

Utviklingen av termometeret – et utdrag fra historien

Undervisningsopplegget bruker utviklingen av termometeret som inngang til å lære kjemielever noe om naturvitenskapens egenart. Teksten nedenfor er hentet fra Madelene L. Berntsen sin [masteroppgave](#), og er ment å gi leseren et bedre innblikk i undervisningsoppleggets historiske kontekst. Forskningsboka *Inventing Temperature* av Hasok Chang (2004) legger grunnlaget for historien som presenteres og henvises ikke til i løpende tekst. I masteroppgaven gis en mer detaljert beskrivelse av utviklingen av selve undervisningsopplegget, samt begrunnelser fra forskningen for bruk av vitenskapshistorie som inngang til å lære om naturvitenskapens egenart.

Valg av historisk kontekst for undervisningsopplegget

De fleste har ett eller flere termometre hjemme. Det kan være et termometer som måler inne- eller utetemperaturen, et termometer for å måle kroppstemperaturen når vi er syke, eller et steketermometer for å sikre at maten blir akkurat passelig stekt. Termometrene, enten de er digitale eller analoge, angir en tallverdi for hvor høy eller lav temperaturen er. Høy temperatur indikerer at noe er varmt, og lav temperatur indikerer at noe er kaldt. Termometeret vi i dag benytter har utviklet seg gjennom flere hundre år og det har gjennom historien vært flere utfordringer knyttet til måling av temperatur. Det å måle temperaturer i dag tar vi gjerne for gitt, og mange tenker kanskje ikke over alt arbeid som ligger bak et slikt praktisk, og tilsynelatende enkelt instrument. Siden de fleste elever har kjennskap til hva et termometer er og gjerne har brukt det i flere anledninger, kan termometerets utvikling være et fint utgangspunkt for et undervisningsopplegg som skal fremme naturvitenskapens egenart.

Inventing Temperature av Hasok Chang

Gjennom forskningsboka *Inventing Temperature* (2004) gjør vitenskapsfilosof og kjemihistoriker Hasok Chang et dypdykk i historien om temperatur og utviklingen av termometeret. Boka er inndelt i seks kapitler der de fire første tar for seg ulike historiske utfordringer ved å etablere en standardisert temperaturskala. Kapittel 1 tar utgangspunkt i utfordringen med å velge faste referansepunkter som termometeret kunne skaleres ut fra. Etter flere år med arbeid ble det bestemt at fryse- og kokepunktet til vann skulle benyttes, og dette var starten på det som ble omtalt som centigradskalaen (tidligere brukt navn på celsiuskalaen). Kapittel 2 tar utgangspunkt i utfordringen om å velge hvilket stoff som skulle brukes inni termometeret, et såkalt termometerfluid. Ulike typer termometer, som baserte seg på forskjellige termometerfluid, viste ulik temperatur når de målte samme situasjon. Siden man mente at det kun fantes én sann temperatur for en gitt situasjon, var

det problematisk at ulike termometer ga ulike verdier. Dermed begynte arbeidet med å finne det termometerfluidet som ga målinger tilsvarende den «sanne» temperaturen. Kapittel 3 handler om å utvide temperaturskalaen til ekstreme temperaturer. Ved ekstremt kalde, eller varme, temperaturer kunne det være utfordrende å avlese riktig temperatur ved hjelp av de eksisterende termometrene. Et eksempel på dette er at kvikksølv, som var det foretrukne termometerfluidet i lang tid, fryser ved omkring -39°C , og derfor er kvikksølvtermometeret ubrukelig ved så lave temperaturer. Kapittel 4 omhandler overgangen til termodynamikk og den moderne definisjonen av temperatur. Her blir blant annet William Thomson (Lord Kelvin, 1824-1907) sitt arbeid om å definere absolutt temperatur belyst. Kapittel 5 og 6 tar opp epistemologiske ideer og hvordan vitenskapshistorie i seg selv kan benyttes som «complementary science» for å utvikle eller forbedre naturvitenskapelig kunnskap. Ifølge Hasok Chang kan naturvitenskapelige arbeid i seg selv være utilstrekkelig for å komme fram til kunnskap, og da kan vitenskapshistorie være et nyttig verktøy. I det følgende vil utvalgte utfordringer knyttet til valg av termometerfluid, altså historien fra kapittel 2 bli presentert, da dette ble valgt som tema for undervisningsopplegget.

