusjonsdelen i delkapittel 4.2. Resultatene fra begge testene ble sammenholdt med intervjuene for å søke svar på problemstillingene.

Spørsmålene jeg laget kan kategoriseres i 3 grupper.

- Spørsmål som gikk på elevenes holdninger til kjemifaget
- Spørsmål som gikk på funn i testene vedrørende elevens misoppfatninger og upresise, manglende eller feilaktige formuleringer
- Spørsmål som gikk på elevens tilstedeværelse i timer og elevens vurdering av undervisningopplegget.

Som beskrevet i delkapittel 3.1, var intervjuet halvåpent og gav rom for diskusjoner underveis. Intervjuspørsmålene gitt i tabell 3.5 var kun veiledende.

Tabell 3.5: Veiledende intervjuspørsmål

### **Intervju spørsmål.**

- 1) Hvordan liker du kjemi? Hvorfor har du valgt kjemi?
- 2) Hvilke temaer liker du innenfor kjemifaget?
- 3) Hva synes du er vanskelig?
- 4) Hvordan har du likt å jobbe med mol(støkiometri)?
- 5) Har du lært noe?
- 6) Hva er et mol?
- 7) Hvorfor innfører vi begrepet mol?
- 8) Kan vi se atomer og molekyler? Innledning til å snakke om mikro- og makronivå.
- 9) Hvilken enhet har molekylmasse? Hva finner vi når vi regner ut det?
- 10) Hva er molar masse? Hva ligger i dette begrepet?
- 11) Hva ligger i begrepet masse? Har alle atomene lik masse? I oppgaven om hvem som har størst masse av vann og jern svarte du vann. Hva tenkte du da? Hvilken sammenheng er det mellom masse og mol?
- 12) På et spørsmål på prøven skulle dere regne ut antall oksygenatomer i 2mol  $\text{SO}_3$ . Hvor mange mol Oksygenatomer har du? Hvordan kan du finne ut antall Oksygenatomer?
- 13) Kan det forekomme at det er forskjell mellom konsentrasjonen av en formelenhet og et ion i formelenheten? feks.  $\text{Li}_2\text{O}_3$
- 14) Hva ligger i begrepet molart volum?
- 15) Avogadros tall er et stort tall. Hvilken sammenheng har det med mol. Er mol det samme som antall partikler?
- 16) Var dere borte i noen timer?
- 17) Hvordan synes dere undervisningopplegget har fungert? Noen forslag til endringer?
- 18) Andre ting som påvirket ditt arbeid med mol?

## Del 4 Resultater, diskusjon og implikasjoner

I del 3 betraktet jeg mål og gjennomføring av den kvalitative undersøkelsen. Jeg foretok en pretest i forkant og en posttest i etterkant av undervisningsopplegget, supplert med gruppeintervju av elevene. Hensikten med testene var å undersøke elevenes forståelse av begrepene stoffmengde og mol og hvordan elevenes forkunnskaper i matematikk og kjemi kunne påvirke elevenes forståelse ved innlæring av disse begrepene. Jeg antok at testene også kunne være til hjelp for å avdekke eventuelle misoppfatninger.

I dette kapittelet vil jeg først gi en kort oversikt over elevenes besvarelser på pretesten og posttesten uten å vurdere den. Resultatene fra pretesten vil så bli drøftet sammen med resultatene fra posttesten (kap 4). For å gi en best mulig oversikt over elevenes besvarelser, har jeg valgt å fremstille resultatene i tabeller og søylediagram for deretter å drøfte hver enkelt oppgave. En drøfting av de tre misoppfatningene (se delkapittel 2.5.4) jeg spesielt ønsket at elevene skulle unngå, blir omtalt i en egen del (4.4) Jeg har til slutt valgt å se spesielt på to elevprofiler, den regeltro Katrine og den selvstendig analyserende Truls (delkapittel 4.6). Denne delen av analysen kan gi innblikk i hvordan ulike elever løser moloppgavene, som igjen kan gi økt forståelse for hvorfor elevene svarer som de gjør. Intervjuene av elevene i etterkant av posttesten, ble brukt til å bekrefte eller avkrefte i utvalgte funn fra testene, samt avdekke eventuelle misoppfatninger. Intervjuene ble også brukt til å få et innblikk i hvordan elevene resonnerer da de svarte på pretesten og til å få et helhetsinntrykk av eleven.

Det var totalt 13 elever i klassen. 10 gjennomførte pretesten og 11 gjennomførte posttesten. De 11 elevene som gjennomførte posttesten ble fordelt på fire grupper som ble intervjuet. Elevene er sitert med pseudonymer.

Tabell 4 og tabell 5 presenteres med fargekoder og bokstaver. Den grønne fargen med bokstav (r) betyr at eleven har svart rett, den røde fargen med bokstav (f) betyr at eleven har svart feil og den røde fargen med bokstav (b) betyr at eleven har svart blankt. Rød farge indikerer altså «ikke riktig svar.»

I elevenes besvarelser kom det fram at elever som svarte feil på oppgavene eller som ikke kom fram til fasitsvar hadde løst oppgaven ved å bruke ulike fremgangsmåter. Når elever svarte feil, kunne det skyldes manglende forståelse av forhold mellom ioner, manglende ferdigheter i støkiometriske beregninger knyttet til de matematiske regneoperasjonene, vanskeligheter med å forstå den makroskopiske og den mikroskopiske verden og å veksle mellom disse to nivåene, eller en feilaktig

oppfatning av begrepene stoffmengde og mol. Jeg vil derfor se på elevenes besvarelser i lys av elevenes

- oppfatninger om molbegrepet og stoffmengde (4.3.1)
- matematiske ferdigheter i støkiometriske beregninger (4.3.2)
- forståelse av forhold mellom ioner og formelenheter (4.3.3)
- oppfatninger om makro- og mikronivå i kjemien (4.3.4)
- misoppfatninger (4.5)
- to elevprofiler (4.6)

Til slutt vil jeg gi noen implikasjoner ut fra de funn som er gjort.

#### 4.1 Resultat pretest

Pretesten tok altså for seg elevenes forkunnskaper i matematikk og kjemi. Tabell 4 viser hvem som svarte rett og galt på de ulike oppgavene. Diagram 1 gir en oversikt over hvor mange elever som har svart rett på oppgavene som skulle teste de matematiske ferdighetene (Oppgave 1 og oppgave 2), mens diagram 2 gir en oversikt over hvor mange elever som har svart rett på oppgaver som tester tidligere kunnskaper i kjemi (oppgave 3 til oppgave 7). Oppgavene vises i tabell 3.2 i delkapittel 3.3. Jeg har valgt å ha med denne tabellen for å vise en oversikt over hvilke oppgaver hver enkelt elev har hatt problemer med å løse for å lettere se sammenhenger mellom elevens besvarelser på oppgavene.

Tabell 4.1: Viser oversikt over rett og feil svar til hver elev på pretesten. r: rett, f: feil, b: blankt/ikke besvart

| Elev     | Oppg 1 |   |    |    |    | Oppg. 2 | Oppg.3 |   | Oppg.4 | Oppg.5 |   | Oppg.7 |   |
|----------|--------|---|----|----|----|---------|--------|---|--------|--------|---|--------|---|
|          | a      | b | C1 | C2 | C3 |         | B      | c |        | a      | a | b      | a |
| Katrine  | r      | r | r  | r  | f  | r       | R      | r | r      | r      | r | r      | r |
| Harald   | r      | r | r  | r  | b  | r       | F      | f | f      | f      | f | r      | r |
| Halvor   | r      | r | f  | r  | f  | r       | R      | f | f      | f      | f | r      | f |
| Inga     | r      | r | r  | f  | f  | r       | R      | r | r      | r      | r | f      | r |
| Kristian | r      | r | r  | r  | r  | r       | R      | r | r      | r      | r | r      | f |
| Knut     |        |   |    |    |    |         |        |   |        |        |   |        |   |
| Marit    | r      | r | r  | r  | f  | r       | R      | r | f      | r      | f | r      | r |
| Mona     | r      | r | r  | f  | f  | r       | R      | r | r      | r      | f | f      | f |
| Markus   | r      | r | r  | r  | f  | r       | R      | r | b      | r      | f | r      | f |
| Sivert   | r      | r | r  | r  | f  | r       | R      | r | b      | r      | r | r      | r |
| Truls    | r      | r | r  | r  | b  | f       | R      | r | b      | r      | b | b      | r |

Som vi ser av tabell 4.1 er det de samme elevene (Harald, Halvor og Mona) som svarer feil på fem eller flere av oppgavene, noe som tyder på at disse elevene har dårligere forkunnskaper enn de andre. Knut deltok ikke på pretesten.

#### 4.1.1 Forkunnskaper i matematikk

Diagram 1 viser en oversikt over hvor mange elever som svarte rett på matematikkoppgavene. Jeg har valgt å ha med søylediagrammet for å vise om det er spesielle oppgaver som faller vanskeligere for elevene enn andre oppgaver.



Diagram 1: Viser antall riktige svar på matematikkoppgavene.

I matematikkoppgavene i pretesten var det omgjøring av enheter som bød på problemer for elevene. De fleste elevene klarte å snu en matematisk formel, regne med prosent og de behersket forholdstallsregning. Som vi ser av diagrammet, hadde imidlertid noen av elevene problemer med omgjøring av enheter, spesielt omgjøring fra cL til L (1c2) og  $\text{cm}^3$  til L (1c3). Jeg vil se nærmere på resultatene fra pretesten under kapittel 4.3.

#### 4.1.2 Elevenes forkunnskaper i kjemi

Diagram 2 viser en oversikt over hvor mange elever som svarte riktig på oppgavene som omhandlet elevenes tidligere kjemikunnskaper. Jeg har av samme grunn som gitt i 4.1.1, valgt å ha med søylediagrammet for å vise om det er spesielle oppgaver som faller vanskeligere for elevene enn andre oppgaver.

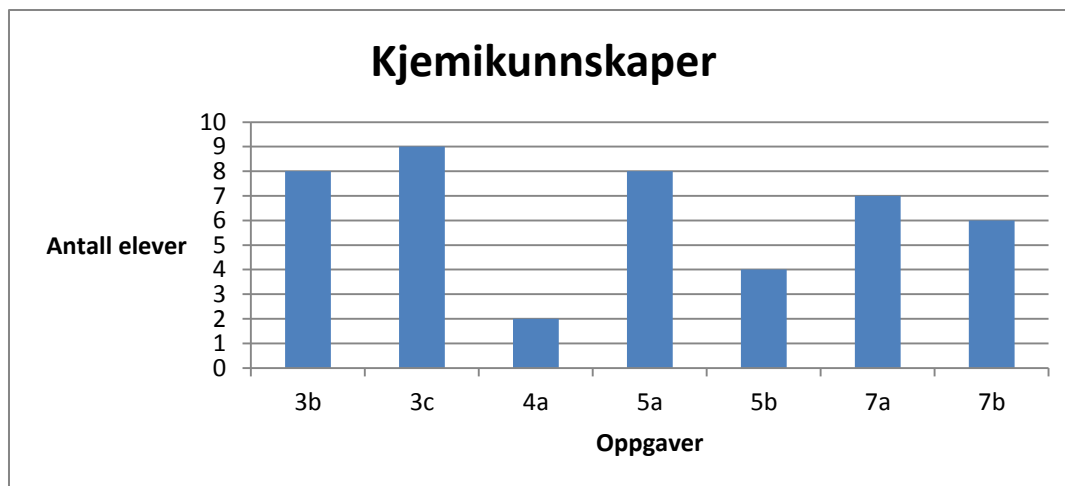


Diagram 2: Viser antall riktig svar på de målbare kjemioppgavene.

Pretesten viste at flertallet av elevene som deltok på denne testen hadde kunnskap om begrepene atom, molekyl og ion, men flere av elevene fikk problemer når de skulle anvende kunnskapen i andre sammenhenger, noe jeg kommer tilbake til. De fleste elevene klarte å finne riktige forholdstall for enatomige ioner (3b, c, 5a), men når formelen bestod av fleratomige ioner ble det tydeligvis vanskeligere for elevene (5b). Over halvparten av elevene klarte å skrive riktig formel for saltene kvikksølv(II)klorid og aluminiumoksid (7a og 7b). Dette blir drøftet i delkapittel 4.3.3

## 4.2 Resultat posttest

I dette delkapittelet tar jeg først for meg elevenes svar på oppgavene som kunne kategoriseres i rett eller feil svar. Tabell 4.2 viser en oversikt over hvordan elevene svarte. Denne tabellen er med for å kunne si noe om det er de samme elevene som svarer feil på oppgavene. Diagram 3 viser en oversikt over hvor mange av elevene som svarte riktig på disse oppgavene. Posttest vises i tabell 3.4 kapittel 3.5. Jeg har valgt å ha med en tabell som viser hvilke oppgaver hver enkelt elev har hatt problemer med å løse. Det vil kunne gjøre det lettere å se sammenhenger mellom elevenes besvarelser på oppgavene (jf pretesten).

Tabell 4.2: Viser oversikt over rett og feil svar på posttesten. r: rett, f: feil, b: blankt/ikke besvart.

| Elev     | 1 |   | 2 |   | 3 |   |    |   | 4 | 5  |   |   |   | 6 |   | 7 |
|----------|---|---|---|---|---|---|----|---|---|----|---|---|---|---|---|---|
|          | c | d | c | d | a | b | c  | d |   | a  | b | c | d | a | b |   |
| Katrine  | f | r | r | r | r | r | f  | f | r | r- | r | r | r | r | r | b |
| Harald   | r | r | r | r | r | r | r- | r | r | f  | f | r | r | b | r | f |
| Halvor   | f | r | r | r | r | r | r  | r | r | r  | r | r | r | r | b | f |
| Inga     | r | r | r | r | r | r | f  | r | r | r  | r | r | f | b | b | f |
| Kristian | r | r | b | r | r | r | f  | r | r | r  | r | r | f | b | b | b |
| Knut     | r | r | r | r | r | r | r  | r | r | r  | r | r | f | b | b | b |
| Marit    | r | r | r | r | r | r | r  | r | r | r  | r | r | r | r | r | f |
| Mona     | r | r | r | r | r | r | f  | f | f | r  | r | r | f | b | f | f |
| Markus   | r | r | r | r | r | r | r  | r | r | r  | r | r | r | f | r | f |
| Sivert   | r | r | r | r | r | r | r  | r | r | r  | r | r | r | f | r | f |
| Truls    | r | r | r | r | r | r | f  | f | r | r  | b | b | f | b | r | b |

Tabell 4.2 viser at det er de samme elevene (Kristian, Mona og Truls) som svarer feil eller blankt på seks eller flere av oppgavene, noe som viser at disse har manglende forståelse av oppgaver i posttesten. Den beste eleven er Marit, som har kun én feil.

Jeg har av samme grunn som gitt i 4.1.1 valgt å ha med søylediagrammet for å vise om det er spesielle oppgaver som faller vanskeligere for elevene enn andre oppgaver.



Diagram 3: Diagrammet viser antall riktige svar på de målbare oppgavene på posttesten.

Som det fremgår av diagram 3, er det oppgave 3c og de siste oppgavene 5d, 6a, 6b og 7 som byr på flest problemer for elevene. Alle disse oppgavene krever regneoperasjoner i flere trinn. Dette kommer jeg nærmere inn på under delkapittel 4.3.2.

### 4.3 Diskusjon av resultater

I denne delen vil jeg gå nærmere inn på elevenes svar på de ulike oppgavene samt, bruke deler av intervjuene til å få utdypet svarene. Jeg vil vurdere de svar som er knyttet til elevenes oppfatning av molbegrepet, elevenes matematikkunnskaper og prestasjoner i de støkiometriske oppgavene (4.3.2) og deres forståelse av forhold mellom ioner (4.3.3). Til slutt vil jeg se på hvilken forståelse elevene har til den mikroskopiske og makroskopiske delen av kjemifaget (4.3.4).

#### 4.3.1 Elevenes forståelse av molbegrepet

I delkapittel 1.2 beskrev jeg hvilke betydninger molbegrepet fikk fra det ble brukt første gang av Ostwald i 1889. Jeg tok utgangspunkt i disse ulike betydningene da jeg i delkapittel 1.3.6 så på hvordan lærebøkene definerte mol. I dette delkapittelet vil jeg ta utgangspunkt i de ulike betydningene mol har hatt gjennom historien og undersøke hvilke oppfatninger elevene i min undersøkelse har om molbegrepet. Tabellen nedenfor viser en oversikt over de ulike definisjonene som jeg har valgt å kalle D1, D2, D3 og D4.

| D1  | D2  | D3   | D4  |
|---|---|--|---|
| Mol brukes synonymt med et antall partikler/ Avogadros tall | Mol brukes synonymt med masse eller molar masse | Mol er en mengde som inneholder Avogadros tall | Mol er enheten til størrelsen stoffmengde, og brukes i samsvar med IUPAC sin definisjon |

I oppgave 1b) skulle elevene gi en definisjon av mol og forklare hva stoffmengde var. De fleste av elevene definerte mol synonymt med Avogadros tall eller som  $6,022 \cdot 10^{23}$  (D1). Eksempler på slike besvarelser er:

Halvor: Definisjonen på mol er at 1 mol beskriver hvor mange atomer det er i en enhet. Mol er definert som  $6,022 \cdot 10^{23}$  noe som er et avrundet tall. Tallet brukes til alle formelenheter og er et bestemt tall, som skal beskrive hvor mye atomer det er i det bestemte stoffet.



Marit: Ett mol er en konstant som hjelper til å regne ut antallet partikler det er i en viss mengde av et stoff.  $1 \text{ mol} = 6,022 \cdot 10^{23}$

Mona: En mol er  $6,022 \cdot 10^{23}$

Kristian definerte imidlertid mol som en mengde som inneholder Avogadros tall (D3)

Kristian: Mol er da stoffmengde og 1 mol er da samme antall partikler uansett hvilket stoff det er. Antall partikler i et mol er da  $6,022 \cdot 10^{23}$  som er Avogadros tall.

Noen av elevene definerte mol som enheten til stoffmengde, men brukte ikke IUPAC sin definisjon (D4). Eksempel på en slik definisjon er:

Harald: Mol er måleenheten vi bruker om stoffmengde. Stoffmengde er antall partikler i et stoff og med 1 mol mener vi  $6,022 \cdot 10^{23}$  partikler.

Ingen av elevene definerte mol som en masse (D2).

Som nevnt mente de fleste elevene at mol er et begrep som er synonymt med Avogadros tall. En elev oppfattet mol som en mengde og noen elever oppfatter mol som enheten til stoffmengde. De fleste elevene hadde altså en upresis definisjon av mol. Hvorvidt dette skyldes misoppfatninger eller dårlige, eventuelt upresise formuleringer er vanskelig å si. Flere andre undersøkelser konkluderer med at elever ofte bruker mol synonymt med masse eller antall partikler av et tall (Furio et al 2002). Furio et al (2000) hevder at feilaktig oppfatning av begrepet mol kan være overført fra den operative definisjonen av «antall mol» som er lært som  $n = m/M_m$ .

I mitt undervisningsopplegg (se 3.4.2) la jeg vekt på å bruke IUPAC sin definisjon av mol. Elevene fikk ikke utdelt noen skriftlig kopi av IUPAC sin definisjon. Læreboka til elevene, *Kjemien stemmer* (Grønneberg et al 2007), ble presentert i delkapittel 1.3.6 Denne læreboka presenterer ikke mol som Avogadros tall slik en del andre norske og utenlandske lærebøker gjør (se delkapittel 1.3.2 og 2.1.5). Boken gir en forklaring på begrepet mol som er i samsvar med IUPAC sin definisjon, men den presenterer ingen definisjon av begrepet. Karbon-12 isotopen er ikke nevnt. Det er kanskje for mye forlangt å kreve at elevene skal kunne definisjoner som ikke står beskrevet i læreboken? Undersøkelser gjort av Cervellati et al (1982) og Staver og Lumpe (1995) viser at elever ofte danner seg alternative oppfatningen av molbegrepet. Selv om elevenes definisjoner ikke er i samsvarer med IUPACs definisjon, kan vi se at de gjør mye riktig, blant annet som det å knytte molbegrepet til Avogadros tall. Det som er viktig i denne sammenheng er at slike alternative oppfatninger kan bidra til vanskeligheter når elevene skal løse støkiometriske problemer (Claesgens og Stacy (2003). De

som oppfatter mol som Avogadros tall vil i følge Staver og Lumpe (1995) få problemer med å løse oppgaver med mol. Jeg vil se på hvordan elevene presterte på de matematiske oppgavene i neste kapittel. La oss se først se på hvordan elevene besvarte oppgave 1c som gikk ut på å forklare hva som har størst masse av 1 mol Fe og 1 mol H<sub>2</sub>O.

Nesten alle elevene svarte riktig at jern hadde størst masse fordi hvert jernatom veide mer enn hvert vannmolekyl. Katrine svarte at ett mol vann har større masse fordi det inneholder flere partikler. Jeg kommer tilbake til Katrines besvarelse i delkapittel 4.6 Halvor svarte: « 1Mol Fe inneholder  $6,022 \cdot 10^{23}$  u, mens H<sub>2</sub>O inneholder  $2 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} + 6,022 \cdot 10^{23} = 1,81 \cdot 10^{24}$  u». Halvor setter altså vekten av en partikkel til 1u og tar ikke hensyn til at ulike atomer har ulike relative atommasser.

Under intervjuet sa alle elevene at de hadde forstått hva begrepet mol står for. Som nevnt kan elevenes upresise formuleringer medføre at de ikke svarer helt korrekt på oppgaven, selv om de har forstått begrepet.

Her er et utdrag fra intervju med gruppe 3:

Lærer: Har dere forstått hva mol er?

Alle tre: Ja

Lærer: Noen som vil fortelle det?

Harald: Mol er et antall partikler uansett hvilket stoff det er.

Lærer: Er det noe forskjell på antall partikler og et mol?

Harald: Hva mener du?

Lærer: Hvis du har 6 mol vil det si det samme som 6 partikler?

Harald: Nei, Avogadros tall ganger antall mol gir antall partikler. Avogadrostall er 6,022 ganger ti i tjuetredje partikler som er antall partikler i et mol.

Det ser ut til at Harald har forstått at antall partikler ikke er det samme som mol og at ett mol er proporsjonalt med antall partikler. Han var også blant dem som hadde en besvarelse som samsvarte med IUPAC sin betydning av begrepet mol. Både kortsvarsoppgavene og langsvarsoppgavene krever at elevene har god formuleringsevne og som språkforskerne Maagerø og Skjebred (2010, s. 78) sier, krever realfagene et presist språk for å unngå feiltolkninger. Fagspråket er med på å gjøre teksten mer presis og dermed skille de ulike prosessene fra hverandre. La oss se på hvordan elevene klarte å forklare begrepet molar masse, som var spørsmålet i oppgave 2. De fleste elevene i undersøkelsen forklarte molar masse ut fra den operasjonelle definisjonen;  $M_m = m/n$ . Elevene hadde heller ingen problemer med å finne molekylmassen til glukose (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) og molar masse til eddiksyre (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>).

Som vi har sett, er det altså flere av elevene som ser ut til å ha alternative oppfatninger av molbegrepet, noen som kan påvirke elevenes prestasjoner i støkiometriske beregninger. Jeg vil nå se på det elevene presterte på de støkiometriske oppgavene.

#### 4.3.2 Matematiske ferdigheter og støkiometri.

Jeg vil i denne delen diskutere elevenes besvarelser knyttet til kunnskaper i matematikk og se på hvordan elevene behersker matematiske regneoperasjoner i de støkiometriske beregningene. Først vil jeg ta se på oppgave 1 fra pretesten (se delkapittel 3.3), som jeg har valgt å gjengi her.

##### Oppgave 1

- a) Snu formelen  $b = v/h^2$  og finn en formel for  $v$  uttrykt ved  $h$  og  $b$ .
- b) Et smykke veier 20 gram. Smykket er en legering av 13g gull og 7 gram andre metaller. Hvor mange prosent gull er det i smykket?
- c) Gjør om til L: 1) 250mL 2) 39cL 3) 300cm<sup>3</sup>

På pretesten viste elevene gode matematikkferdigheter. Alle elevene klare å snu en formel (1a) og regne ut prosentinnholdet av gull i en legering (1b). Nesten alle klarte å gjøre om ml til L (1c1) og cl til L (1c2), men et var nesten ingen som klarte å gjøre om cm<sup>3</sup> til L (1c3).

Under intervjuet av gruppe 2 (Inga, Marit og Sivert) fikk jeg bekreftet (av Inga) at oppgaven ble vanskeligere når den inneholdt andre enheter enn de enhetene elevene vanligvis brukte å regne med nemlig mg og mL i forhold til om enhetene hadde vært gram og liter. Elevene fikk også en ekstra utfordring hvis tallene var skrevet på standardform (potensform), noe jeg kommer tilbake til. Også andre elever strevde med enheter og bruken av dem. I oppgave 7 på posttesten skulle elevene finne ut om en pasient som hadde en bestemt konsentrasjon i blodet kunne fortsette med medisin (se delkapittel 3.5). Mona skrev følgende svar på denne oppgaven: « $1,5 * 10^{-3} = 0,0015\text{mol/L}$  (maks litiumkonsentrasjon),  $1,4\text{mg} = 0,0014\text{L}$  (pasientens litiumkonsentrasjon). Pasienten kan fortsette med medisin». Som vi ser, har ikke Mona kontroll over enhetene; hun setter massen likt med volum og sammenligner konsentrasjon og volum, med andre ord sammenligner inkompatible størrelser. I følge en undersøkelse gjort av Dahsan og Coll (2007) brukte flere av elevene også enheter synonymt med hverandre (se delkapittel 3.5.4). Både pretesten og posttesten viste at noen av elevene i min undersøkelse ikke hadde kontroll over enhetene. Dette er forenelig med Dori og Hameiri (2007) som sier at de kvantitative problemene ofte bunner i matematiske operasjoner som proporsjonalitetsregning og det å kunne gjøre om enheter.

På oppgave 3d skulle elevene finne hvor mange vannmolekyler det er i en vanddråpe med  $m = 9,00 \times 10^{-2}$  g. Elever som ikke kan se sammenhenger mellom enhetene i formelen, kan få problemer med å forstå hvilken formel han skal bruke og hvilke variabler som kan brukes i formelen. La oss se på Knut sin besvarelse.

$$n = \frac{v}{V_m} = \frac{250 \text{ ml}}{0,25 \text{ mol/L}} = \frac{0,25 \text{ L}}{0,25 \text{ mol/L}} = 1$$

Et mol  $\text{Fe}^{3+}$

Knut bruker formelen for molart volum av gasser. Han setter ikke det molare volumet konstant lik 24,5 l slik det gjelder for gasser ved standardbetingelser. Det ser ut til at han prøver å finne en matematisk formel som skal passe til opplysningene, men mangler tydelig kunnskap om hva de ulike bokstavene i formelen betyr og hvilken betydning enhetene har. Jeg legger merke til at Knut skriver at L delt på mol/L blir mol. Knut mangler derfor en forståelse hvordan han skal bruke enheter i matematiske beregninger. Elevene bruker også feil formel, noe som viser at han mangler forståelse for de støkiometriske begrepene. Denne løsningsmetoden antyder at eleven bruker en algoritmisk fremgangsmåte, men at han ikke har memorert formelen og fremgangsmåten godt nok. I følge Gabel og Sherwood (1984) bruker elever som har en alternativ oppfatning av begrepene algoritmer når de løser numeriske oppgaver. Som nevnt sammenlignet Mona størrelser som hadde forskjellige enheter. Dette gjenspeiler seg også på en annen oppgave. La oss se på Mona sin besvarelse på oppgave 3d.

$$m = 9,00 \times 10^{-2} \text{ g} = 88 \text{ g}$$

$$\text{H}_2\text{O} = (1,008 \times 2) + 16 = 22,0$$

$$88/22 = 4$$

4 vannmolekyler

Som vi ser av besvarelsen, bruker Mona  $10^{-2}$  som  $10^{-2}$  og tillegg finner hun et forhold ved å ta massen i gram delt på den molare massen (som ikke setter enhet bak). Dette viser at Mona ikke ser ut til å beherske bruk av enheter i matematiske regneoperasjoner og mangler forståelse for hvordan enhetene er knyttet til de ulike størrelsene.

En støkiometrisk oppgave som innebefattet bruk av prosentregning var oppgave 4. Oppgaven lød slik: «Bestem masseprosenten av nitrogen i denne forbindelsen:  $(\text{N}_2\text{H}_2)_2\text{SO}_4$ .  $M_m = 156,1 \text{ g/mol}$ .» Alle elevene bortsett fra Mona regnet denne oppgaven riktig. Hun brukte 2 nitrogenatomer per

formelenhet i stedet for 4 nye, noe som tyder på at det er nomenklaturen som faller vanskelig for henne og ikke prosentregningen. Som nevnt regnet alle elevene riktig på prosentoppgaven på pretesten noe som kan ha sammenheng med prestasjonen på denne oppgaven. Masseprosent var også spesielt behandlet i undervisningsopplegget (se vedlegg 4). Metoden som jeg benyttet kan ha virket positivt på læringen, men det er selvsagt vanskelig å si om korrekt besvarelse skyldes en algoritmisk fremgangsmåte eller om eleven har forstått regneoperasjonen. Jeg vil påstå at å lykkes med en slik oppgave krever matematikkunnskaper fremfor å forstå kjemiske begreper. Elever som behersker regning med forholdstall og prosent vil, med unntak av krav til rett bruk av kjemisk notasjon, finne denne oppgaven mindre krevende. La oss videre på hvordan elevene behersket forholdstall.

Oppgave 2 på pretesten lød slik: «I en kiosk selger de to typer cola: P -cola og C- cola. Forholdet mellom P- cola og C-cola er 5 : 7. Hvor mange flasker P-cola selger de når de selger 504 flasker C-cola?» Alle elevene med unntak av Truls klarte å løse denne oppgaven. Det tyder på at disse elevene har en viss forståelse for proporsjonale størrelser. Men en oppgave er ikke nok til å generalisere og hevde at elevene behersker proporsjonalitetsregning fullt ut. Elever som er flinke i proporsjonalitetsregning være flinkere til å løse støkiometriske oppgaver (Gabel og Sherwood 1984). Jeg kommer tilbake til besvarelsen til Truls i delkapittel 4.5. Det viste seg derimot at det var flere elever som ikke behersket bruk av forholdstall i flere av de støkiometriske oppgaver på posttesten. Det kommer jeg tilbake til i delkapittel 4.3.4.

Matematiske oppgaver som foregår i flere trinn krever større grad av refleksjon og resonnering. I følge I følge Gabel og Sherwood (1984) har elever problemer med å løse støkiometriske oppgaver som krever bruk av flere regneoperasjoner etter hverandre. La oss se på oppgave 6 som er av en slik karakter:

### Oppgave 6

- Forklar og vis utregning på hvordan du vil lage 100ml 0,5mol/L  $\text{CuSO}_4$  løsning ut fra fast kobbersulfat-pentahydrat ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ ).
- Forklar og vis utregning på hvordan du du kan lage 1,0L 1,0 mol/L svovelsyreløsning ut fra den konsentrerte syren som har en konsentrasjon på 18mol/L

Under halvparten av elevene besvarte oppgave 6a) helt riktig. Elevene hadde selv utført en tilsvarende oppgave på laboratoriet da de skulle lage løsninger (se vedlegg7). Denne oppgaven krever bruk av flere formler. Oppgaven var ikke delt opp i flere trinn og elevene måtte selv

resonnere seg fram til fremgangsmåten, eller eventuelt huske fremgangsmåten de brukte på laboratoriet, for å kunne løse oppgaven. Noen av elevene svarte helt blankt på denne oppgaven, mens andre greide å finne stoffmengden uten å finne massen som tilsvarte denne stoffmengden. Det kan tyde på at noen av elevene vanligvis velger en algoritmisk fremgangsmåte for å finne massen, mens i dette tilfelle måtte de være i stand til å bruke sammenhengen mellom stoffmengde og masse i gram. Austudillo og Nias (1996 referert i Claesgens 2003), konkluderer med at elever som viser en forståelse for sammenhengen mellom masse-mol-masse eller masse-mol-mengde lykkes med molberegninger. Som vi har sett i delkapittel 4.3.1 var det flere av elevene som hadde alternative oppfatninger av molbegrepet noe som kan hindre dem i forstå de nevnte sammenhengene. Samtidig vil elever som ikke behersker bruk av enheter, ha vanskeligheter med å vite hvordan formlene er relatert til hverandre.

Noe over halvparten av elevene svarte riktig på oppgave 6b. Elevene hadde utført en liknende oppgave på laboratoriet. Fire av elevene svarte blankt på oppgave 5b. Mona hadde riktige beregninger, men visste ikke hvilket volum hun hadde funnet. Hun forvekslet volumet av løsningen med volumet av vann. Dette kan tyde på at denne eleven bruker fortynningsformelen som en algoritmisk fremgangsmåte uten å ha forståelse for sammenhengen mellom stoffmengde og volum. Mona har også i andre besvarelser vist manglende forståelse der hun blander sammen enheter. Og som nevnt vil elever som ikke forstår de kjemiske begrepene ofte velge en algoritmisk fremgangsmåte. Resten av elevene løste denne oppgaven riktig ved å bruke fortynningsformelen som ble gjennomgått i 5. økt (se vedlegg 5). En undersøkelse gjort av Duncan og Johnstone (1973) konkluderer med at fortynning av en løsning faller vanskelig for elevene fordi de ikke bruker fortynningsformelen, men beregner den nye konsentrasjonen uten å ta hensyn til volumendringen. Jeg valgte derfor å bruke fortynningsformelen i min gjennomgåelse (se vedlegg 5). Og det ser ut til at de elevene som hadde lært å bruke den, kunne beregne fortynning av løsninger.

Fortynningsformelen står ikke i elevenes lærebok så de var avhengig av lærerens gjennomgåelse.

Etter min mening var oppgave 6 av en slik karakter at eleven enten måtte enten ha lært seg en algoritmisk fremgangsmåte og memorert denne, eller så måtte eleven ha forstått de ulike begrepene og ha evne til å resonner seg fram til løsningen. Det er tydelig at de fire elevene som svarte blankt ikke har memorert noen fremgangsmåte. Årsaken til at disse oppgavene falt vanskelig for noen av elevene, kan være mangel på forståelse av grunnbegrepene, liten evne til resonnerement eller en manglende forståelse for den mikroskopiske og den makroskopiske verden. Mangelen på forståelse kan også ligge i at begrepene er abstrakte og at disse elevene ikke har nådd det formelt-operasjonelle nivået som kreves for å løse disse oppgavene (Niaz 1985). I følge Jensen (2004) kan

mangel på begrepsforståelse hindre elevene i å løse oppgaver der de tradisjonelle formlene ikke er gitt.

De støkiometriske oppgavene som bare krevde bruk av en formel hadde de fleste elevene små problemer med å løse. Men oppgaver som var av en slik art at elevene måtte ta i bruk flere formler eller der fremgangsmåten ikke var gitt på forhånd, bød på langt flere problemer for elevene. Dette slutter seg til tidligere studier som er gjort av Gabel og Sherwood (1984). De hevder at elevenes vanskeligheter med støkiometri ofte oppstår fordi oppgaver knyttet til mol som regel foregår i flere trinn. I neste delkapittel vil jeg se på hvordan elevene behersker forholdstall.

### 4.3.3 Forhold mellom ioner og formelenheter

Som det kom fram i forrige delkapittel, hadde mange elever problemer knyttet til bruk av forholdstall og proporsjonale størrelser når de skulle løse de støkiometriske oppgavene. Problemer knyttet til bruk av forholdstall kan henge sammen med manglende kunnskaper om den kjemiske nomenklaturen eller mangel på evne til å forstå hvordan begrepene er relatert til hverandre, som hvordan stoffmengde er proporsjonal med antall partikler.

Først vil jeg ta for meg hvilke kunnskaper elevene har om den kjemiske nomenklaturen. Å vite hva koeffisientene betyr i en formel er en forutsetning for å kunne bruke forholdstall i flere av de støkiometriske oppgavene. Jeg vil derfor se på hvordan eleven presterte på oppgaver på pretesten som innebefattet bruk av forholdstall.

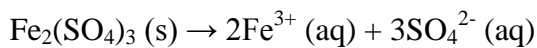
I oppgave 3a på pretesten skulle elevene finne forholdet mellom antall ioner i formelenheten  $\text{FeCl}_3$  og i 3b skulle de finne forholdet mellom antall kloridioner og formelenheter. De fleste elevene svarte riktig på begge disse oppgavene, noe som tyder på at de i min undersøkelse klarte å finne rett forholdstall når formelen består av enatomige ioner. Oppgave 5a gikk ut på at elevene skulle finne hvor mange jernioner og hvor mange nitrationer er det pr formelenhet av saltet  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ . Nesten alle elevene svarte riktig også på denne oppgaven noe som viser at mange av elevene også ser ut til å beherske å finne forholdstall mellom fleratomige ioner. Oppgave 5b bød på større problemer. Oppgaven gikk ut på å finne ut hvor mange oksygenatomer er det per formelenhet av saltet  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ . Under halvparten svarte riktig på oppgave 5b. Det ser ut til at ikke alle har forstått hvordan den kjemiske nomenklaturen brukes. Kjemisk nomenklatur har blitt undervist før elevene startet med molbegrepet. På oppgave 7 skulle elevene skrive formel på kvikksølv(II)klorid (a) og aluminiumoksid (b). Noe over halvparten klarte å finne riktig formel. Det kan se ut til at ikke alle elevene behersker det kjemiske språket med formler og symboler. Det interessante er da hvordan

elever som ikke behersket den kjemiske nomenklaturen presterte på de støkiometriske oppgavene. Oppgaver knyttet til forholdstall problemstillingene var også et tema på posttesten. Jeg vil se på noen av elevenes besvarelser knyttet til dette temaet og hvilke feil disse elevene gjør.

På oppgave 5 på posttesten skulle elevene både finne og anvende forholdstall mellom ioner i et salt. Jeg har valgt å gjengi denne oppgaven her.

### Oppgave 5

Reaksjonen der saltet  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  løses i vann er:



- Hvor mange jernioner og hvor mange sulfationer er det pr formelenhet av saltet  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ?
- Hva blir forholdet mellom  $\text{Fe}^{3+}$  og  $\text{SO}_4^{2-}$  ?
- Hva blir forholdet mellom  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  og  $\text{Fe}^{3+}$  ?
- Hvor mange mol  $\text{Fe}^{3+}$  er det i 250ml av 0,25mol/L  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ?

På oppgave 5 a, b og c svarte alle elever riktig, med unntak av Truls og Harald som er i samsvar med pretesten. Truls og Harald hadde problemer med å skrive ned forholdet mellom ionene. Som nevnt skal vi se nærmere på Truls sine besvarelser i delkapittel 4.6. La oss se på besvarelsen til Harald som svarte feil/upresist på a og b. Harald ser ut til å forstå oppgaven, men roter med måten han fører oppgaven på (se svar under).

Haralds svar på oppgave 5:

- Jernioner:  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ :  $\text{Fe}_2$   
1:2  
 $1:2*3 = \underline{6}^+$  jernioner  
Sulfationer:  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ :  $(\text{SO}_4)_3$   
1:3  
 $1: 3*2 = \underline{6}^-$  sulfationer
- $\text{Fe}^{3+}_2 : (\text{SO}_4^{2-})_3$   
 $6^+ : 6^-$
- $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ :  $\text{Fe}^{3+}$   
1: 2
- Mol (n):?  
 $n = c*v$   
 $n = 0,25 * 0,25\text{L}$   
 $n = 0,00625$



$$\begin{array}{l} \text{Forhold: Fe}_2(\text{SO}_4)_3: \text{Fe}^{3+} \\ \qquad \qquad \qquad 1: 2 \\ 0,00625 * 2 = \underline{0,125 \text{ mol Fe}^{3+}} \end{array}$$

I oppgave a og b svarer ikke Harald på spørsmålet, men det ser ut til at han vet at det er to jernioner per tre sulfationer, selv om han var mest opptatt av å vise at ioneladningen stemmer. Harald hadde også problemer med å svare på oppgaver om forhold mellom ioner på pretesten. På oppgave c) viste Harald at han har forstått hvilket forhold det er mellom formelenheten og ionet. Han regner også korrekt med dette forholdet i oppgave d. Under intervjuet fikk jeg bekreftet at Harald i likhet med de andre elevene hadde god forståelse av forholdet mellom ioner og formelenheter (Utdrag fra intervju av gruppe 4):

Lærer: Hva blir forholdene mellom ionene i  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ ?

Harald: 1:2

Lærer: Ja, ser du også det Katrine?

Katrine: Nei

Lærer: Har du lyst til å forklare henne det? [henvender meg til Harald]

Harald: Det der er en enhet [peker på formelenheten] og så er det 2 Fe inni der

Katrine: Å ja, sånn ja, skjønte det egentlig

Av denne samtalen ser vi at Harald har forstått hvilket forhold det er mellom ioner. Det ser ut til at det var formuleringen på oppgaven som gjorde at Harald var usikker på hva som ble forventet i svar. Med andre ord en manglet på forståelse for hva som ligger i begrepet forhold.