Utviklingen av termometeret og valg av termometerfluid

Det kan sies at utviklingen av termometeret begynte for fullt på 1600-tallet. I starten ble det utviklet instrumenter som kvalitativt kunne måle temperaturforskjeller, disse ble kalt termoskop. Videre ble det utarbeidet en rekke skalerte termometre, da man tenkte at temperatur var kvantifiserbart. På slutten av 1600-tallet var termometeret et utbredt instrument i overklassens hjem, men problemet med disse termometrene var at de ikke var standardisert. Ulike termometre kunne gi ulike måleverdier når de målte samme situasjon, noe datidens naturfilosofer så på som ulogisk. Tanken på denne tiden var at en gitt situasjon kun hadde én «sann temperatur». Dermed startet den lange og krevende oppgaven om å finne et standard termometer som kunne måle «sann temperatur». Arbeidet kan sies å ha nådd et slags endepunkt da termodynamikken vokste frem på midten av 1800-tallet. Videre tar teksten utgangspunkt i hvordan naturfilosofene kunne bestemme hvilket stoff som egnet seg best som termometerfluid: alkohol, kvikksølv eller luft?

Kvikksølv eller alkohol som termometerfluid?

I begynnelsen av 1700-tallet antok de fleste at alle stoffer utvidet seg uniformt med økende temperatur, men en rekke observasjoner fra ulike hold skulle utfordre dette synet. Herman Boerhaave (1668-1738) bestilte i 1732 to ulike termometre av den tyske fysikeren og instrumentmakeren Gabriel Daniel Fahrenheit (1686-1736). Boerhaave ønsket seg ett termometer som var basert på alkohol, og et annet basert på kvikksølv. Da termometrene var ferdige, oppdaget Boerhaave at termometrene ga ulike måleverdier selv om de var kalibrert etter samme

referansepunkter, og på samme vis. Ut fra synet på temperatur ga ikke dette mening, og Boerhaave ønsket derfor en forklaring på denne variasjonen. Fahrenheit mente at det var brukt ulike glasstyper i de to termometrene og at dette var årsaken til at de varierte. Boerhaave aksepterte denne forklaringen. En annen naturfilosof som oppdaget variasjoner blant de ulike termometrene, var franskmannen R. A. F. de Réaumur (1683-1757). Han var medlem av det franske vitenskapselskapet og en anerkjent naturfilosof i første halvdel av det 18. århundre. Han var aristokrat og ansett som en dyktig instrumentmaker. Réaumur lagde flere termometre, og i 1739 utga han en rapport som stadfestet at kvikksølvtermometrene og alkoholtermometrene ikke stemte overens med hverandre. Dette avviket forklarte han med at de ulike væskene utvidet seg ulikt. Både Boerhaave og Réaumur observerte, fra hvert sitt land, at ulike typer termometre ikke stemte overens. Siden flere publikasjoner dokumenterte at temperaturmålinger gjort med ulike termometre varierte, ble det nødvendig å undersøke antakelsen om at ulike termometerfluid utvidet seg på samme måte ved økende temperatur.

Siden termometre som benyttet ulike termometerfluid ikke ga like temperaturmålinger, ble det diskusjon om hvilket fluid som skulle benyttes for å få et nøyaktig termometer. Mange ulike stoffer ble foreslått, blant annet saltvann, olivenolje og svovelsyre, men det var særlig tre stoffer som skilte seg ut som bedre alternativer: kvikksølv, etylalkohol (også referert til som «spirit») og atmosfærisk luft. Flere bidragsytere var med på å finne ut hvilket stoff som egnet seg best å bruke i termometeret.

De Luc og «blandingsmetoden»

For å finne ut hvilket stoff som egnet seg best i termometeret, ble det foreslått å bruke den såkalte «blandingsmetoden». Den gikk ut på å blande lik mengde iskaldt vann (0°C) og kokende vann (100°C) i en isolert beholder. Dersom termometeret målte 50°C mente man at det målte riktig. For å teste andre temperaturer kunne man endre blandingsforholdet mellom kokende og iskaldt vann. Jean-André De Luc (1727-1817) var én av dem som benyttet seg av blandingsmetoden, blant annet for å sjekke nøyaktigheten til kvikksølvtermometeret. Han regnet ut hva «sann temperatur» i blandingen skulle være, og sammenliknet den beregnede verdien med målingene gjort av kvikksølvtermometeret. Han brukte ikke nøyaktig kokepunkt til vann, men en litt kaldere temperatur. Argumentasjonen for dette valget var at det var vanskelig å måle presist volum av kokende vann, fordi en del av vannets masse vil gå tapt ved fordamping. Avviket mellom beregnet temperatur og empirisk temperatur var svært liten, noe som førte til at De Luc konkluderte med at kvikksølv var godt egnet som termometerfluid. De Luc gjorde imidlertid flere antakelser underveis i undersøkelsen av kvikksølvtermometrene. Blant annet antok han at mengden varme som skal til for å øke

temperaturen til en gitt mengde vann, var proporsjonal med temperaturendringen. De Luc mente med dette at mengden varme som skal til for å øke temperaturen til en gitt mengde vann med én enhet er uavhengig av temperatur, altså den spesifikke varmen til vann var uavhengig av temperatur. Under arbeidet med termometeret undersøkte De Luc også ulike alkoholtermometre. I dette arbeidet observerte han at ulike alkoholtermometre viste forskjellige temperaturer når de målte samme situasjon. Dette sto i konflikt med synet på temperatur, og dermed måtte alkoholtermometeret forkastes.