I følge Schmidt (1990, referert i Barke, Hazari, Yitbarek 2009, s.127) er det vanlig at elevene ikke mestrer å skrive ned ionene i en forbindelse. En undersøkelse gjort av Schmidt viste at mange elever ikke klarte å vise hvor mange natriumioner og fosfationer det var i formelen  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . Saltet ble brutt ned til  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Na}_3^+$ ,  $\text{Na}_3^{3+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{PO}_4^-$ ,  $\text{NaPO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}_2\text{PO}_4^-$  eller fullstendig ned til  $\text{Na}^+$ ,  $\text{P}^{5+}$ ,  $\text{O}^{2-}$ . Elevene klarer ikke å bryte ned saltforbindelsen til de riktige ionene, mener Schmidt. Videre har Schmidt gjort undersøkelser som viser at elever ikke klarer å finne riktige forhold mellom ionene i en formel. Det ser ut til at elevene blander indekser, ladninger og koeffisienter i formelen og bruker dem på feil måte. Det har vist seg at elever som ikke klarer å se forholdet mellom ioner i formelen prøver å finne svaret ved å se på masseforholdet mellom de involverte ionene (ibid). Ingen av elevene i min undersøkelse delte opp ionene på en slik måte som i Schmidts undersøkelse og de fleste elevene klarte å finne riktige ioneforhold når de ble spurt om ioneforholdet. Problemet lå i å kunne anvende denne kunnskapen i støkiometriske beregninger, noe jeg kommer tilbake til.

I min undervisningsperiode la jeg vekt på at elevene skulle bedre sin forståelse av forhold mellom ioner slik at de senere skulle ha mulighet for å løse støkiometriske oppgaver med mol som innbefatter bruk av forholdsregning. Jeg presenterte en Power Point for elevene der ionene ble tegnet som sirkler for å visualisere ioneforholdet (se vedlegg 3). Som jeg beskrev i delkapittel 2.1.1 har det vist seg at mange elever ikke behersker operasjoner på formelt-operasjonelt nivå. Jeg mente at en visualisering ville kunne hjelpe elever som fungerer på konkret-operasjonelt nivå. I følge Treagus og Thiele (1991) er det en generell enighet om at analogier kan hjelpe elever som fungerer på et lavt kognitivt nivå. Det at de fleste elevene klarte å finne forholdstall mellom ioner når de løste oppgavene kan ha sammenheng med denne visualiseringen. Under intervjuene kom det frem at det var store variasjoner elevene i mellom når det gjaldt å kunne bruke riktige forholdstall mellom ioner i formelenheter for å kunne foreta korrekte beregninger. Noen uttrykte at de behersket det med en gang, mens andre måtte bruke lang tid. De fortalte at forståelsen kom etter hvert som de jobbet med de støkiometriske oppgavene. Andre fortalte at lærerens visualisering av ionene ved hjelp av Power Point gjorde at det ble lettere å forstå.

Som nevnt var det anvendelse av ioneforholdet i støkiometriske beregninger som falt vanskelig for elevene. Jeg vil se på to typer feil som det er verd å legge merke til. Den ene typen feil går på å bruke forholdstallet mellom ioner likt forholdet mellom molare masser. La oss ta for oss oppgave 3c, der elevene skulle finne ut hvor mange oksygenatomer er det i 2 mol SO<sub>3</sub> og se hvordan Inga svarte på denne oppgaven:

$$\text{SO}_3 : 18,07\text{g/mol} * 2$$

$$\text{S: } 32,07\text{g/mol}$$

$$\text{O}_3: 16 * 3 = 48\text{g/mol} \quad \frac{48\text{g/mol}}{480,07\text{g/mol}} = 0,6$$

$$2 * 0,6 * 10^{23} = \underline{7,2 * 10^{23}} \text{partikler}$$

Inga har i likhet med to andre valgt å bruke forholdet mellom molare masser i stedet for molforholdet. Å bruke masseforhold i stedet for molforhold sammenfaller med resultater i studien til Dahah og Coll (2007), der elevene satte molforholdet likt med masseforholdet. I følge Smith(1992) er det en vanlig feil at elever setter masseforholdet likt stoffmengdeforholdet. Årsaken til at elevene gjør denne feilen kan henge sammen med manglende forståelse av begrepene stoffmengde og mol. Elevene ser ikke ut til å forstå at forholdet mellom atomene eller ionene i en formel er knyttet til forholdet mellom partiklene der stoffmengden er proporsjonal med antall partikler. En undersøkelse gjort blant Staver og Lumpe (1995) så på hvordan elevene presterte på de

numeriske oppgavene i forhold til elevenes oppfatning av begrepet mol. Han uttrykker at elever som oppfatter molbegrepet som en tall ser ut til å ha problemer med å løse støkiometriske oppgaver. Inga definerte mol slik: «Mol er en måleenhet som er ett begrep på hvor mange atomer det er i 1 mol og det er  $6.022 \cdot 10^{23}$  atomer.» Som vi ser av besvarelsen vet hun at mol er en måleenhet, men resten av definisjonen viser at hun oppfatter mol som stoffmengde. Det er stoffmengden som forteller hvor mange partikler det er i et mol av et stoff. Hun oppfatter derfor mol som stoffmengde. Oppfatning D3 som ble beskrevet i delkapittel 4.3.1. Inga ser ut til å ha en alternativ oppfatning av begrepet mol noe som kan være årsaken til at eleven gjør denne feilen. Katrine gjør også den samme feilen noe jeg kommer tilbake til i delkapittel 4.6.

Den andre feilen som jeg legger merke til er at elevene bruker forholdets tallet slik at alle partiklene skal fordels på alle atomene i formelen. La oss bruke Kristian sin besvarelse som eksempel:

Der 2 mol  $\text{SO}_3 = 12,044 \cdot 10^{24}$  partikler

Forhold  $\text{O}_3 \rightarrow \text{S} = 3:1$

$$\frac{1,2044 \cdot 10^{24}}{4} = 3,011 \cdot 10^{23}$$

$$3,011 \cdot 10^{23} \cdot 3 = \underline{9,033 \cdot 10^{23}}$$

$\frac{3}{4}$  av  $\text{SO}_3$  er O, derfor er det  $9,033 \cdot 10^{23}$  partikler O i  $\text{SO}_3$ , 2mol

Kristian regner ut hvor mange partikler det er i to formelenheter, noe som er riktig. Deretter kan vi legge merke til at han korrekt finner forholdet mellom atomene i formelen. Men så mener han at denne mengden partikler må fordeles på alle atomene i formelen. Hvis mol hadde stått for masse ville denne oppgaven vært riktig besvart. Det kan se ut til at eleven tenker at denne mengden partikler er en masse som må fordeles på alle atomene i formelen. Det kan tyde på at eleven mangler forståelse om at stoffmengde er en makroskopisk størrelse som baserer seg å telle partikler på en makroskopisk måte. Beregningene tyder på at Kristian tar utgangspunkt i masse og ikke i antall partikler. Dette faller sammen med resultater fra tidligere studier av blant annet Cervelatti et al (1982) som konkluderte med at elever ofte oppfatter mol som masse. Kristian var blant de som definerte molbegrepet som et tall. Han skrev følgende: «Mol er en bestemt måleenhet i forhold til stoffer. Det er et bestemt antall partikler av et stoff. Tallet er  $6.022 \cdot 10^{23} \cdot \text{mol}^{-1}$  beskriver antall partikler av gitt stoff per mol.» Det ser ut til at han også oppfatter mol som et tall. En alternativ oppfatning kan være årsaken til at han bruker forholdet mellom ionene i formelen feil.

På mer sammensatte oppgaver ser det ut til at elevene glemmer å ta i bruk forholdet. Oppgave 7 krevde at elevene måtte bruke forholdet mellom en formelenhet og et ion for å løse oppgaven. Noe under halvparten av elevene klarte å finne konsentrasjonen av formelenheten, men de brukte ikke forholdet for å finne konsentrasjonen av det etterspurte ionet. Jeg har valgt å gjengi oppgaven her og se på hvordan Inga løser denne oppgaven.

### Oppgave 7

En medisin mot depresjon inneholder  $\text{Li}_2\text{O}_3$ . Litiumion innholdet i blodet til en pasient var 1,4mg pr 100ml blod. Blodets litiumkonsentrasjon bør ikke overstige  $1,5 \cdot 10^{-3}$  mol/L. Kan pasienten fortsette med medisinen. Utregning må vises.

Ingas besvarelse på oppgave 7:

$$m: 1,4\text{mg} = 0,0014\text{g}$$

$$v = 0,100\text{L}$$

$$M_m(\text{Li}_2\text{O}_3) = 2 \cdot 6,941 + 3 \cdot 16,00 = 61,882\text{g/mol}$$

$$n = \frac{m}{M_m}$$

$$n = \frac{1,4\text{g}}{61,882\text{g/mol}} = 0,0226\text{mol}$$

$2,26 \cdot 10^{-2}$  Pasienten kan ikke fortsette med medisin

Som vi ser av besvarelsen regner Inga ut konsentrasjonen av litiumoksid og ikke konsentrasjonene av litiumionet. Inga bruker også feil enhet som jeg beskrev i delkapittel 4.3.2. I intervjuet av gruppe 1 fortalte elevene at når de skulle løse tekstoppaver, ikke tenkte på forhold mellom partikler.

Utdrag fra et intervju av gruppe 1:

Lærer: På oppgave 7 fant dere ut konsentrasjonen av litiumoksid, formelenheten. Er det noen forskjell på å regne ut konsentrasjonen av en formelenhet og konsentrasjon av et ion? Er det noe forskjell på å regne ut konsentrasjonen av litiumoksid og litiumionet, [jeg peker på dem]:

Inga: Ja

Marit: Ja

Lærer: Hva er forskjellen da?

Marit: Det blir jo mindre av den der [Marit peker på litiumoksid], nei det blir jo større konsentrasjon av  $\text{Li}^+$  fordi det er 2 sånne [peker på litiumionet] i en sånn [peker på formelen]

Lærer: Riktig. Når oppgaven er bygd opp slik at dere først ser på forholdet, da regner dere riktig slik som på oppgave 5, men i oppgave 7 som er en åpen oppgave, der glemmer dere det.

Marit: Jeg tenkte ikke over det i det hele tatt.

Inga: Ikke jeg heller

Det ser ut til at flere av elevene kan regne med forholdstall, men glemmer å ta denne kunnskapen i bruk i mer kompliserte oppgaver. Tekstoppgaver må ofte gjennomføres i flere steg, og det krever resonneringsferdighet. Ingen av elevene fikk fasitsvar, men mange av dem var på god vei til å løse problemstillingen. Oppgaven krevde at elevene måtte utføre regneoperasjoner i flere trinn med bruk av flere formler. De måtte bruke andre enheter enn de vanligvis jobbet med og i tillegg bruke potenser. Siden oppgaven er formulert som en samlet tekstoppgave, måtte elevene resonnerer seg fram til egnet fremgangsmåte selv. Problemstillingen var ny for elevene og oppgaven var satt inn i en ny kontekst. Elevene hadde derfor ingen mulighet til å bruke innstuderte algoritmer. En slik oppgave krever at de behersker det formelt-operasjonelle nivået med kontroll av variabler, proporsjonalitet og evnen til å tenke abstrakt. Nedenfor vises Halvor sin besvarelse på oppgave 7.

Halvor sin besvarelse på oppgave 7.

Blodet m: 1,4mg =0,0014g

$$v= 0,100L$$

0,0014g per 0,100L

$$n= \frac{m}{M_m} \quad m:0,0014g$$

$$n= \frac{0,0014g}{61,882g/mol} \quad M_m(Li_2O_3)=2*6,941+3*16,00=61,882g/mol$$

$$n=2,26*10^{-5}mol$$

Da må vi finne ut hva konsentrasjonen av pasientens blod er:

$$c= \frac{n}{v}$$

$$c= \frac{2,26*10^{-5}}{0,100L}$$

$$c=2,26*10^{-4}mol/L \text{ Pasienten kan ikke fortsette med medisin}$$

Halvor har i likhet med to andre funnet riktig konsentrasjon av  $Li_2O_3$ , men ingen av dem har funnet litiumkonsentrasjonen,  $Li^+$  slik det var spurt etter i oppgaven. Disse tre elevene (Halvor, Harald, Marit) som fant konsentrasjonene av  $Li_2O_3$  hadde kontroll over ulike variabler, fant de riktige formlene og behersket enhetene. Årsaken til at disse elevene oppga  $Li_2O_3$  konsentrasjonen som svar

kan være at oppgaven ikke er tydelig nok eller at eleven ikke tenker over forholdet mellom Li-ionet og formelenheten  $\text{Li}_2\text{O}_3$ . Disse elevene svarer riktig på oppgavene (5a ,b, c) som kun omhandler forhold mellom ioner og forhold mellom ioner og formelenheter. De andre elevene som svarer på denne oppgaven gjør enten feil i forbindelse med omgjøring av matematiske enheter som jeg omtalte i 4.3.2 eller bruker forholdet mellom masser (Katrine) på samme måte som jeg omtalte tidligere.

I følge Sanabina (1993) har de fleste High School elever og de som går første år på college problemer med å forstå proporsjonalitet. Denne grunnleggende mangelen på forståelse gjør at elevene får problemer med å se hva som ligger i begrepet relative masser og forstå hvorfor ulike masser (i gram) kan inneholde samme antall atomer. Elevene i min undersøkelse viste gode ferdigheter i proporsjonalitetsregning, med unntak av Truls vil bli drøftet i kapittel 4.5. Elevens problemer ser ikke ut til å ligge i manglende forståelse for proporsjonalitetsregning, men heller en manglende forståelse for at stoffmengde er proporsjonal med antall partikler.

I pretesten var det enkelte av elevene som fikk problemer når de skulle sette opp riktig formelenhet til et salt når navnet på saltet var oppgitt (oppgave 7). Elever som ikke vet ladningene til ionene i en formel og ikke navnet på ionene, vil kunne få problemer når de skal regne ut konsentrasjon og/eller stoffmengde. Dette ble ikke utforsket videre.

#### **4.3.4 Makro og mikro nivå i kjemien**

Jeg vil i denne delen se på elevenes kunnskaper om den mikroskopiske og den makroskopiske verden, og diskutere hvordan dette kan ha betydning for elevenes prestasjon i støkiometriske oppgaver. Som det har kommet fram tidligere i resultatdelen, var det flere av elevene som hadde alternative oppfatninger av molbegrepet. Samtidig var det enkelte av elevene som så ut til å mangle forståelse for sammenhengen mellom begrepene. Jeg vil nå se på hvilke kunnskaper elevene har om den mikroskopiske verden og den makroskopiske verden, og prøve å finne sammenhenger mellom elevenes prestasjoner og deres forståelse for makro- og mikronivået i kjemien. Jeg vil først se på hvilke kunnskaper elevene har ut fra prestasjonene på pretesten.

På oppgave 3a skulle elevene forklare hva som er forskjellen mellom et atom, molekyl og et ion. Flere av elevene svarte godt på oppgave 3a) og svarene er ganske entydige. (Elevene skriver at molekyler er bygd opp av to eller flere atomer og at et ion er et ladd atom der antall protoner og elektroner er ulikt fordi atomet har tatt opp eller avgitt elektroner. Noen av svarene viser at elevene ikke har en klar oppfatning av begrepene eller ikke er i stand til å formulere seg presist nok. La oss

se på noen av besvarelsene. Halvor skrev følgende: «Forskjellen er at et atom er ett bestemt grunnstoff, mens et molekyl er flere atomer satt sammen og et ion holder atomene sammen i molekylet». Som vi ser av besvarelsen har han en forståelse for atomer og molekyler, men det ser ut til at han blandet begrepet ion med ionebinding. Harald forholder seg til begrepet grunnstoff på mikronivå og skriver «et molekyl er bygd opp av to eller flere grunnstoff». Som beskrevet tidligere hadde Harald problemer da han skulle finne forholdet mellom ioner på pretesten. Dette kan ha sammenheng med at han mangler kunnskap om noen av de kjemiske begrepene. Og hvordan skal han finne forhold mellom ioner hvis han ikke vet hva et ion er? Som beskrevet i kapittel 2.2 dannes mange misforståelser dannes fordi elevene har problemer med den spesielle terminologien og det vitenskapelige språket.

Som beskrevet under 2.6 er det viktig at læreren er bevist i sin språkbruk og han jobber med å plassere begrepene på riktig nivå. Den manglende kunnskapen og forståelse av materiens oppbygning kan i følge Cleagens og Stacy (2003) påvirke elevens oppfatning om mol.

Flertallet av elevene klarte ikke å balansere en enkel reaksjonslikning: 4a):  $H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$ . Kun en elev hadde korrekt balansert likning. Flere av elevene delte opp molekylet i atomer eller ioner da de skulle balansere reaksjonslikningen. Tre elever svarte blankt. I tabell 4.3 vises besvarelsene til noen av elevene.

Tabell 4.3: Noen av elevenes besvarelser på oppgave 4a.

|                  |                                   |
|------------------|-----------------------------------|
| Harald           | $H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$      |
| Halvor           | $H_2 + O_2 \rightarrow H_2O + O$  |
| Inga             | $2H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$     |
| Marit            | $2H^+ + 2O^{2-} \rightarrow H_2O$ |
| Katrine          | $H_2 + O \rightarrow H_2O$        |
| Mona og Kristian | $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$    |

Som vi ser av Balansering av reaksjonslikningen falt vanskelig for elevene. Kjemiske reaksjoner var ikke blitt behandlet før undervisning av om molbegrepet startet, noe som kan være årsaken til manglende forståelse for reaksjonslikninger. Det virket som om elevene ikke knyttet kjemiske reaksjoner til atomteorien og at utgangsstoffer og produkter kunne endres for å få antallet atomer til å stemme på hver side av reaksjonen

På oppgave 4b som gikk ut på å forklare forskjellen mellom H og H<sub>2</sub>, varierte svarene fra gode svar til upresise og helt blanke svar. I etterkant vil jeg si at oppgaven var upresis, noe som kunne påvirke elevenes svar. Noen eksempler på svar var:

|         |   |
|---------|---|
| Halvor  | Forskjellen er at H <sub>2</sub> inneholder 2 H-atomer                            |
| Katrine | H er ett atom og H <sub>2</sub> er et molekyl bestående av to H-atomer.           |
| Truls   | Forskjellen mellom H og H <sub>2</sub> er antall atomer i blandingen              |
| Marit   | H er frie hydrogenmolekyler, H <sub>2</sub> er et hydrogenmolekyl                 |
| Ingrid  | H er grunnstoffet hydrogen, mens H <sub>2</sub> er H-atomer og normalt i gassform |

De to første svarene (Halvor og Katrine) vil jeg si er akseptable forklaringer på forskjellen mellom H<sub>2</sub> og H. Det siste utsagnet er noe uklart. Formuleringen er upresis og den kan tyde på at eleven mener H er et grunnstoff, men ikke H<sub>2</sub>. Som beskrevet i 2.2 er dette i følge Ringnes og Hannisdal (2000, s. 82) en vanlig misoppfatning fordi eleven ikke har forstått at grunnstoffer også kan være bygget opp av molekyler. Disse svarene tyder på at eleven ikke har en klar forståelse av definisjonen til de ulike begrepene.

På oppgave 6 svarte elevene veldig forskjellig, noe som muligens kan ha med spørsmålstillingen å gjøre. De første to svarene er direkte feil (Halvor og Marit), mens andre var mangelfulle. Enkelte elever svarte godt på oppgaven. Nedenfor gjengis noen av elevenes svar:

|        |  |
|--------|--|
| Haldor | Vi bruker makronivå når vi snakker om atomet og mikronivå når vi snakker om ionene til atomet.   |
| Marit  | Mikronivå = molekyler og makronivå = atomer, Vi trenger begge for å se hvordan et stoff er bygd opp  |
| Mona   | Makronivå bruker vi for å se på oppbyggingen av et stoff. Mikronivå er enda tettere for eksempel når vi skal se på et atom i stoffet. Vi bruker begge deler for å se sammenhengen  |
| Harald | Makronivå er når vi går ut fra reaksjoner, konsistens, farge. Når vi skal ha et forsøk beskriver vi de punktene. Mikronivå er når vi går inn i selve reaksjonen og ser hva som egentlig skjer og grunnen. Vi trenger begge deler for å beskrive best mulig hva som skjer og hvorfor det skjer. |
| Markus | Makro-det vi kan se med blotte øyet. Mikro- atomer, mindre enn det vi kan se   |



De to første svarene (Halvor og Marit) viser at disse elevene ikke hadde noen klar formening om hva fagordene makro- og mikronivå betyr. De elevene har ikke kunnskap om Johnstons tretrinnsfigur (se figur 1 i delkapittel 2.4) som står beskrevet i elevenes lærebok *Kjemien stemmer*. Svarene til Mona, Harald og Markus viser at disse elevene hadde en forståelse av begrepene selv om de ikke utdyper svarene.

Spørsmål om makro- og mikronivå ble gjentatt under posttesten med følgende spørsmålstilling: « I kjemien er det et samspill mellom mikro- og makronivå. Hvorfor er det vanskelig å bare forholde seg til ett av disse nivåene?». Elevene forklarte at man bruker mikronivå for å forklare det som skjer på atomnivå og makronivå når de beskriver det de observerte/så. Ingen av elevene hadde noen utdypende forklaringer. Jeg har valgt å ikke referere elevenes besvarelser på denne oppgaven siden det ikke fremkommer noe nytt i forhold til det som ble presentert på pretesten.

Som nevnt manglet flertallet av elevene en forståelse av hvordan begrepene var relatert til hverandre og hvilke begrep som hørte hjemme på mikronivå og på makronivå. Elevenes svar på posttesten viste at det fortsatt var usikkerhet rundt dette. Under intervjuet ble det spurt om hvilken oppfatning de hadde av mikro- og makronivå. Her er et utdrag fra intervju av gruppe 3:

Lærer: På prøven var det et spørsmål om mikro- og makro nivå i kjemien. Har dere forstått hva som er forskjellen?

Katrine: Ja. Jeg har begynt og forstått litt ja.

Lærer: Skal vi repetere litt da. Hva var mikronivå?

Halvor: Om alle partiklene som vi ikke kan se med det blotte øyet. Man kan forklare ut i fra det, på partikkelnivå.

Lærer: Og makronivå er?

Halvor: Noe vi kan se.

Halvor viser at han har fått med seg at det er to nivåer. Andre elever utdyper begrepene noe mer, utdrag fra intervju gruppe 2:

Lærer: Når vi snakker om mikronivå så var det en oppgave på prøven, som omhandlet makro og mikro nivå.

Kristian: Jeg gjorde ikke den oppgaven

Lærer: Men mikronivå, hva tror du vi legger i det da?

Kristian: Enkeltpartikler da, molekyler

Lærer: Enn makro nivå da?

Kristian: Flere partikler sammen slik som i andre måleenheter. Gram sikkert. Så det man holder på med på labben er å måle.

Lærer: Hvorfor trenger vi begge deler da?

Kristian: Noen ganger trenger vi å måle opp i gram, kilo, mol avhengig hva du holder på med.

Lærer: Så dere trenger makronivå når dere er på lab og observerer og måler og [...] Når trenger vi mikronivå da?

Markus: For å kunne forklare hva som skjer da. I molekylet da, for eksempel hva som skjer når det kommer ut gass og ikke bare å observere at det kommer gass.

Selv om elevene vet at det eksisterer to nivåer, makro- og mikronivå er det noe helt annet å beherske overgangen mellom dem. Som beskrevet i delkapittel 2.4 har elevene ofte vanskeligheter med å veksle mellom mikronivå, makronivå og den symboliserte del av kjemien. En lærer kan lettere veksle mellom disse nivåene og forstå sammenhengen, men elever klarer ikke å følge denne tankegangen lite lett. Det er flere forskningsartikler som hevder at det er forvirringen rundt makro- og mikroverden som er hovedårsaken til problemene elevene har med molbegrepet (Claesgens 2003 og Furio et al 2002). Som jeg beskrev tidligere var det elever som brukte masseforhold i stedet for molforhold. I følge Kolb (1978) har elever vanskelig for å se sammenhengen mellom partikler, mol og gram. Denne sammenhengen er knyttet til forståelse for mikro- og makronivå, da partiklene befinner seg på mikronivå, mens masse og stoffmengde er makroskopiske størrelser..

#### **4.4 Elevenes misoppfatninger**

Som jeg beskrev i delkapittel 2.5, er det flere mulige misoppfatninger om molbegrepet som elevene kan danne seg. I mitt undervisningsopplegg var jeg opptatt av at elevene skulle danne seg en forståelse av molbegrepet i samsvar med IUPAC sin definisjon og unngå noen av misforståelsene som er beskrevet i delkapittel 2.5.4. Som beskrevet tidligere, var det spesielt tre misoppfatninger jeg var opptatt av at elevene skulle unngå. Disse vil jeg nå ta for meg.

##### **Misoppfatning 1:**

**Like volum eller like masser av ulike grunnstoffer inneholder alltid like mange mol, uavhengig om det er en gass, fast stoff eller en væske.**

Ut fra de svarene som ble gitt, er det ingenting som tyder på at noen av mine elever hadde dannet seg denne misoppfatningen. En av årsakene til dette kan være at elevene hadde jobbet med en praktisk oppgave der de leste av volumet og veide beholdere som inneholdt ett mol av ulike stoffer (se vedlegg 2). De hadde selv erfart at både volum og masse varierte selv om alle beholderne inneholdt ett mol av stoffet. Denne tilnæringsmetoden med praktisk målrettet arbeid ser derfor ut til å ha lyktes. Dette ser vi også i intervjuet fra gruppe 2 nedenfor.

Læreren: Husker dere vi hadde disse beholderne med stoffer?

Markus: Ja

Kristian: Ja

Lærer: Alle beholdere inneholdt ett mol av et stoff. Veide de like mye?

Markus: Nei

Lærer: Har dere forstått hvorfor de ikke veide like mye?

Markus: Den molare massen er forskjellig

Kristian: Gram per mol varierer fra stoff til stoff

Elevene syntes altså å ha en oppfatning om at molar masse varierte fra stoff til stoff selv om stoffmengden var den samme. Som jeg skrev under delkapittel 2.6, har flere didaktikere hevdet at bruk av praktiske øvelser og det å visualisere abstrakte begrep, kan gjøre lærestoffet mer tilgjengelig for elevene. La oss nå se på neste misoppfatning.

### **Misoppfatning 2:**

**Mol refererer kun til mengden av molekyler og ikke til mengden av atomer, ioner, elektroner eller andre entiteter.**

I oppgave 1b, som gikk ut på å definere mol, var det to (Inga og Halvor) av elevene som kun refererte til atomer og ikke til andre partikler.

Inga skrev: Mol er en måleenhet som er et begrep på hvor mange atomer det er i 1 mol og det er  $6,022 \cdot 10^{23}$

Halvor skrev: Definisjonene på mol er at 1 mol beskriver hvor mange atomer det er i 1 enhet[...] som skal beskrive hvor mange atomer det er i det bestemte stoffet.

Disse elevene hadde ingen problemer med å regne ut stoffmengden til molekyler, ioner og formelenheter i de støkiometriske oppgavene. Elevenes lærebok oppgir hvilke entiteter mol er

definert for i hovedteksten, mens resten av forklaringen på mol og stoffmengde er uthevet i en farget ramme som det er lett å legge merke til. At entitetene ikke oppgis i den uthevede rammen kan være årsaken til at noen av elevene ikke er presise i sin definisjon og referer kun til atomer i sin definisjon på mol. I følge språkforskerne Maagerø og Skjelbreid (2010) er definisjonene i læreboka svært viktige. Inga og Halvor hadde ingen problemer med å finne stoffmengden til ioner eller formelenheter i andre oppgaver. Som beskrevet i delkapittel 2.2 krever det stor nøyaktighet i språkbruk for at definisjoner ikke skal gi rom for tolkning. Elevenes svar beror sannsynligvis ikke på denne misoppfatning, men skyldes upresis formulering. Nå vil vi se på den tredje misoppfatningen.

### **Misoppfatning 3:**

#### **Ett mol av ulike stoffer kan inneholde ulikt antall enheter av disse stoffene.**

De skriftlige besvarelsene viste at alle elevene vet hvor mange partikler det er i ett mol. Både de skriftlige besvarelsene og under intervjuet kom det fram at elevene visste at ett mol av et stoff inneholdt like mange partikler som ett mol av et annet stoff. Følgende utdrag fra Markus sin besvarelse om definisjonen på mol (oppgave 1b) illustrerer dette: « 1 mol gullatomer er da  $6,02 \cdot 10^{23}$  gullatomer, mens 1 mol hydrogen er  $6,02 \cdot 10^{23}$  hydrogen atomer». Som vi ser av denne besvarelsen var Markus bevisst på at ett mol inneholder samme antall partikler.

Under intervjuet var det en elev som sa at ett mol vann og ett mol jern har ulik stoffmengde. Jeg spurte derfor hva stoffmengde var og eleven svarte gram per mol. Han mente altså at den molare massen var ulik. Dette er korrekt, men han brukte feil begrep. Utdrag fra intervjuet av gruppe 3 viser hvordan Halvor blander begreper.

Lærer: Husker dere at vi hadde beholdere med 1 mol av ulike stoffer? Alle de beholdere innholdet jo like mange mol. Ett mol var det. Veier ett mol av ulike stoffer like mye?

Haldor: Nei,

Lærer: Hvorfor ikke det det?

Haldor: Fordi de har ulike stoffmengder eller massen på stoffet var ulikt.

Lærer: Du sa de har ulike stoffmengde, hva er stoffmengder da?

Haldor: Hvor mange gram det er av et stoff per mol

Lærer: Det er molar masse. Stoffmengden er faktisk hvor mange mol det er

Haldor: De veier forskjellig

Halvor forveksler altså stoffmengde og molar masse. Det er riktig at gram per mol av et stoff er forskjellig for ulike stoffer, men begrepet som forteller om antall gram per mol, er molar masse. Det er tydelig at Halvor har en forståelse av mol, men begrepet stoffmengde som er navnet på størrelsen, er ikke like kjent. I følge Norvic og Menis (1976) vil begreper som har fonetisk like navn føre til en ekstra utfordring for elevene. Fonetisk like navn kan være mol, molekyl, molar masse og molekylmasse. Denne eleven forvekslet altså begrepene mol og molar masse.

#### **4.5 To elevprofiler - Katrine og Truls**

I denne delen skal vi se på to ulike elevprofiler, den regeltro eleven Katrine, og den fritt-tenkende analyserende Truls. Katrine er en elev som viser gode kunnskaper i både matematikk og kjemi, men får problemer når oppgaven blir satt inn i en ny kontekst. Hun følger slavisk fremgangsmåten som ble presentert av læreren. Truls, derimot, er en elev som ikke er opptatt av å følge og huske regler. Han løser oppgaver på sin egen måte, forskjellig fra lærer og lærebokens presentasjon, og svarer blankt på oppgaver hvor han ikke klarer å analysere seg fram til egnet framgangsmåte. De sentrale spørsmålene i denne delen er: Hvor godt presterer den regeltro Katrine og den analyserende Truls på testene og hvilke forestillinger har de dannet seg om molbegrepet? Og hva kan vi lære av å se nærmere på disse to elevtypene.

Jeg vil starte med å se på Katrines besvarelse og på hvordan denne regeltro eleven mestrer oppgavene. For å få et innblikk i Katrines elevprofil, vil jeg starte med å beskrive hvordan Katrine forholder seg til kjemifaget. I intervjuet med gruppe 3 svarte Katrine følgende om interessen for kjemifaget:

Lærer: Liker dere kjemi?

Katrine: ja, artig

Lærer: Hvorfor valgte du kjemi?

Katrine: For å ha mange muligheter. Må ha kjemi til flere ting.

Som vi ser, har Katrine en positiv holdning til kjemifaget samtidig som hun har tanker om at hun kanskje kunne få bruk for kjemi i sin videre utdanning. Dette motiverte henne til å jobbe med faget og under intervjuet kom det fram at Katrine hadde gjort alle de lærerpålagte oppgavene i undervisningsperioden om molbegrepet (se vedlegg 8). Jeg vil nå se på hvordan Katrine besvarte spørsmålene på testene.

Katrine viste gode forkunnskaper både i matematikk og kjemi på pretesten. Hun svarte riktig på alle matematikkoppgavene på pretesten (oppgave 1 og 2, se 3.3) med unntak av oppgave 1c 3. Katrine klarte å snu en formel, regne ut hvor mange prosent gull det var i et smykke og hun kunne regne med forholdstall. Hun hadde ingen problemer med å gjøre om fra mL til L og cL til L men svarte feil på oppgave 1c3 som gikk ut på å gjøre om  $300\text{cm}^3$  til liter. Katrine svarte at  $300\text{ cm}^3 = 30\text{ L}$ . Det ser ut til at det ikke er manglende matematikkferdigheter som er årsak til at hun svarer feil på posttesten. Katrines gode ferdigheter i matematikk gjenspeilte seg nemlig i svarene. Eleven behersket regning med formler og enheter. Hun klarte å finne riktig masseprosent og hun beregnet hvordan hun skulle lage løsninger med en bestemt konsentrasjon, både ved å ta utgangspunkt i et fast stoff og ved å fortynne en eksisterende løsning. Når oppgaven derimot var helt ny for eleven og satt inn i en helt ny kontekst, fikk Katrine problemer. Oppgave 7 var av en slik karakter. Oppgaven gikk ut på å analysere seg fram til om en pasient som allerede hadde en bestemt litiumkonsentrasjon i blodet kunne fortsette å ta medisin som inneholdt litiumoksid (se 3.3).

Her er Katrines besvarelse på oppgave 7:

$$\text{Li}_2\text{O}_3 \leftarrow M_m = 2 \cdot 6,941 + 3 \cdot 16,00 = 61,882\text{g/mol}$$

1,4mg/100mL blod

$$1,4\text{mg} = 0,0014\text{g}$$

$$100\text{mL} = 0,1\text{L}$$

Li:Li<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

$$2:1 \quad \quad \quad \} M_m(\text{Li}_2\text{O}_3):61,82\text{g/mol} \cdot 2 = M_m(\text{Li})=123,78\text{g/mol}$$

$$c < 1,5 \cdot 10^{-3}$$

$$c = ?$$

Som vi ser, forsøkte Katrine å løse denne oppgaven uten å komme fram til noen løsning. Den regelbundne eleven Katrine startet med å sette opp alle opplysningene hun hadde til rådighet. Hun regnet ut den molare massen, utførte riktig omgjøring fra mg til g og ml til L og satte opp riktig ioneforhold. Katrine ser ut til å ha to problemer med oppgaven. For det første vet hun ikke hvordan hun skal bruke ioneforholdet hun har funnet. Som vi ser av besvarelsen, setter hun ioneforholdet likt med det molare masseforholdet i stedet for stoffmengdeforholdet. Katrine gjorde den samme feilen på en annen oppgave, noe jeg kommer tilbake til. For det andre setter hun spørsmålstegn bak konsentrasjonen. Det ser derfor ut til at Katrine ikke klarer å resonnerer seg frem til hvordan en konsentrasjon som er oppgitt i mg per 100 mL kan gjøres om til mol per L. Katrine er først og fremst opptatt av å følge tillærte fremgangsmåter, og denne oppgaven ga ingen mulighet til å bruke en innstudert framgangsmåte, med andre ord en algoritme. Elever som bare bruker algoritmer har i

følge Bogner (1991) en manglende forståelse for begrepene. Mangel på forståelse og bruk av algoritmer vil komme til syne når eleven ikke har mulighet til bruke tradisjonelle formler (Jensen 2004). I dette tilfelle kan det se ut til at Katrine mangler forståelse for begrepene stoffmengde og mol og spesielt evnen til å forstå sammenhengen mellom mol-masse og mengde. Elevens manglende forståelse for disse begrepene ble omtalt i Claesgens og Stacy (2003) noe jeg beskrev i delkapittel 4..

Som nevnt viste Katrine gode kunnskaper i kjemi på pretesten. Hun svarte rett på oppgavene som omhandlet forhold mellom ioner i en formelenhet, antall oksygenatomer i  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  og formlene for kvikksølv(II)klorid og aluminiumoksid. Dette kan tyde på at Katrine har lært seg reglene som er knyttet til den kjemiske nomenklaturen. At Katrine er opptatt av regler og struktur kommer også til syne når hun skal balansere en reaksjonslikning (oppgave 4a) i pretesten. Hun skrev følgende:

$\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + \text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ . Som vi ser av besvarelsen stemmer, antallet atomer på hver side av reaksjonslikningen. At Katrine valgte å splitte opp oksygenmolekylet til atom, kan tyde på at hun ikke visste at man ikke må endre formelen til de stoffene som reagerer. Det må legges til at reaksjonslikninger blir omhandlet i læreboka etter at molbegrepet var gjennomgått og at det ikke hadde vært undervist i temaet. Den kunnskapen Katrine har om kjemiske reaksjoner, har hun derfor fra naturfag på Vg 1 og fra naturfagundervisningen på ungdomstrinnet. Balanseringen viser at hun kjenner til hva indeksene betyr, noe som også gjenspeiler seg i oppgave 4b som går ut på å fortelle hva forskjellen er mellom H og  $\text{H}_2$ . Her skriver Katrine at H er ett atom og  $\text{H}_2$  er ett molekyl bestående av to hydrogenatomer.

Også på posttesten var Katrine flink til å løse oppgaver som innebar å bruke av den kjemiske nomenklaturen. Hun svarte riktig på hele oppgave 5 som gikk ut på å finne forholdet mellom ionene i formelenheten  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  og forholdet mellom formelenheten og ionet  $\text{Fe}^{3+}$ . Som vi så tidligere, brukte Katrine forholdet mellom de molare massene i stedet for forholdet mellom stoffmengdene da hun løste oppgave 7, noe som hun også gjorde på oppgave 3c).

Katrine's besvarelse på oppgave 3c )

$$M_m = 160,14 \text{ g/mol}$$

$$M_m(\text{O}) = 16 \cdot 6 = 96 \text{ g/mol}$$

O: $\text{SO}_3$

3:1

$$n(\text{O}) = \frac{M_m}{M_n} = \frac{160,14 \text{ g/mol}}{96 \text{ g/mol}} = 1,67 \text{ mol}$$

$$\text{Antall O} = 1,67 \text{ mol} * 6,22 * 10^{23} \text{ mol}^{-1} = \underline{1,04 * 10^{24} \text{ partikler}}$$

Løsningen viser at Katrine gjør alt riktig bortsett fra at hun bruker det molare masseforholdet i stedet for molforholdet. Siden hun gjør samme feil i to oppgaver (både oppgave 3 og 7), kan det enten tyde på Katrine ikke tenker over fremgangsmåten og kun er opptatt å følge en regel, selv om den i dette tilfelle var feil, eller at hun har en noe manglende forståelse av begrepet stoffmengde og ikke har oppfattet at stoffmengde proporsjonal med antall partikler, og dette ikke gjelder for masse. Besvarelsene tyder på at hun ikke oppfatter at stoffmengde er den makroskopiske størrelsen som knyttes til partikler på mikronivå. Hun bruker den makroskopiske størrelsen masse som bindeledd til det mikroskopiske verden. Dette er i samsvar med Richters ekvivalensfilosofi der man så på ekvivalente masser som reagerte i forhold til hverandre (se del 1.2). I følge Staver og Lumpe (1995) behersker ofte ikke elever vekslingen mellom makronivået og det mikronivået.

La oss nå se på hvordan Katrine løser oppgaver som krever presis bruk av begreper og molbegrepet spesielt. Katrine viser at hun behersker flere av de kjemiske begrepene. På pretesten (oppgave 3), da hun ble bedt om å forklare forskjellen på atomer, molekyler og ioner, skriver følgende «Det er flere atomer i et molekyl. Et atom består av en kjerne med elektroner rundt. Et ion er et ladd atom». Dette svaret viser at hun ikke bare kjenner til begrepene, men også viser en forståelse for hva som er forskjellen mellom dem. Katrine vet også forskjellen på mikro- og makronivå. Hun skriver følgende: «Makronivå: ser på reaksjoner, hvordan de oppfører seg med det blotte øyet, mikro: Vi ser på reaksjonslikninger og hva som skjer inni stoffet». Det ser ut til at Karine vet hva som tilhører de ulike nivåene. Oppgaven gir imidlertid ikke noe svar på om eleven behersker å veksle mellom disse to nivåene i praksis, noe jeg vil ta opp senere.

Hvilke oppfatninger har Katrine så av molbegrepet? I Oppgave 1b) skulle elevene skrive definisjonen på mol og forklare hva som menes med stoffmengde. Katrine svarte følgende: «Mol = stoffmengde. 1 mol er en bestemt mengde atomer /partikler av et stoff. 1 mol (Avogadros tall) =  $6,022 * 10^{23}$  partikler  $\text{mol}^{-1}$ ». Som vi ser, setter Katrine likhetstegn mellom stoffmengde og mol, og skiller ikke mellom størrelse og enhet. Det ser videre ut til Katrines oppfatter mol som et tall, nemlig Avogadros tall. Katrines oppfatning av molbegrepet er altså ikke i er samsvar med IUPAC sin definisjon. Også i andre oppgaver betrakter hun mol identisk med Avogadros tall. På oppgave 1d) ble elevene spurt om hva som var mest, et mol appelsiner eller et dusin appelsiner. Her svarer Katrine at et mol er mest fordi et mol =  $6,02 * 10^{23}$ . I oppgave 1c) ble elevene i undersøkelsen spurt



om hva som har størst masse av 1 mol Fe og 1 mol H<sub>2</sub>O: Katrine svarte: «1 mol H<sub>2</sub>O har størst masse fordi det er flere atomer i formelen. For å finne mol(n) må vi dele massen på den molare massen. Den molare massen er større i H<sub>2</sub>O, derfor blir også svaret (i mol) større for H<sub>2</sub>O». Katrine forbinder altså stor masse med flest partikler. Selv om hun kan den operasjonelle definisjonen på molar masse og vet hvordan hun skal finne den molare massen, ser det ikke ut til at hun knytter den molare massen til de relative atomvektene. Besvarelsen viser at Katrine vet hvordan hun skal regne ut den molare massen, noe hun også gjør riktig på andre oppgaver. Det kan derfor se ut til at beregningene av molar masse også her er knyttet til regler eller algoritmiske operasjoner. Katrine har en oppfatning av molbegrepet som er i samsvar med en av de historiske oppfatningene av begrepet.

Katrines besvarelse peker altså mot at hun har en algoritmisk fremgangsmåte og er opptatt av regler og struktur. Hun er en flink elev, men er opptatt av riktige løsninger fremfor å resonnere seg fram til en løsning. Hun viser at hun kan definisjoner av grunnbegreper og at hun vet hvilke begreper som var knyttet til makro- og mikronivå. Hun har en feilaktig begrepsforståelse av mol, en forståelse som er i samsvar med en av de gamle oppfatningene av begrepet.

## **Truls**

Jeg vil nå ta for meg Truls og se på hvordan en slik analyserende og fritt-tenkende elev mestrer oppgavene. Jeg vil starte med et utdrag fra intervjuet med Truls og referer til hvordan han forholder seg til kjemifaget. I intervju med gruppe 4 sa Truls følgende:

Lærer: Hvordan liker dere kjemifaget?

Truls: Greit, men vanskelig.

Lærer: Hvorfor valgte dere kjemi?

Truls: Fordi jeg ikke ville ha engelsk.

Lærer: Dere synes kjemi er vanskelig. Noen tema som har vært vanskeligere enn andre?

Truls: Ja, det vi har holdt på med nå. Vanskelig å se sammenhengen i alt.

Truls synes altså kjemi kan være vanskelig. Han valgte kjemi fordi det ikke var så mange andre fag å velge mellom på denne skolen. Kjemi var et bedre alternativ enn engelsk, syntes han. Det var med andre ord ikke den indre motivasjonen som styrte valget hans. Kjemi er derfor ikke et spesielt lystbetont fag for Truls. Under intervjuet kom det fram at innsatsen heller ikke var på topp:

Lærer: Klarte dere å følge opp oppgavene på planen?

Truls: Jeg tror ikke jeg gjorde noe kjemilekse... annet enn rapporter da men, ..

Som vi ser, er ikke Truls en av dem som jobber mest. Han arbeidet kun med kjemioppgavene på skolen, noe som ga han liten tid til å bearbeide stoffet. Med utgangspunkt i et konstruktivistisk læringssyn får han mindre muligheter til å danne seg nye kognitive strukturer. Jeg vil nå se på hvordan Truls presterte på testene.

Truls viste gode forkunnskaper i kjemi og matematikk. På pretesten svarte Truls riktig på oppgaver som omhandlet forhold mellom ioner, antall oksygenatomer i  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  og han skrev riktig formel for aluminiumoksid. På posttesten viste han derimot usikkerhet når det gjaldt regning med forholdstall, og han valgte sine egne fremgangsmåter. I oppgave 3c skulle elevene beregne hvor mange oksygenatomer det var i 2 mol  $\text{SO}_3$ . La oss se på Truls sin besvarelse:

O atomene utgjør  $\frac{3}{4}$  av atomene i molekylet.

$$\begin{aligned} 2 \text{ mol} &= 6,022 \cdot 10^{23} \cdot 2 = 12,044 \cdot 10^{23} / 4 \\ &= 3,011 \cdot 10^{23} \cdot 3 = \underline{9,033 \cdot 10^{23}} \text{ O atomer er det i } 2 \text{ mol } \text{SO}_3 \end{aligned}$$

Truls sin framgangsmåte for å løse denne oppgaven er ikke i samsvar med verken det lærer har sagt i timene eller det læreboka forteller. Det ser ut til at han oppfatter antall formelenheter som en konstant mengde som skal fordeles på alle partiklene i formelen og ser ikke for seg at det blir flere partikler hvis formelenheten splittes opp. Som jeg skrev i delkapittel 4.3.1, kan det se ut som om Truls behandler partikkelmengden som en masse som skal fordeles på alle atomene i formelen. Han har ikke lært seg noen algoritmisk fremgangsmåte, men resonnerer seg fram til sin egen metode for løsning av oppgaven, altså en fritt-tenkende og analyserende elev. Han ser ut til å ha en feilaktig oppfatning av stoffmengdebegrepet og løser oppgaven som en vanlig matematisk brøkoppgave, hvor mengden vanligvis er knyttet til masse eller volum. I mange av oppgavene viser Truls selvstendighet. I oppgave 5a på posttesten (se 3.5.) ble elevene spurt om hvor mange jernioner og hvor mange sulfationer det var pr formelenhet av saltet  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , Truls skrev at det var to jernioner og tre sulfationer i  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . I oppgave b skulle de skrive ned forholdet mellom  $\text{Fe}^{3+}$  og  $\text{SO}_4^{2-}$  og i oppgave c) forholdet mellom  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  og  $\text{Fe}^{3+}$ . Truls så ut til å være usikker på hva det ble spurt om i oppgaven og svarte følgende på b: «Forholdet er at de kan ikke binde seg med et eksemplar av hvert ion» og på c: « Forholdet er at så lenge det er 3 sulfationer må det 2 jernioner til for å fullføre bindingen». Som vi ser, vet eleven at notasjonen betyr at formelenheten består av to jernioner per tre sulfationer (5a). Det ser derimot ikke ut til at Truls vet hva som menes når det blir spurt om forholdet mellom ionene i formelen og forholdet mellom formelenheten og et ion i formelen (5b og

5c). Truls svarer ikke på spørsmålet. Som det fremgikk av intervjuet som ble gjengitt syntes Truls dette var vanskelig, men under intervjuet svarte han korrekt at forholdet ble 2 til 3 og at det ble dobbelt så mange jernioner som det er formelenheter. Her er et utdrag fra intervjuet med gruppe 4.

Lærer: Har dere forstått hva som menes med forhold? Forhold mellom ioner?

Truls: Litt skjønner jeg, men det er litt vanskelig

Lærer: På oppgave 5b står det [elev avbryter]

Truls: skjønner den ja

Lærer: Hva er svaret på oppgaven da?

Truls: Forholdet er 2 til 3

Lærer: Hvis du har to mol av den [peker på formelenheten]. Hvor mange mol får du av ionet?  
[peker på ionet]

Truls: Dobbelt så mange

Som vi ser av intervjuet, virker det som Truls har lært seg den kjemiske notasjonen og vet hva koeffisientene betyr, noe som også ble bekreftet på pretesten. Det kan derfor virke som han ikke forstod hva det ble spurt om på posttesten. Som nevnt er Truls en elev som ikke er blant dem som jobber mest. På oppgave d) bruker Truls riktig formel, men ser ut til å mangle forståelse for hva det er han finner når han bruker formelen. Han ser ikke ut til å vite forskjellen mellom det å finne konsentrasjonen av formelenheten og det å finne konsentrasjonen av ionene. Selv om han hevder å forstå forskjellen, ser det ut til at han ikke behersker å gjøre det selv. Dette kan komme av liten trening med oppgaveløsning. Som nevnt gjorde ikke Truls alt det pålagte arbeidet. Truls er ikke opptatt av å lære seg regler og fremgangsmåter, han vil forstå og løse oppgaver ved å resonere seg fram. Den vanskeligste oppgaven på posttesten var oppgave 7 (se posttest delkapittel 3.5) Eleven måtte selv skulle finne ut om en pasient skal fortsette med medisin (som inneholder litiumoksid) når pasienten allerede hadde en bestemt konsentrasjon av medisin (litiumioner) i blodet. Truls klarte å resonere seg fram til en egnet framgangsmåte. La oss se på Truls sin besvarelse:

$$\text{Li}_2\text{O}_3 = 13,882 + 48 = 61,882 \text{ g/mol}$$

$$\frac{1,4 \text{ mg}}{1000} \quad \text{per} \quad \frac{100 \text{ mg}}{1000}$$

$$0,0014 \text{ g} \quad \text{per} \quad 0,1 \text{ L}$$

$$m: 0,0014 \text{ g}$$

$$M_m 61,882 \text{ g/mol}$$

$$n = \frac{m}{M_m} = \frac{0,0014 \text{ g}}{61,882 \text{ g/mol}} = 2,26 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \quad m: 0,0014 \text{ g}$$

$$\frac{n}{v} = \frac{c \cdot v}{v} \rightarrow c = \frac{n}{v} = \frac{2,26 \cdot 10^{-5} \text{ mol}}{0,100 \text{ L}} = 2,26 \cdot 10^{-4}$$

=  $0,226 \cdot 10^{-3}$  Pasienten kan fortsette med medisin

Som vi ser av besvarelsen, har Truls god kontroll over enheter og variabler, noe som er i samsvar med besvarelse på pretesten. På pretesten viste Truls at han behersket å snu en formel, regne ut hvor mange prosent gull det var i et smykke, gjøre om fra ml til L og cl til L. På oppgave 1c3, som gikk ut på å gjøre om  $300 \text{ cm}^3$  til liter, svarte han blankt og han svarte heller ikke på den matematiske oppgaven (oppgave 2) som krevde bruk av forholdstall. Vi kan legge merke til at eleven analyserer. Han gjør om enheter, snur formler og setter opp riktige matematiske forhold. Truls klarer å finne konsentrasjonen av litiumoksid, men ikke konsentrasjonen av litiumionet. Også i denne oppgaven ser det ut til at regning med forholdstall som er Truls sitt problem. På oppgaver hvor han ikke klarer å resonere seg fram, svarer Truls blankt. Dette var gjennomgående på både pre- og posttesten. Han svarte blankt på oppgave 6a som gikk ut på å beregne hvor mye masse han trengte av et salt for å lage en løsning med en bestemt konsentrasjon. Derimot behersket han bruk av fortynningsformelen der han regnet seg fram til riktig løsning.

Det ser ut til at Truls ikke forstår regning med proporsjonale størrelser. Det er selvsagt vanskelig å konkludere bare på grunnlag av én oppgave, men som jeg beskrev tidligere hadde Truls problemer med de fleste oppgavene som omfattet bruk av forholdstall. Dette kan henge sammen med manglende forståelse for regning med proporsjonale størrelser, noe som i følge Dori og Hameiri (1998) er en av årsakene til at elever gjør feil på støkiometriske oppgaver.

Truls viser en selvstendig tankegang og definerer begrepene med egne ord og vendinger. I Oppgave 3a skulle han forklare forskjellen mellom et atom, et molekyl og et ion. Truls svarte følgende: «Et atom er et grunnstoff der forholdet mellom elektroner og protoner er like mange. Et molekyl er en forbindelse mellom flere atomer. Et ion er et atom der forholdet mellom protoner og elektroner er ulik». Forklaringene viser at Truls er reflektert og har forstått hva som karakteriserer de ulike begrepene. Også på spørsmål om makro- og mikronivå svarte Truls selvstendig: «Når vi snakker om mikronivå, ser vi på så små ting som atomer. Makronivå baserer seg på bindinger mellom stoffene.»

Truls vet hva som hører til mikronivå og har en oppfatning av at når flere atomer bindes sammen er vi på makronivå, selv om det ikke er helt riktig. Disse oppgavene viser ikke om eleven kan veksle mellom nivåene eller om han er i stand til å se sammenhengen mellom dem. Under intervjuet prøvde jeg å spørre gruppen til Truls om molbegrepet hadde noe med mikro- og makronivå å gjøre.

Lærer: Hvorfor innførte vi molbegrepet?

Truls: Enklere å regne, sikkert lettere.

Lærer: Har det noe med mikro- og makronivå?

Truls: På labben veier vi opp, og da er vi på makronivå.

Som det kommer fram av intervjuet, knytter Truls makronivå til laboratoriearbeid og det kan se ut til at han oppfatter at molbegrepet hører til på makronivå. Han reflekterer over svarene sine. La oss nå se på hvilken oppfatning Truls har av molbegrepet.

Truls viste at han oppfattet mol som et tall. I Oppgave 1b skulle elevene skrive definisjonen på mol og forklare hva som menes med stoffmengde. Truls svarte følgende: «Mol er et begrep som representerer et visst antall partikler i et stoff. Altså ordet mol representerer tallet. Stoffmengde er et begrep som sier noe om hvor mye vi har av stoffet. Man kan si det som antall mol.»

Eleven sier at *ordet mol representerer tallet*. Truls oppfatter altså mol som et tall, Avogadros tall. Han bruker ikke IUPAC sin definisjon av molbegrepet. Han knytter begrepet til partikler noe som for så vidt er riktig, men han sier at mol er synonymt med et tall. Altså en av de gamle oppfatningene av molbegrepet som ble beskrevet i delkapittel 1.2. Forklaringen på stoffmengde på stoffmengde er derimot riktig. I IUPAC sin definisjon (se 1.2) står det i at definisjonen på stoffmengde også omfatter det samme som «antall mol». På oppgave c) skulle elevene forklare hva som har størst masse av ett mol vann og massen av ett mol jern. Truls viser ved hjelp av utregning hvorfor et mol jern har større masse en et mol vann. Også under intervjuet ga Truls en god forklaring på denne oppgaven i intervjuet med gruppe 4:

Lærer: Hvordan kan man finne ut hva som har størst masse av et mol jern og et mol vann?

Truls: Man må jo først finne ut massen av begge de her to da. Og hvis vi har et mol av hver så vil vi jo se hvem som har størst masse bare ved å se på de enkelte massene. Den her er atten [peker på vann] mens den [peker på jern] er jo mange og tredve så da er det jo jern som har størst masse. Ut fra intervjuet kan vi kunne slutte at Truls vet at ett mol inneholder like mange partikler og at massen varierer fordi atomene har ulike masser.

Som en oppsummering vil jeg si at Truls er en fritt-tenkende og analyserende elev som viste gode kunnskaper om materiens oppbygning med atomer, molekyler og ioner. Han hadde derimot problemer med å løse oppgaver med forholdstall, også av matematisk karakter. Dette gjenspeiler seg i støkiometriske oppgaver. Truls anvender ikke forhold mellom ioner i ioneforbindelser. Truls er fritt tenkende og følger ikke eksempler gitt av læreren.

Jeg er sikker på at alle lærere vil kjenne igjen de to elevprofilene og vil ha nåværende eller tidligere elever i tankene når de profilene blir beskrevet. Mange lærere vill nok si at Katrine er den elevtypen som er lettest å forholde seg til. Hun gjør stort sett som læreren sier, gjør leksene sine og er lett å følge opp og samarbeide med.

Truls er kanskje ikke så lett å forholde seg til. Han gjør ikke skolearbeidet sitt slik lærer har tenkt og har ofte et mer avslappet forhold til lekser. Han kan overraske lærere med andre løsningsforslag og slik utfordre lærer til å tenke nytt om et problem. Mange lærere vil si at Truls er en spennende elev. Begge de to elevprofilene gir læreren en pedagogisk utfordring.

Katrine må oppfordres til å tenke mer selvstendig og ikke være så bundet av det som blir sagt og skrevet av læreren. Hun bør oppfordres til å stole mer på egne tanker og slippe fantasien løs. Med Truls er det omvendt. Han har sannsynligvis et større læringspotensial enn det han utnytter. Han bør få beskjed om at det er klokt å lytte til det andre har tenkt tidligere og kombinere det med egen analytisk evne, men lærer må ikke forsøke å tvinge ham inn i bestemte tankebaner som bremser kreativiteten. Lærer må tvert imot gi uttrykk for at han setter pris på originale løsningsforslag.

Den gode lærer synes det er spennende å være lærer både for Katrine og Truls.

#### **4.6 Implikasjoner**

I denne undersøkelsen har jeg sett på sett på hvilke oppfatninger elever danner seg om molbegrepet og hva som kan være årsaken til at elevene får disse oppfatningene. Jeg har valgt å trekke frem noen spesielle funn fra undersøkelsen.

Elevtallet i den kvalitative undersøkelsen var lavt, samtidig som funnene er knyttet til den spesifikke pedagogiske praksisen jeg brukte i mitt undervisningsopplegg. Det er derfor ikke mulig å generalisere ut fra de funn som er gjort. Undersøkelsen kan gi innblikk i hvilke misoppfatninger elever kan danne seg om molbegrepet, noe som kan hjelpe kjemilærere til å utarbeide bedre pedagogiske metoder for sin egen praksis. Jeg vil nå se på hvilke funn jeg kan trekke ut fra denne undersøkelsen.

Undersøkelsen viste at svært mange elever definerte mol som om det skulle være det samme som Avogadros tall. Dette samsvarer med flere andre undersøkelser (Novic og Menis 1976, Staver og Lumpe 1995, Furio et al 2002). Verken lærer eller læreboka brukte mol synonymt med Avogadros tall. Det viste seg derimot at de fleste elevene hadde en bedre forståelse av begrepene enn de klarte

å formidle skriftlig. En oppfatning av at mol er Avogadros tall kan bero på at elevene knytter begrepet stoffmengde til den operasjonelle betegnelsen «antall mol», eller at læreren ikke er presis i sine formuleringer. Med mer tid til rådighet ville en drøfting av elevenes oppfatning av molbegrepet i lys av de historiske definisjonene vært verd å prøve ut. I delkapittel 2.4 skrev jeg hvordan mulige undervisningsmetoder kunne hjelpe eleven i å gi slipp på misoppfatninger de hadde dannet seg. I følge Barke et al (2009) er en mulig undervisningsstrategi å undervise om den historiske utviklingen av begrepet for deretter og sammenligne elevenes oppfatninger. For å hjelpe eleven til å gi slipp på de foreldede oppfatninger av mol, som ikke samsvarer med dagens betydninger, kan man sammenligne elevens oppfatning med ulike betydningen mol har hatt gjennom historien. Det kunne ha hjulpet elevene til å gi slipp på misoppfatningen de hadde om molbegrepet og nye kognitive strukturer kunne ha blitt etablert, slik at de hadde akseptert og forstått IUPACs sin definisjon av mol. Elever som ikke har klare begrepsoppfatninger velger ofte algoritmiske fremgangsmåter. Enkelte elever i undersøkelsen så ut til å velge algoritmiske fremgangsmåter som blant annet Katrine som ble beskrevet i del 4.6. Dette viste seg ved at eleven brukte feil formel eller ikke behersket oppgaver som var satt inn i en ny kontekst.

Undersøkelsen viste at noen av elevene bruker forhold mellom molare masser som molforhold eller betrakter partikkel antallet som en masse. Elevene i undersøkelsen viste gode kunnskaper om forholdet mellom ioner i ioneforbindelser, noe jeg la ekstra vekt på i mitt undervisningsopplegg. Noen av elevene hadde likevel problemer med å anvende denne kunnskapen i de støkiometriske oppgavene. Som nevnt ble masseforhold ble brukt i stedet for molforhold eller at molforholdet ble brukt på en annen feilaktig måte der antall partikler av en formelenhet ble fordelt på antall atomer i formelen (antall partikler blir betraktet som masse). Slike feil kan skyldes manglende forståelse for begrepene og/eller sammenhengen mellom dem. Noen av elevene ser ut til å ha en mangelfull forståelse for at stoffmengde og masse er makroskopiske størrelser, mens partikler som atomer, molekyler og ioner er mikroskopiske størrelser. Elever som bruker masseforhold ser ikke ut til å ha forstått at det er stoffmengden som er proporsjonal med antall partikler og ikke massen. De mangler dermed en forståelse for hvordan den mikroskopiske verden er knyttet til den makroskopiske verden. En mulig framgangsmåte for å hjelpe elevene med å lage bru mellom mikro- og makronivå kan være å visualisere de abstrakte begrepene gjennom analogier. I et nytt undervisningsopplegg ville jeg ha lagt større vekt på bruk av flere analogier.

I undersøkelsen kom det fram at ikke alle elevene behersket bruk av enheter i støkiometriske oppgaver. Noen av elevene gjorde feil i forbindelse med omgjøring av enheter som  $\text{cm}^3$  til L, sammenlignet inkompatible størrelser (med forskjellige enheter) som volum og konsentrasjon eller

så ikke logikken i beregninger med enheter (behersker ikke bruddet brøk) der  $\frac{L}{Mol/L}$  ble satt lik mol. Elevenes matematiske ferdigheter påvirket derfor elevenes prestasjoner på de støkiometriske oppgavene.

De fleste elevene i denne undersøkelsen viste at de behersket bruk av nomenklatur. Elever som ikke behersker det kjemiske språket med symboler, formler, koeffisienter, indekser og likninger vil ha problemer med støkiometriske oppgaver som innbefatter bruk av mol. Elevene hadde gjennomgått kjemisk nomenklatur i forkant av innlæringen om mol, noe som ser ut til å ha virket positivt på evnen til å løse støkiometriske oppgaver.

Elevene i denne undersøkelsen så ikke ut til å danne seg noen av de tre misoppfatningene som ble omtalt i delkapittel 4.4. I mitt undervisningsopplegg var jeg opptatt av at elevene skulle danne seg en forståelse for begrepene før jeg presenterte den operasjonelle definisjonen. Elevene i undersøkelsen forsto ett mol av forskjellige stoffer kan ha ulik masse og volum og elevene brukte ikke Avogadros lov for faste stoffer og væsker. En visualisering av ett mol av ulike stoffer som ble brukt i undervisningsopplegget, kan ha virket positivt på å etablere en riktig oppfatning begrepet (vedlegg 2), noe jeg vil anbefale andre å prøve ut.

Til slutt vil jeg bemerke at ut fra et konstruktivistisk syn vil elevenes egeninnsats og søken etter å konstruere egne mentale modeller alltid være en utenforstående faktor som vil virke inn på elevenes begrepsforståelse.



## Sammenfatning og avslutningskommentarer

I boka *Naturfag som allmenndannelse- en kritisk fagdidaktikk* (Sjøberg 1999, s. 381) har forfatteren, professor Svein Sjøberg, viet et kapittel til temaet « Naturfag i skolen - produkt eller prosess». Han peker på at når det argumenteres for naturfagenes plass i skolen brukes det to typer argumenter. Det ene argumentet kan kalles produkt-argument, det andre prosess-argument.

Produkt-argumentet går ut på at kunnskaper i naturfag er viktig både for den enkelte og for samfunn og arbeidsliv. Naturfaglig kunnskap er allmenndannelse og nødvendig for å kunne delta i samfunnsdebatten og ta stilling til viktige spørsmål i et demokratisk samfunn.

Prosess-argumentet går ut på at det er naturfagenes arbeidsmåter og prosesser som er grunnlaget for at disse fagene må ha en bred plass i skolen. Det har blitt hevdet at arbeidsmåten i disse fagene har overføringsverdi til bruk i kunnskapstilegnelse generelt sett, fordi elevene lærer seg å tenke logisk og disiplinert.

Sjøberg (1999, s.403) advarer mot ensidig å legge vekt på prosess-argumentet når naturfagenes plass i skolen skal rettferdiggjøres og undervisningsmetoder skal begrunnes. De kognitive prosessene som kjennetegner læring og forskning i naturfagene er ikke spesifikke for disse realfagene, men er mer eller mindre mentale prosesser i alle fag. Sjøberg sier at naturvitere skal passe seg for å gjøre monopol på alminnelig, systematisk menneskelig logikk. Men naturfagene og naturvitenskapene har sine særtrekk gjennom spesielle forsknings og undervisningsmetoder der eksperimenter, teknisk utstyr og praktiske arbeid i laboratoriet står sentralt. Sentralt står også begrepskonstruksjoner som er bygd opp, revet ned og bygd opp på nytt i andre former. Slik skapes et naturvitenskapelig verdensbilde som er viktig å formidle til elever og studenter som en del av vår felles kulturarv.

Den historiske delen av denne oppgaven gir en innsikt i hvordan kjemi som vitenskap og fag har utviklet seg både som produkt og prosess og hvordan rådende ideologi og religiøst regime har gitt rammer for hva som kunne aksepteres av teorier og forklaringer.

Jakten på nye «produkter» gjennom kjemiske eksperimenter har vært en helt sentral drivkraft i utviklingen av kjemisk viten. Helt fra alkymistene forsøkte å fremstille gull av uedle metaller, har økonomisk profitt vært et motiv for utforskning av naturen. Rådende filosofiske retninger og gudstro har vært med på å styre utviklingen og sette grenser for akseptabel ny kunnskap. Også rådende teorier blant anerkjente naturvitere har gang på gang påvirket retning og utvikling innenfor kjemien. Et eksempel på det er hvordan flogistonteorien holdt stand helt fram til 1800-tallet.

Men jakten på nye produkter, har gått hånd i hånd med utvikling av nye prosesser. For å finne fram til nye produkter måtte det utvikles nytt laboratorieutstyr og nye måleinstrumenter og det var nettopp konstruksjonen av nytt utstyr som drev utviklingen fremover og la grunnlaget for nye eksperimenter, nye funn og til slutt nye teorier og lover. Slik kom for eksempel et gjennombrudd for kjemien og fysikken på 1700-tallet gjennom utviklingen av Wrights luftpumpe.

Lavoisier har fått hovedæren for den kjemiske revolusjonen som fant sted på slutten av 1700-tallet. Han innførte en kjemisk nomenklatur som siden har særpreget faget. Den kjemiske nomenklaturen har sammen med definerte begreper stått sentralt i denne studien. Utviklingen av et felles kjemisk språk skjedde i en vekselvirkning mellom fremskaffelse av nye eksperimentelle data, matematiske beregninger og lansering av nye teorier og lover. Richters lov om ekvivalenter kom allerede i 1792 og Prousts lov om konstante masseforhold i 1802. Dalton støttet seg til denne loven når han i 1804 framsatte hypotesen om at stoffer var bygd opp av atomer. Dette var starten på en langvarig uenighet mellom «ekvivalentister» og «atomister», en uenighet som hadde sitt opphav i skillet mellom et makroskopisk og et mikroskopisk syn på materiens oppbygging. Avogadro fremsatte i 1811 hypotesen om konstant gassvolum, senere kalt Avogadros lov. Denne loven hadde stor betydning for diskusjonene som fulgte på den første kjemikonferansen i Karlsruhe i 1860 som hadde som mål å komme fram til et felles kjemisk fagspråk. Møtet ble hevet uten at det kom til enighet om skillet mellom atomer og molekyler, men etter hvert som fysikerne kom med ny kunnskap om materiens oppbygning fram mot 1900-tallet ble atom- og molekylteorien etter hvert akseptert og la grunnlaget for et felles kjemisk fagspråk.

Med utgangspunkt i behovet for å fastsette eksakte atomvekter for ulike grunnstoffer, oppsto behovet for en felles standard. Det ble en relativ langvarig prosess å komme til enighet. Også her ble prosessen frontet av ekvivalentister og atomister. Problemet med å komme til enighet ble ikke mindre etter det ble oppdaget at ett og samme grunnstoff kunne bestå av flere isotoper. Utviklingen av spektrografen gjorde det mulig å jakte på stabile isotoper. Etter mange års diskusjon ble det i 1960 enighet i å bruke karbonisotopen  $^{12}\text{C}$  som felles referanse.

Begrepet mol har gjennomgått en interessant prosess fra det første gang ble brukt av Ostwald i 1889 innenfor et ekvivalentistisk paradigme. Han definerte mol som en bestemt individuell masse som brukes i en kjemisk reaksjon. Ostwald brukte begrepet stoffmengde når forhold mellom masser skulle beskrives. Det ble etter hvert brukt mange ulike navn på begreper innen for kvalitativ kjemi. I hovedsak fantes det tre betydninger av ordet mol: Mol var en individuell enhet for masse, mol var

en mengde som inneholdt Avogadros tall av enheter eller mol ble brukt synonymt med Avogadros tall. Den nåværende definisjonen kom i 1967, og ble offisielt innlemmet i SI- systemet i 1971.

Gjeldende definisjon kan sees på som et hensiktsmessig anvendelig produkt av en lang prosess med både grunnforskning og anvendt forskning, men vi skal være forsiktig med å si at dette er et endelig resultat som blir stående. Et kjennetegn på naturvitenskapelig forskning er nettopp dette at teorier og definisjoner i prinsippet kan forkastes når ny viten og ny erkjennelse tilsier det.

I skolefaget har kjemi det vært en utvikling fra et fag som i hovedsak la vekt på å formidle hva naturen kjemisk sett består av og hvilke nye stoffer som har blitt fremstilt ut fra kjemisk viten om stoffenes oppbygning, til et fag som i større grad har lagt vekt på kjemiske prosesser med praktiske eksperimenter og matematiske beregninger av kjemiske størrelser. Dermed har det blitt et økt krav til å beherske det kjemiske fagspråket med bruk av særegen nomenklatur og egne definisjoner på sentrale begreper. Samtidig har faget fått økt betydning for å forstå og finne løsninger på miljøspørsmål og etiske spørsmål knyttet til bioteknologi og genetikk, noe som også har preget læreplaner og lærebøker. Gjennom nye læreplaner (KL06) med økt timetall har kjemi som studieretningsfag/programfag fått styrket sin stilling i videregående opplæring. Omregnet til 45 min. undervisningstimer er timetallet økt fra 3 til 5 uketimer på 2. årstrinn. Dette har gjort at det er blitt bedre tid til praktiske forsøk slik at det er mulig å gjøre faget mer prosessorientert.

I den kvalitative undersøkelsen som jeg gjennomførte om innlæring av molbegrepet, la jeg til rette for både en prosessorientert og en produktorientert undervisningsmetode. Jeg gjennomførte en pretest i matematikk og grunnleggende kjemikunnskaper for å undersøke hvilken betydning forkunnskapene hadde for innlæringen. Undervisningsopplegget ble planlagt på bakgrunn av tidligere forskningsresultater om innlæring av molbegrepet og ideer og anbefalinger gitt i læreboka. Produktorientert undervisning med formidling av etablert kunnskap og begrepsdefinisjoner foregikk ved tavleundervisning i dialog med elevene. Prosessorientert opplæring skjedde gjennom praktiske øvelser i grupper og gjennom selvstendig elevarbeid. Jeg brukte analogier- tankeprosesser- for å hjelpe elevene til å forstå abstrakte begreper. Undervisningen bygde i sin helhet på et konstruktivistisk læringssyn der jeg forsøkte å få elevene til å konstruere en personlig eiet kunnskap basert på forståelse og tolkning av observasjoner og faktaopplysninger.

Med utgangspunkt i de konkrete målene som ble satt for undervisningen (delkapittel 3.2), utarbeidet jeg en posttest som krevde selvstendige og utfyllende forklaringer på begreper og sammenhenger i det kjemiske fagstoffet og som satte krav til å kunne utføre støkiometriske beregninger. I tilknytning til posttesten ble det foretatt gruppeintervjuer. Intervjuene ble et supplement til

posttesten, der hensikten var å finne ut hvordan elevene resonnerer når de svarer på spørsmålene og hva som kunne være årsaken til eventuelle misoppfatninger.

I innledningen til denne oppgaven redegjorde jeg for de overordnede problemstillingene som ligger til grunn for denne studien. Jeg stilte spørsmålet om hvordan kunnskaper om den historiske utviklingen av molbegrepet kan bidra til en bedre begrepsforståelse. Jeg har fremstilt utviklingen av molbegrepet som en historisk reise, en lang historisk prosess, der produktet er IUPCAs nåværende definisjon. Om eleven kunne ha vært med på reisen, er jeg overbevist om at det ville ha lettet innlæringen og bedret forståelsen. Det kan være en utfordring at lærebokforfattere og lærere å lage en kortversjon av en slik reise innenfor den tidsrammen læreplanen gir. Dette ble egentlig ikke vurdert i den praktiske undersøkelsen.

En problemstilling som ikke ble testet ut i denne studien, er hvilken betydning innsyn i læringsteorier kan ha for et godt tilrettelagt undervisningstilbud om molbegrepet. Problemstillingen angår i første rekke læreren som skal tilrettelegge opplæringen, men å ha kunnskap om læringsteorier kan også være nyttig for eleven. Hvis både lærer og elevene hadde innsyn i sentrale læringsteorier, kan det være lettere å få til en god dialog mellom lærer og elevene om hvordan undervisningen bør legges opp for at den skal gi størst mulig læringsutbytte.

Den kvalitative undersøkelsen om innlæring av molbegrepet ga noen svar på hvilke misoppfatninger elever har og kan danne seg om molbegrepet og hva som kan være årsaken til disse misoppfatningene. Vurdering av resultatene fra undersøkelsen er gjort rede for i del 4 i denne studien, hvor det er sagt noe om hva som kan lette innlæringen.

Det avgjørende spørsmålet i denne sammenheng er hvordan undervisningen kan legges opp for å unngå misoppfatninger slik at elevene får en forståelse for molbegrepet som er i samsvar med IUPACs sin definisjon av begrepet.

Tidligere forskning og denne undersøkelsen gir noen svar og ideer, selv om det selvsagt er god grunn til å være forsiktig med å generalisere.

Den første viktige forutsetningen for at elevene skal unngå å danne seg misoppfatninger om molbegrepet, er at det i undervisningen legges avgjørende vekt på at elevene har en god forståelse for materiens oppbygning i form av atomer, molekyler og ioner. For å konkretisere og visualisere oppbygningen av stoffer anbefales brukt av modeller og analogier. En utfordring for elever og lærer er at den grunnleggende kjemiske kunnskapen om materien er lagt til ungdomstrinnet og forutsettes å være friskt i minne når elevene tar til med naturfag og senere programfaget kjemi på 2. årstrinn.

Som nevnt i kap. 1.3, kan repetisjon av grunnleggende kjemikunnskaper bli nødvendig før innlæring av mer abstrakt stoff som for eksempel molbegrepet. Min spådom er at spiralprinsippet ikke for alltid er lagt til side.

Tidligere forskning og min erfaring fra denne undersøkelsen og fra flere års erfaring som kjemilærer, er at bruk av analogier kan være nyttig der det er mulig å konkretisere eller visualisere det abstrakte. Det har imidlertid blitt sagt at bruk av analogier bør forbeholdes elever på ett konkret-operasjonelt nivå. Det har blitt hevdet at elever som allerede har en forståelse av de abstrakte begrepene kan få sin tankegang forstyrret ved bruk av analogier.

Bruk av praktisk arbeid i kjemiundervisningen har lange tradisjoner og står også sterk etter LK06. Det er ikke dokumentert at praktisk arbeid i laboratorier letter innlæringen av vitenskapelige begreper og teorier, men min erfaring er at laboratoriearbeid som nødvendiggjør bruk av begreper som masse, stoffmengde og mol er med på å konkretisere stoffet for elevene. Elevene blir også motiverte til å lære seg begrepene når de ser at de kan anvendes og brukes i beregninger. Målet med øvelser er ikke nødvendigvis at de skal lette innlæringen av begreper, men at elever skal utøve naturvitenskap og bli kjent med de metoder som er særegne for kjemifaget.

I denne studien er det flere ganger pekt på viktigheten av å kunne lære seg presise definisjoner på begreper som er anvendt i kjemi. Men minst like viktig er det å trene seg opp til å kunne formulere seg presist når forklaringer skal gis og teorier skal presenteres. Skrive og lese-strategier har ikke blitt prøvd ut i denne undersøkelsen, men det hadde vært interessant og prøvd ut en slik strategi, gjerne i samarbeid med en norsklærer.

I innledningen til dette kapittelet viste jeg til at det har vært brukt to typer argumenter for å forsvare naturfagenes plass i opplæringen- et produkt-argument og et prosess-argument. I undervisningssammenheng kan det også skilles mellom en produktorientert og en prosessorientert strategi. Jeg vil si at begge strategier har blitt belyst i den kvalitative undersøkelsen som er gjennomført. Kanskje bør læreren finne en balanse mellom de to strategiene for å nå kompetansemålene i læreplanen knyttet til molbegrepet? I læringsarbeidet om molbegrepet har det vist seg at det er nødvendig å bruke betydelig tid på å sikre at elevene forstår hva som ligger i definerte kjemiske begrep, og at de trener opp evnen til å kunne definere begrepene. Med et konstruktivistisk læringssyn der, det legges vekt på at den enkelte elev opparbeider en personlig forståelse av begrepene, er forutsetningen tilstede for at lærer og elev i felleskap kan lykkes i læringsarbeidet.

## Litteraturliste

- Adamsen, A.W. (1978). SI units? A camel is a Camel. *Journal of Chemical Education* 55 (10), s. 634-637
- Ary, D., Jacobs, L.C. & Razavieh, A. (2002), *Introduction to Research in Education*, Sixth Edition, Belmont, Wadsworth Thomson learning
- Ayers C., Dail P. og Morse C. (2010), *A Source Book Module, ChemSource*, Instructional Resources for Preservice and Inservice Chemistry Teachers
- Bancroft W. D. (1933). Wilhem Ostwald, The Great Protagonist, *Journal of Chemical Education*, 10, p. 539-542, s. 609-613
- Barke H., Hazari A. og S. Yitbarek (2009), *Misconception in chemistry*, Springer
- Bensaude-Vincent, B. & Stengers, I. (1996). *A history of chemistry*, Trancelated by Deborah van Dam, London Harvard University Press
- Bernadette Bensaude-Vincent (2002), *Languages in Chemistry*, Chapter 9. The Cambridge History of Science, Volume 5, The Modern Physical and Mathematical Sciences, s. 174-190
- Bodner G. M. (1991), *I have found you an argument: the conceptual knowledge of beginning chemistry graduate students*. *Chemical Education '91 – Educational Possibilities*. Kenosha: University of Wisconsin - Kenosha
- Brandt T, Brandt H. og Johansen I. (1997). *Kjemi 2KJ grunnbok*, Aschehoug & CO
- Brandt og Hushovd (2010). *Kjemi 1*, Aschehoug & CO
- Brook, W.H. (1992). *The Fontana history of Chemistry*, London, Fontana Press
- Bruun, S. (1965). *Lærebok i kjemi for naturfaglinjen*, Olav Norlis forlag
- Bruun (1971). *Lærebok i kjemi for naturfaglinjen*, Olav Norlis forlag
- Bruck, L.B. & Towns, M (2011). Whats the Diagnosis? An Inqui-Based Activity Focusing on Mol-Mass Conventions. *Journal of Chemical education*. 88(4), s. 440-442
- Boder, G. (1990), I have found you and argument: The conceptual knowledge of beginning chemistry graduate students. *Journal of Chemistry Education* 68 (5), s. 385-388.
- Bowler, P.J & Morus, I.R. (2005), *Making Modern science- A historical survey*, Chicago, The university of Chicago Press
- Cervellati, R., Montuschi, A., Perugini, D., Grimelini-Tomasini, N. og Balandi, B.P. (1982). Investigation of secondary school students understanding of the mole concept in Italy. *Journal of Chemistry Education* 59 (10) s. 852-856
- Chabas-Bues C (1999). Histoire du concept de Mole (1869 -1969) a la crosisee des disciplines physique et chemie, *Docteur del'universite de Paris X – Nanterre*
- Claesgens J. & Stacy, A (2003). What Are Students Initial Ideas about “Amount of substance”? “Is there a specific weight for Mole?” *Paper presented at the Annual Meeting of the American Education Research Association*
- Dahsan, C. & Coll, R.K (2007). Thai Grade 10 and 11 students conceptual understanding and ability to solve Stoichemistry, problems, *Research in Science and Technological Education*, 25(2), s. 227-241
- Diemente, D. (2000.) A drop in the Ocean, *Journal of Chemical Education*, 77(8), s. 1010
- Dierks, W. (1981). Teaching the mole. *European Journal of Science Education*, 3(2), s. 145-158

- Dori og Hameiri (1998), The Mole Environment, studyware: applying multidimensional analysis to quantitative chemistry problems, *International Journal of Science Education* 20(3), s. 317-333
- Driver, R, Askoko, H., Leach, Mortimer, E. & Scott, P. (1994), Constructing scientific knowledge in the classroom, *Educational Researcher*, 23 (7), s. 5-12
- Duncan, I. M. and Johnstone, A. H. (1973). The mole concept. *Educational Chemistry*, 10, 212-214.
- Fløttere (1997), *Kjemi-2KJ lærebok*, Universitetsforlaget
- Foley, K. & O'Donnell, A. (2002), Cooperative learning and Visual- organisers: Effects on solving Mole problems in High School Chemistry, *Asia Pacific Journal of Education*, 22 (1), s.30-50
- Furio C., Azcona R. og Guisasola J. (2002), The learning and teaching of the concept amount and substance and mole: A review of the literature, *Chemistry Education: Research and practice in Europe*. 3 (3), s. 277-292
- Furio C., Azcona R. og Guisasola J. (2000), Difficulties in teaching the concept of “amount of substance and mole” *International Science Education*, 22 (12), s. 1285- 1304
- Gabel D. L. & Sherwood R. D. (1984), Analyzing difficulties with mole-concept tasks by using familiar analog tasks. *Journal of Research in Science Teaching*
- Gabel, D. L. and Bunce, D. M. (1994). Research on problem solving: chemistry. In D. L. Gabel (ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, New York:Macmillan, s. 301-326.
- Gardner H. (2006). *Multiple intelligences*, New Horizons, New York, Basic Book
- Gorin G. (1994). Mole and Chemical Amount A Discussion of the Fundamental Measurements of Chemistry *Journal of Chemical Education* 7 (2), s. 114-116
- Gorin (2003). Mole, mole per Liter, and Molar. A primer SI and Related Units for Chemistry Students. *Journal of Chemical Education* 80 (1), s. 103 og 104
- Grønneberg T., Hannisdal M, Pedersen P., Ringnes V. (1997) *Kjemien stemmer 2KJ Grunnbok*, Cappelen Forlag AS
- Grønneberg T., Hannisdal M., Pedersen P., Ringnes V. (2007) *Kjemien stemmer Kjemi 1 Grunnbok*, Cappelen Forlag AS
- Hand, B., Yang, O.E-H. & Bruxvoort, C. (2007) Using Writing to learn science strategies to Improve year 11 students understanding of Stoichiometry, *International Journal of Science and Mathematics' Education*, 5, s. 125-143
- Hannisdal, M. og Ringnes, V.(2011), *Kjemi for lærere. Naturfag i grunnskolelærerutdanning 5.-10. Trinn*, Oslo, Gyldendal Akademisk
- Høigård E. og Ruge H.( 1963). *Den norske skolens historie*, Cappelen forlag
- Imsen, Gunn (2005). *Elevenes verden- Innføring i pedagogisk psykologi*, Oslo, Universitetsforlaget
- Ihde, A.J (1964), *The Development of Modern Chemistry*, New York, Harper & Row
- Jensen, W.B. (2004), The Origin of the Mole Concept, *Journal of chemical education*, 81(10), s. 1409
- Kind, M. (2003), Praktisk arbeid og naturfaglig allmenndannelse. Jorde, D. og Bungum, B. (Red.), *Naturfagdidaktikk: perspektiver, forskning, utvikling*, Gyldendal Akademisk, s. 226-243

- Kieffer W.F. (1964). *The mole Concept in Chemistry*, New York, Reinhold Publishing Corporation
- Kolb, D.K. (1978), The Mole, *Journal of Chemical Education*, 55(11), s. 728-732
- KRISHNAN, S. R. and HOWE, A. C. (1994) The mole concept. *Journal of Chemical Education*, 71 (8), 653-655
- KD(2006): Kunnskapsløftet (LK06), læreplan for kjemi. Kunnskapsdepartementet.
- KUD (2006): Et felles løft for realfagene, strategi for styrking av realfagene 2006-2009  
[http://www.regjeringen.no/nb/dep/kd/dok/rapporter\\_planer/planer/2006/et-felles-loft-for-realfagene.html?id=271539](http://www.regjeringen.no/nb/dep/kd/dok/rapporter_planer/planer/2006/et-felles-loft-for-realfagene.html?id=271539)
- KUD (2010): Realfag for fremtida. Styrking av realfagene 2010-2014  
[http://www.regjeringen.no/nb/dep/kd/dok/rapporter\\_planer/planer/2010/realfag-for-framtida.html?id=593791](http://www.regjeringen.no/nb/dep/kd/dok/rapporter_planer/planer/2010/realfag-for-framtida.html?id=593791)
- KUD: Stortingsmelding nr 16.(2006-207.) Og ingen stod igjen. Tidlig innsats for livslang læring.  
<http://www.regjeringen.no/nb/dep/kd/dok/regpubl/stmeld/2006-2007/stmeld-nr-16-2006-2007-.html?id=441395>
- KUD(1976): læreplan for den videregående skole. Del 2 Felles allmennefag. Oslo. Kirke og utdanningsdepartementet, Gyldendal
- KUF(1996):Læreplan for den videregående skole. Naturfag. Felles allmennefag. Oslo. Kirke og utdanningsdepartementet, Gyldendal
- KUF(1996):Læreplan for den videregående skole (R94). Kjemi. Felles allmennefag. Oslo. Kirke og utdanningsdepartementet, Gyldendal
- KUF (1991): Læreplan for videregående, utgave 6. Kirke og utdanningsdepartementet
- KUF(2003): Stortingsmelding nr. 30. (2003-2004); Kultur for læring  
<http://www.regjeringen.no/nb/dep/kd/dok/regpubl/stmeld/20032004/stmeld-nr-030-2003-2004-.html?id=404433>
- Lazonby, J.N, Morris, J.E. & Waddington, D.J. (1982) The muddlesome mole, *Education in Chemistry*, 19, s. 109-111
- Larsen, J.O (1997). *Constructing Understanding of the Mole concept: Interactions and Chemistry Text, Teacher and Learners*. Paper presented at the Annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching (70 th.)
- Leach J. and Scott P. (2003). Individual and Sociocultural Views of Learning in Science Education *Science & Education* 12 s. 91–113
- Lee, S (1961). A redefinition of “Mole”, *Journal of Chemical education*, 38 (11), s. 549-551
- Lybeck, L. Strömdahl, H. & Tullberg, A.(1985) *Students conceptions of Amount of Substance and its unit mol- A subject didactic study*, Department of Education and Educational Research Gothenburg University, Report no. 1985:04.
- Lykknes A. & Kvittingen L. (2002). Den internasjonale kjemikongressen i Karlsruhe 1860- En vitenskapelige begivenhet og prosessene bak. *Kjemi* nr. 2, s. 18-24
- Lzonby, J. N. et al. (1995) The mole: Questioning Format can make a Difference. *Journal of Chemical Education* ,62(1), 60-61
- Maagerø, E. og Skjelbred D. (2010). *De mangfoldige realfagtekstene-Om lesing og skriving i matematikk og naturfag* ,Bergen, Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke As
- Macdonald, J.J, (1984). The mole: How should it be taught? *S.S.R*, s.486- 497



- Meldrum, W.B.(1955). Gram equivalent Weights. *Journal of Chemical Education*, januar. s.48-51
- Mønsterplan (1987). (M87). Kirke og utdanningsdepartementet
- Niaz, M. (1985). Evaluation of formal operational reasoning by venezuelan freshmen students. *Research in Science and Technological Education*, 3, s. 43-50.
- Novic, S. & Menis, J, A study of Student perceptions of the Mole Concept, *Journal of Chemical Education*, 53 (11), s.720-722
- Nye M.J. (1996). *Before big science: The pursuit of modern chemistry and physics 1800-1940*, London, First Harvard University press
- Nurrenbern,S. og M.Pickering (1997): Concept learning versus Problem Solving: Is there a difference? *Journal of education* 64 (6) : 508-510
- Padilla,K. & Furio-Mas, C (2007). The Importance of History and Philosoph of Science in Correcting Distorted Views of “Amount of Substance” and “Mole” Concepts in Chemistry Teaching, *Science and Education* (2008) 17, s. 403-424
- Partington J.R. (1961). *History of Chemistry*, Volume 2, London, Macmillan & Co LTD
- Partington J.R. (1962). *History of Chemistry*, Volume 3, London, Macmillan & Co LTD
- Partington J.R. (1964). *History of Chemistry*, Volume 4, London, Macmillan & Co LTD
- Partington J.R. (1970). *History of Chemistry*, Volume 1, London, Macmillan & Co LTD
- Phillips, Kenneth L. (1989): Relating the Mole Concept and Fundamental mathematics, Practicum report, Nova University, The center for the Advancement of Education.
- Quale, A. (2003), Konstruktivisme i naturvitenskapen: Kunnskapssyn og didaktikk . Jorde, D.& Bungum (Red.), *Naturfagdidaktikk: perspektiver, forskning, utvikling*, Oslo, Gyldendal Akademisk, s.86-104
- Reistad K., Manglerud M. og Sydnes L. (1997), *Kjemi 2KJ Grunnbok*, Gyldendal Norsk Forlag ASA
- Ringnes V. (1993). *Elevers kjemiforståelse og læringsvansker knyttet til kjemibegreper*, Dr. scient.-avhandling , Oslo, Falch Hurtigtrykk
- Ringnes V. og Hannisdal M. (2000) *Kjemi i skolen- undervisning og læring*, Kristiansand, Høgskoleforlaget
- Rocke A.J. (1984), *Chemical Atomism in the Nineteenth Century from Dalton to Cannizzaro*, Ohio State University Press: Columbus
- Salzberg,H.(1991) *From Caveman to Chemist. Circumstances and Achievements*, Washington: American Chemical Society, kap. 11: Phlogiston. The Last of the Old Theories
- Sanabina, H.A (1993), Relative Atomic Mass and the Mole: A concrete Analogi to Help Students Understand These Abstract Concepts, 70 (3), s. 233-234
- Schmidt, H. J. (1990). Secondary school student’s strategies in stoichiometry. *International Journal of Science Education*, 12 (4), s. 457-471.
- Schmidt, H. J. (1997) An Alternate Path to stoichiometric Problem Solving. *Research in Science Education*, 27 (2), s. 237-249.
- Scott,P. , Asoko,H. & Leach,J. (2007): Student conceptions and conceptual learning in science. *Handbook of Research on Science education*, s 31 -56
- Schütt, H. W. (2002), Chemical Atomism and Chemical Classification.*The Cambridge*

- History of Science, Volume 5, The Modern Physical and Mathematical Sciences*, s. 237-254
- Sjøberg S. (1999). *Naturfag som allmenndannelse - en kritisk fagdidaktikk*, Oslo, Ad Notam Gyldendal
- Sjøberg S. (2004). *Naturfag som allmenndannelse - en kritisk fagdidaktikk*, Oslo, Gyldendal Akademisk
- Staver, J. R. and Lumpe, A. T. (1995), Two Investigations of Students' Understanding of the Mole Concept and Its Use in Problem Solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 32 (2), 177-193.
- Steen B.G., Filmland N. og Juel L.A.(2010). *Aqua Kjemi 1 Grunnbok*, Gyldendal Norsk Forlag
- Storm B. (1998), *Kjemi 2KJ*, Yrkeslitteratur as
- Strömdahl, H., Tullberg, A. & Lybeck, L. (1994). The qualitatively different conceptions of 1 mol. *International Journal of Science Education* 16 (1), s. 17-26
- Strömdahl, H. (1996). *On mole and amount of substance- A study of the dynamics of concept formation and concept attainment*, Göteborg, Acta universitatis Gothoburgensis
- Sæther J. (1998b) *Grunnskulens naturfag som ideologiberende fag. Skulelover, læreplanar, lærebøker og debatt*
- Telhaug A. (1975) *Vår nye videregående skole- oversikt over og kommentarer til reformarbeidet*, Oslo, Lærerstudentenes Forlag
- Thiele, R.B & Treagust, D.F. (1991). *Using Analogies To Aid understanding in Secondary Chemistry Education*. Paper presented at the Royal Australian Institute Conference on Chemical Education, Perth.
- Uthe, R.E. (2002), For Mole Problems, Call Avogadro: 602-1023, *Journal of Chemical Education*, 79 (10). s. 1213
- Wakely, D.M. & de Grys, H. (2000). Developing and Intuitive Approach to Moles, *Journal of Chemical Education*, 77 (8), s. 1007-1009
- Zoller, U., Lubezky, A., Nakhleh, M., Tessier, B. and Dori, Y. J. (1995) Success on algorithmic and LOCS vs. conceptual chemistry exam questions. *Journal of Chemical Education*, 72 (11), s. 987-989.

## VEDLEGG

### Vedlegg 1: Brev til elev og foresatte om tillatelse til forskningsprosjektet

---

Astrid Toftaker Rise

Oppdal videregående skole

7340 Oppdal

e-post: [astrid.rise@stfk.no](mailto:astrid.rise@stfk.no)

Tlf 72 40 00 10 , 91635583

Oppdal 22.9.10

*Kjære elever, foreldre og foresatte for elever i kjemi 1 ved Fjellbygd videregående skole.*

#### **Forskningsprosjekt om molbegrepet**

I forbindelse med en masteroppgave som omhandler elevenes forståelse av molbegrepet vil jeg gjennomføre et undervisningsopplegg i støkiometri i kjemi 1, totalt 7 undervisningstimer. I etterkant av dette undervisningsopplegget ønsker jeg å teste og intervju noen av elevene. Dette skjer i samarbeid med deres faglærer Harald Taagvold.

Materialet vil bli behandlet på en slik måte at det ikke vil være mulig for dem vi presenterer det for, å vite hvilke skoler vi har vært på, hvem som har prestert på testen, eller hvilke elever vi har intervjuet.

Og hvis noen vil vite mer om hva jeg vil, eller hva jeg skal bruke det innsamlede materialet til, er det bare å ta kontakt med meg, på telefon 91635583 eller epost [astrid.rise@stfk.no](mailto:astrid.rise@stfk.no) ,

Jeg ber altså om at dere gir meg tillatelse til å samle inn materiale og bruke elevenes tester til dette forskningsprosjektet. Jeg ber også om tillatelse til å intervju elever i dette forskningsprosjektet. Det gjør dere ved å fylle ut vedlagte talong og levere den til en av lærerne. Det er selvsagt også mulig å si nei.

Vennlig hilsen,

Astrid Toftaker Rise

**Øvelse 1: Mol, volum og masse. (1 økt)**

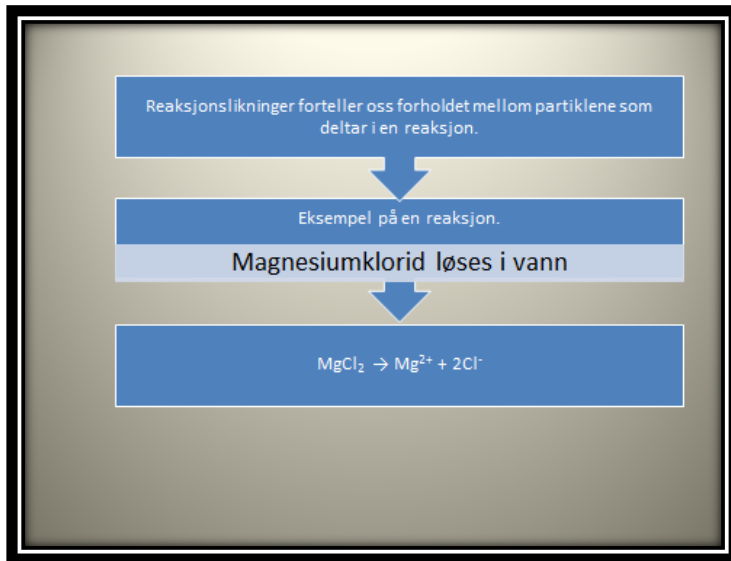
Dere jobber i grupper på 3-4 styk. Oppgaven går ut på å undersøke begerglass med grunnstoffer og kjemiske forbindelser der hver beholder inneholder et mol av et grunnstoff eller en kjemisk forbindelse. Resultat føres inn i tabellen og til slutt svarer dere på spørsmålene nedenfor.

| grunnstoff/kjemisk forbindelse                           | Volum av en mol | Masse av et mol | Miste enhet av stoffet. (atom eller molekyl eller formelenhet) |
|--|-----------------|-----------------|--|
| glukose (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> ) |                 |                 |  |
| Karbon ( C )   |                 |                 |  |
| Zink (Zn)  |                 |                 |  |
| Aluminium (Al)   |                 |                 |  |
| Kobber (Cu)  |                 |                 |  |
| Vann (H <sub>2</sub> O)                                  |                 |                 |  |

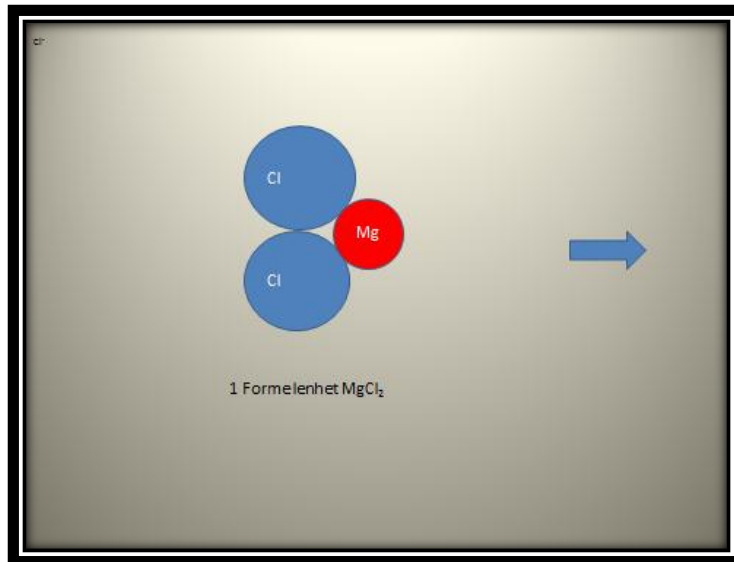
Elevene skal også svare på følgende spørsmål.

- 1) Hvilket stoff opptar det største volumet?
- 2) Hvilket stoff okkuperer det minste volumet?
- 3) Et mol av hvilket stoff har størst masse?
- 4) Hvilket stoff har størst tetthet?
- 5) Hvorfor har like stoffmengder av ulike stoffer og forbindelser ulik masse selv om de har samme antall partikler?

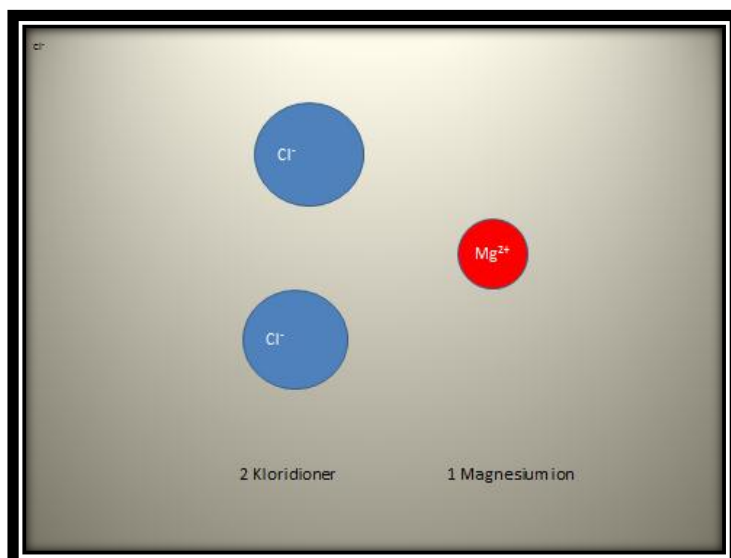
Til slutt vil det bli en kort felles oppsummering av arbeidet i gruppene.



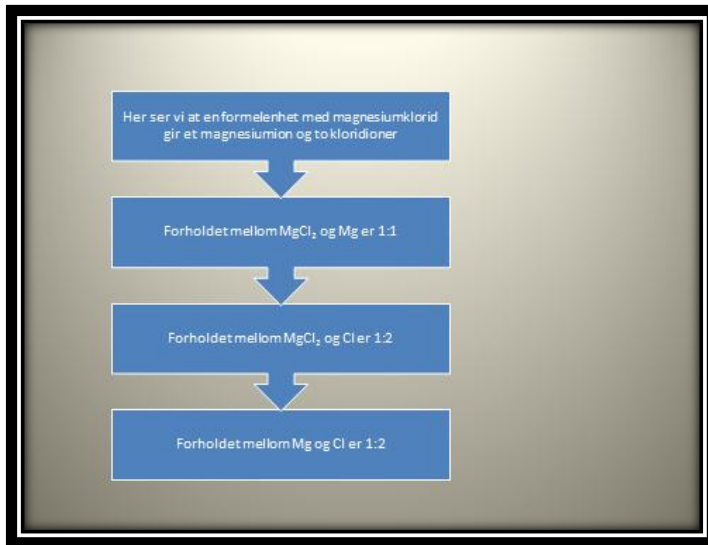
Figur 1



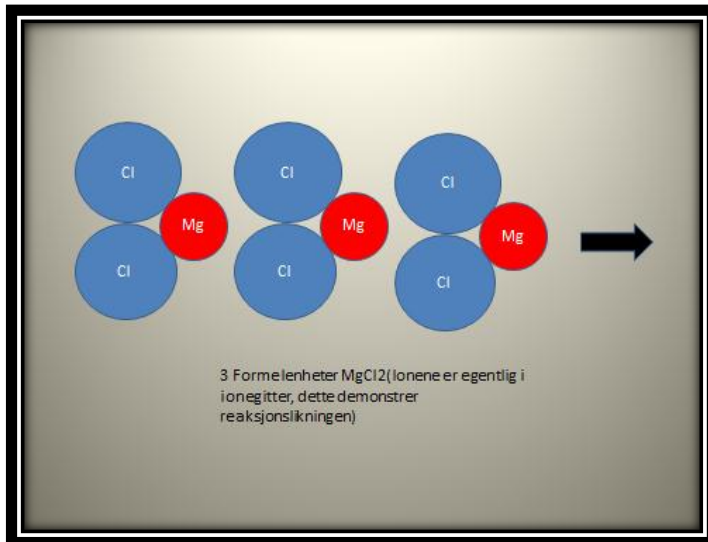
Figur 2



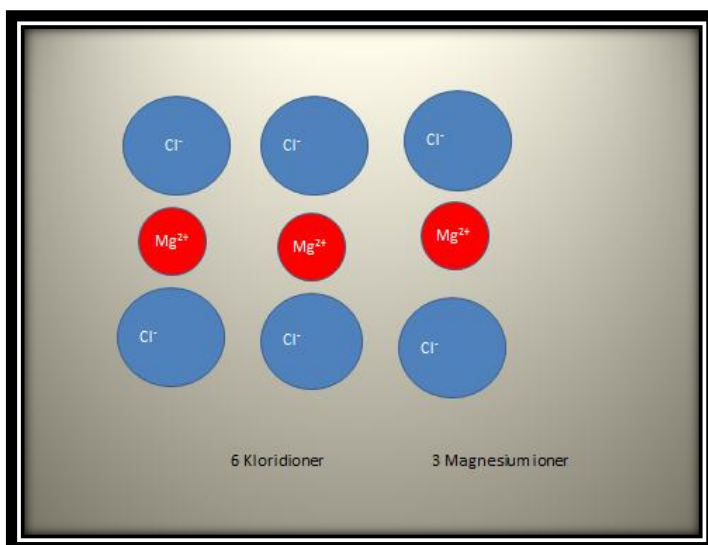
Figur 3



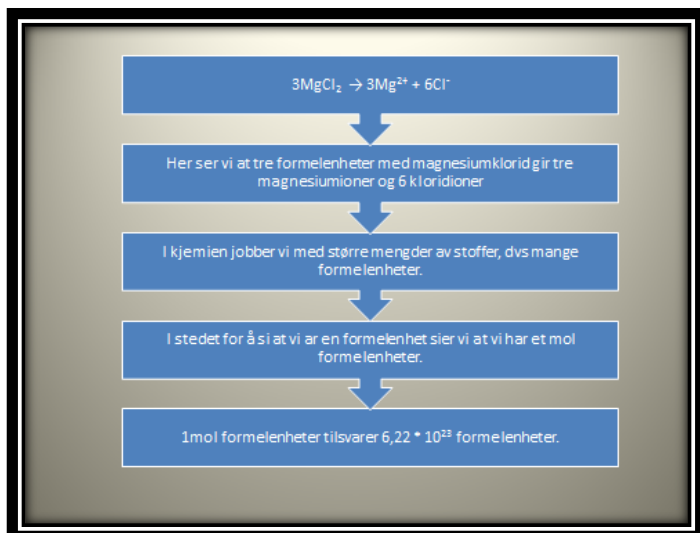
Figur 4



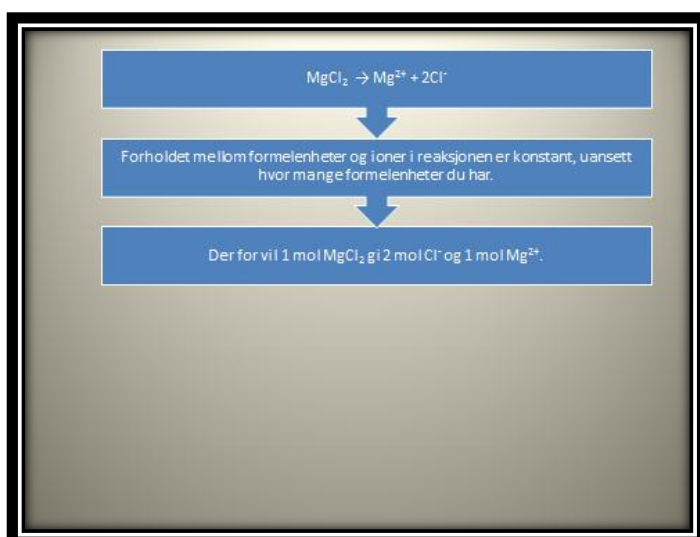
Figur 5



Figur 6



Figur 7



Figur 8

**Oppgave i 2økt: Prosentvis sammensetning av stoffer**

Denne oppgaven går ut på å bestemme masseprosenten til de ulike stoffene i molekylet/formelenheten.

| 1 mol av stoffene under                                  | Masse av formelenheten /molekylet | Masse av de ulike stoffene i et mol av formelenheten/molekylet. | Antall molekyler/formelenheter | Prosentvis sammensetning (masseprosent) |
|--|-----------------------------------|---|--------------------------------|---|
| NaCl   |                                   | Na:<br>Cl:  |                                | Na:                                     |
|  |                                   |   |                                | Cl:                                     |
| CaSO <sub>4</sub>  |                                   | Ca:<br>S:<br>O:   |                                | Ca:                                     |
|  |                                   |   |                                | S:                                      |
|  |                                   |   |                                | O:                                      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                           |                                   | Fe:<br>O:   |                                | Fe:                                     |
|  |                                   |   |                                | O:                                      |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> *<br>10 H <sub>2</sub> O |                                   | Na:<br>C:<br>O:<br>H:   |                                | Na:                                     |
|  |                                   |   |                                | C:                                      |
|  |                                   |   |                                | O:                                      |
|  |                                   |   |                                | H:                                      |

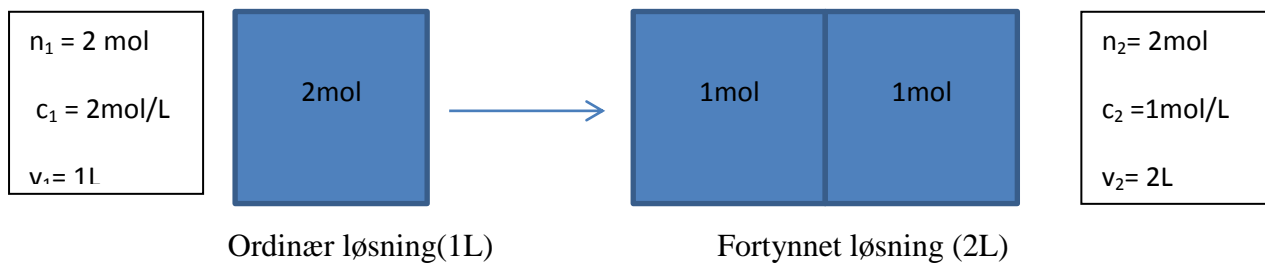
I denne oppgaven tok vi utgangspunkt i et mol av et stoff, men ofte har vi en annen mengde av stoffet. Husk at forholdet mellom stoffene i en formelenhet er likevel den samme og den prosentvise sammensetningen er den samme uansett hvor mye du har av et stoff .



### Gjennomgåelse av fortynning i 4 økt.

Hvis vi fortynner en løsning vil stoffmengden være den samme men volumet øker og konsentrasjonen synker.  $n_1 = n_2$

Eks.



Ordinær løsning  $n_1 = c_1 \cdot v_1$

Fortynnet løsning  $n_2 = c_2 \cdot v_2$

$$n_1 = n_2$$

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

Derfor kan vi bruke fortynningsformelen når vi skal beregne ny konsentrasjon eller hvilket volum som skal bruke av løsningen.

Fortynningsformel:

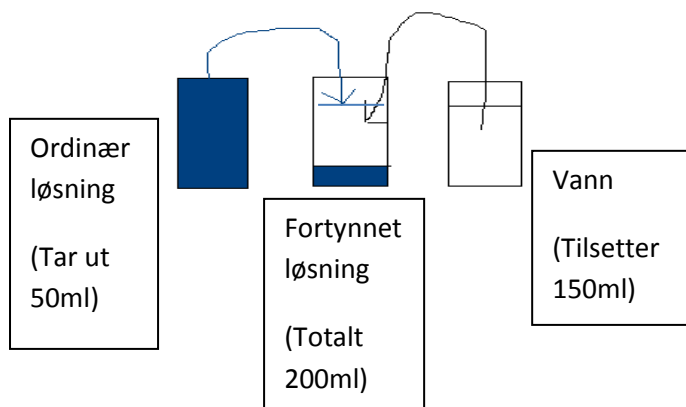
$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

Eks. Hvor mange ml konsentrert salpetersyre må vi bruke for å lage 200,0 mL med 4 mol /L  $\text{HNO}_3$ ?

Konsentrert salpetersyre inneholder 16,0mol/L

$$\text{Svar: } 16,0 \text{ mol/L} \cdot V_1 = 4,0 \text{ mol/L} \cdot 0,2\text{L}$$

$$V_1 = 0,05\text{L} = 50 \text{ mL}$$



Du må ta ut 50 ml konsentrert salpetersyre og tilsette vann slik at totalvolumet blir 200mL.

## Øvelse 2: Løsninger.(5 økt)

### Problemstilling:

- 1) Hvor stor masse av et fast stoff må veies ut for å lage en løsning med en bestemt konsentrasjon og volum?
- 2) Hvilket volum må tas ut av en løsning for å lage en ny fortynnet løsning med en bestemt konsentrasjon og volum?

### Utstyr:

Vekt, salt, målekolber (250 ml, 100 ml), destillert vann, målesylinder, evnt pipetter

### Gjennomføring:

Hver gruppe (2pers , max tre pr. gruppe) skal lage en av de følgende molare løsningene:

Gr 1 250mL 0,2 M NaCl løsning

Gr 2. 250mL 0,5M CuSO<sub>4</sub>

Gr 3.100mL 0,1 M MgCl<sub>2</sub>

Gr 4. 100mL 0,2 M FeCl<sub>2</sub>

Gr 5. 250ml 0,1 M NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>

Deretter skal en av de andre gruppenes løsning fortynnes.

Gr 1. Lag 100ml 0,025M NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> løsning ved å fortynne 0,1 M NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>

Gr 2. Lag 100ml 0,2M CuSO<sub>4</sub> løsning ved å fortynne 0,5 M CuSO<sub>4</sub> løsningen.

Gr 3 Lag 100ml 0,025M MgCl<sub>2</sub> løsning ved å fortynne 0,1 M MgCl<sub>2</sub>

Gr 4. Lag 250ml 0,04 M FeCl<sub>2</sub> løsning ved å fortynne 0,2 M FeCl<sub>2</sub>

Gr 5 Lag 250ml 0,04 M NaCl løsning ved å fortynne 0,2 M NaCl løsning.

### Øvelse 3: Krystallvann ( 6 økt)

Mange ioneforbindelser inneholder vannmolekyler som er bundet til ionene i saltet. Det betyr at hvis vi fjerner vannet ved oppvarming, endrer strukturen og krystallformen seg. Slike ioneforbindelser kaller vi hydrater. Vannet som inngår i et hydrat, kaller vi krystallvann.

Krystallvannet blir oppgitt i formelen som du kan se av formelen for natriumsulfat- dekahydrat:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ .

Problemstilling

Kan vi fjerne alt krystallvannet i saltet  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ?

Utstyr:

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$

Vekt

Reagensglass

Gassbrenner

Event glassvatt

Treklype

Briller

Fremgangsmåte:

- 1) Legg inn en propp av glassvatt øverst i reagensglasset. Vei glasset med glassvatten, og noter massen.
- 2) Overfør ca 2g.  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$  til reagensglasset. Noter utseendet på hydratet( farge, krystallinsk/ pulver). Sett proppen i toppen på glasset. Vei reagensglass, propp og salt nøyaktig, og noter massen.
- 3) Hold reagensglasset med saltet på skrå inn i flammen fra gassbrenner, og studer det som skjer.
- 4) Fortsett oppvarmingen langs hele reagensglasset til alt vannet er dampet vekk. ( også fra glassvatten)

5) La reagensglasset med salt bli av kjølt, vei det og noter massen.

Resultater og spørsmål:

- a) Beskriv og forklar det som skjer når du varmer opp reagensglasset med hydrat.
- b) Regn ut:
  - 4) Massen av saltet med krystallvann
  - 5) Hvor mange mol det er av salt med krystallvann
  - 6) Massen av vannet som er spaltet av ved oppvarming
  - 7) Hvor mange mol vann som er forsvunnet
  - 8) Hvor mange mol vann som er forsvunnet per mol natriumdekahydrat. Rund av til nærmeste hele tall.
- c) Hva blir formelen for natriumsulfat med krystallvann ut fra de bestemmelsene du har gjort? Hvordan stemmer det med den oppgitte formelen for saltet? Diskuter eventuelle feilkilder.

Vedlegg 8: Plan for kjemi 1 uke 40 til 43

| Tidspunkt                        | Lekse  | Aktivitet  | Oppgaver på skolen  |
|----------------------------------|--|--|---|
| <b>Uke 40</b><br>Mandag 4/10     |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kort test</li> <li>• Introduksjon av stoffmengde, mol og avogadros tall</li> <li>• Praktisk aktivitet om mol og besvarelse av oppgaver</li> </ul>   | Utleverte spørsmål  |
| Fredag 8/10                      | Les s 62-68<br>oppgaver s 38<br>4.1.1, 4.1.2,<br>4.1.4, 4.1.5,           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reaksjonslikninger</li> <li>• Forhold mellom antall atomer og antall mol i kjemiske formler og reaksjonslikninger</li> <li>• Praktisk aktivitet. Veie opp 1 mol av ulike faste stoffer</li> </ul> | Utleverte spørsmål  |
| <b>Uke 41</b>                    | Høstferie  |  |   |
| <b>Uke 42</b><br>Mandag<br>18/10 |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduksjon av formel og eks på tavla.</li> <li>• Jobbing med oppgaver fra boka</li> </ul>   | Oppgaver s 38 og 39<br>4.1.8, 4.1.10, 4.1.6,<br>4.1.7               |
| Onsdag 20/10                     | Les s 69- 76<br>Oppgaver fra mandag +<br>oppgaver s 39<br>4.1.13, 4.1.15 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduksjon av begrepet konsentrasjon og eksempler på tavla</li> <li>• Arbeid med oppgaver fra boka</li> </ul>   | Oppgaver s 39 og 40<br>4.2.2, 4.2.4, 4.3.1,<br>4.3.2, 4.3.3, 4.3.4, |
| Fredag 22/10                     | Oppgaver fra mandag +<br>oppgaver s 40<br>4.3.5, 4.3.7                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Øvelse. Tillagning av en løsning med bestemt konsentrasjon og fortynning av en løsning.</li> </ul>  |   |

| Tidspunkt                     | Lekse                           | Aktivitet   | Oppgaver                       |
|-------------------------------|---------------------------------|---|--------------------------------|
| <b>Uke 43</b><br>Mandag 25/10 |                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Øvelse 4.1 s 43</li> <li>• Bestemmelse av krystallvann til kobbersulfat</li> </ul> | Oppgaver s 41 4.3.8,<br>4.3.11 |
| onsdag 27/10                  | Oppgaver s 42<br>4.3.16, 4.3.18 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Repetisjon</li> <li>• Spørsmål og oppgaveløsning</li> </ul>                        | Utleverte oppgaver             |
| Fredag 29/10                  |                                 | Prøve Kap.( 3) og 4   |                                |

Oppgaver gjort på skolen og lekse

Oppgave 1

- Hva er enheten form stoffmengde?
- Hvor mange vannmolekyler er det i 1 mol  $O_2$ ?
- Hvor mange mol  $H_2O$  er  $3 \cdot 10^{24}$  vannmolekyler?

Oppgave 2

Hvor mange oksygenatomer er det i

- 1,25 mol  $SO_3$
- 3,15 mol  $MnO_2$
- 3,0 mol  $NiSO_4 \cdot 6H_2O$

Oppgave 3

- Når bruker vi begrepet formelmasse og når bruker vi begrepet molekylmasse?
- Beregn molekylmassen til  $SO_2$ ,  $H_2SO_4$  og  $CH_3COOH$ .
- Beregn formelmassen  $Mn(OH)_2$ ,  $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$  og  $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$

Oppgave 4

- Hva er molekylmassen til  $C_6H_{12}O_6$ ?
- Hva er massen til 1 mol  $C_6H_{12}O_6$ ?
- Hva er den molar massen til  $C_6H_{12}O_6$ ?

Oppgave 5

Hva er massen til

- 1 mol  $H_2$ ?
- 2 mol  $O_2$ ?
- 2 mol  $NaCl$  (s)
- 1,5 mol  $NaOH$ (s)

Oppgave 6

Hva er stoffmengden av

- $CO_2$  i 0,50g  $CO_2$ ?
- Na i 2,0g  $Na_2CO_3$ ?
- $FeSO_4$  i 10g  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ?

Oppgave 7

Finn molar masse til

- CO
- $C_8H_{18}$

c)  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

### Oppgave 8

Forklar i korte trekk hva vi må gjøre for å regne om

- a) Fra gram til mol av et stoff
- b) Fra gram til antall partikler av et stoff
- c) Fra mol til antall partikler av et stoff

### Oppgave 9

Beregn sammensetningen i masseprosent av grunnstoffene i gjødselstoffet urea med molekylformelen  $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ .

### Oppgave 10

- a) Hva er massen til en ballong med 5,0 L  $\text{H}_2$  gass ved  $25^\circ\text{C}$  og 1 atmosfære trykk?
- b) Hva er massen til en ballong med 5,0 L  $\text{CO}_2$  gass ved  $25^\circ\text{C}$  og 1 atmosfære trykk?
- c) Tettheten av tørr luft er 1,293g/L . Hva er grunnen til at ballongen med  $\text{H}_2$  gass vil stige til værs mens ballongen med karbondioksidgass vil falle til bakken?

### Oppgave 11

5,85 g natriumklorid løses i 180g vann. Beregn masseprosenten av NaCl i løsningen.

### Oppgave 12

- a) På en tannpasta tube er det oppgitt: Inneholder: natriummonofluorsulfat 0,76% (0,1% F). Kontroller at fluoridkonsentrasjonen er som angitt, når du får oppgitt at formelen for saltet er  $\text{Na}_2\text{PO}_3\text{F}$ .
- b) På flasken for en tannskyllevæske for daglig skylling er innholdet av natriumfluorid(NaF) oppgitt til 0,025%. Sammenlign denne tannskyllevæsken med tannkremen og regn ut hvilket produkt som har høyest masseprosent av fluorid.

### Oppgave 13

Hvilken størrelse oppgis med enheten

- a) Mol
- b) Gram
- c) Liter
- d) Gram pr mol
- e) Mol pr liter

Hvilket symbol brukes for hver størrelse?

### Oppgave 14

Hva er konsentrasjonen i mol/L av

- a) 2 mol NaCl i 3L vann?
- b) 0,5 mol NaCl i 2L vann?
- c) 4 g NaCl i 0,5 L vann?



- d) 4 g NaOH i 200ml vann?

#### Oppgave 15

Beregn stoffmengden i hver av vannløsningene.

- a) 2,0L av 2mol/L  $\text{CH}_3\text{COOH}$
- b) 10ml av 0,1 mol/L  $\text{H}_2\text{O}_2$
- c) 100mL av 3 mol/L  $\text{H}_3\text{PO}_4$

#### Oppgave 16

Beregn massen av oppløst stoff i hver av vannløsningene.

- a) 0,5L av 1,0mol/L NaCl
- b) 2,0L av 3 mol/L  $\text{MgCl}_2$
- c) 1,0L av 0,100mol/L  $\text{KMnO}_4$

#### Oppgave 17

Hvor mange gram av et stoff må veies inn for å lage 1,0L med 2,0 mol/L  $\text{CuSO}_4$  av

- a) Vannfritt kobber(II)sulfat?
- b) Kobbersulfat pentahydrat?

#### Oppgave 18

En analyse av kolesterolinnholdet i blod viste 192mg per 100mL serum. Molekylformelen for kolesterol er  $\text{C}_{27}\text{H}_{46}\text{O}$ , og den molare massen er 386g/mol. Regn ut serumkolesterotet i millimol per liter. Det er denne enheten (mmol/L) som brukes når du hører folk oppgi kolesterolverdien sin.

#### Oppgave 19

Beregn stoffmengden av  $\text{Cl}^-$  ioner i 100ml

- a) 0,5mol/L NaCl
- b) 0,1 mol/L  $\text{CuCl}_2$
- c) 1 mol/L  $\text{FeCl}_3$

#### Oppgave 20

Disse to løsningene blandes:

- 250ml 0,125mol/L  $\text{MgCl}_2$
- 800ml 0,350mol/L  $\text{FeCl}_3$ .

Finn stoffmengden og konsentrasjonene av  $\text{Cl}^-$  i blandingen.

## Kjemioppgaver, repetisjon

Avogadros tall:  $6,022 \cdot 10^{23}$

### Oppgave 1

- Finn formelmassen til vannfritt kobbersulfat,  $\text{CuSO}_4$  i u.
- Hva er stoffmengden til 5g  $\text{CuSO}_4$ ?
- Hvor mange formelenheter er det i 5g ren  $\text{CuSO}_4$ ?

### Oppgave 2

- Hvor mange mol alkohol er det i 21g metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ )?
- Hvor mange hydrogen atomer er det i 21g metanol?

### Oppgave 3

- 1,60g jernoksid inneholder 1,12g jern. Bestem den kjemiske formelen til jernoksid. (Tips: ant gram oksygen er 1,60g-1,12g)

### Oppgave 4

- Vi har 50 ml med svovelsyreløsning,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , med styrke 3 M.
  - Finn ut hvor mange mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$  det er i løsningen
  - Finn ut hvor mange gram det er av  $\text{H}_2\text{SO}_4$  i løsningen.

### Oppgave 5

- Forklar og vis utregning på hvordan du kan lage 100ml 0,5M  $\text{CuSO}_4$  løsning.
- Forklar og vis utregning på hvordan du kan lage 1L 1M svovelsyreløsning fra konsentrert svovelsyre når konsentrert svovelsyre inneholder 18 mol/L.

### Oppgave 6

Hemoglobin som transporterer oksygen fra lungene til venene i kroppen har en molekylmasse på 68000u. Hemoglobin inneholder 0,33% (masseprosent) jern.

Hvor mange jernatomer er det i hemoglobinmolekylet?