Kalorikkteorien

På 1800-tallet blomstret det som omtales som kalorikkteorien. Denne teorien fantes i et par ulike varianter, men felles for dem var at varme ble ansett som et stoff, kalt kalorikk, som både var altgjennomtrengende og (nesten) vektløst. Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) var en av forkjemperne til kalorikkteorien og i 1789 utga han *Traité élémentaire de chimie*, der kalorikk ble inkludert i grunnstofftabellen. Sammen med flere andre naturfilosofer mente Lavoisier at kalorikk kunne inngå i kjemiske forbindelser av et stoff for å øke fluiditeten (hvor lett det beveger seg) til stoffet («bundet» kalorikk). Ved kondensering og koagulering ville kalorikk frigjøres («fri» kalori). Forkjemperne for kalorikkteorien mente at det bare var fri kalorikk som påvirket termometermålingene, og at den bundne kalorikken ikke kom til syne. Derfor trengte man å vite forholdet mellom mengden bundet kalorikk og mengden fri kalorikk for å kunne bestemme nøyaktigheten til termometeret. Dette var imidlertid vanskelig, fordi det var uenighet om hvordan kalorikken gikk over fra fri til bundet tilstand. Dersom man ikke visste mengden varme som gikk til bundet kalorikk, kunne man heller ikke si noe som helst teoretisk om den spesifikke varmen til stoffet. Siden blandingsmetoden lente seg på den teoretiske antakelsen om at spesifikk varme er uavhengig av temperatur, ble det satt spørsmålsteget ved gyldigheten til blandingsmetoden.

Kalorikkteorien utfordret De Luc sin konklusjon om at kvikksølvtermometeret var godt egnet, og diskusjonen om hvilket termometer som var best ble gjenåpnet. Selv om De Luc var en forkjemper for blandingsmetoden, anerkjente han at det var usikkerheter knyttet til metoden. Med usikkerheten rundt kvikksølvtermometeret rettet noen vitenskapsmenn blikket mot lufttermometeret.

Lufttermometeret og Henri Regnault

Joseph-Louis Gay-Lussac (1802) og John Dalton (1802) gjorde individuelle observasjoner av hvordan luft utvidet seg ved økende temperatur. Fra resultatene trakk begge konklusjonen at all type luft utvidet seg med lik volumfraksjon ved en gitt temperaturøkning. Både Dalton og Gay-Lussac påpekte at observasjonene deres ikke ga noe informasjon om hvorvidt luften utvidet seg lineært med temperaturøkningen. Dette var nødvendig å undersøke nærmere. Pierre-Simon Laplace (1749-1827)

- matematiker, fysiker og astronom - argumenterte i en utgivelse fra 1805 for lufttermometeret. Ifølge Chang (2004, s. 70) hadde Laplace vage formuleringer som «i det minste veldig sannsynlig» og «hvis vi tenker oss at (···) vil det være naturlig å tro at (···)». I tillegg til å argumentere for lufttermometeret forsøkte Laplace å gi en matematisk forklaring på temperatur og varme (kalorikk), men den matematiske teorien hans var bygd på mange antakelser og hadde lite rotfeste, ifølge Chang.

Utover 1800-tallet mente stadig flere at lufttermometeret virket som det beste alternativet, men det var ingen som hadde klart å argumentere for dette synet uten å lene seg på teoretiske antakelser. Franskmannen Henri Regnault (1810-1878) skulle endre på dette. Regnault er kanskje mindre kjent i dag, men på sin tid var han en anerkjent eksperimentell naturfilosof. Han fikk rikelig med finansiering for å kunne gjennomføre undersøkelsene sine, noe som var viktig siden mange av instrumentene han brukte var meget dyre. Chang (2004, s. 174) omtaler Regnault som en «mester i presisjon», fordi Regnault var svært opptatt av å være nøyaktig både før, under og etter det eksperimentelle forskningsarbeidet sitt. Han representerer det som har blitt kalt den post-laplacienske fysikken, som vektla empiriske undersøkelser framfor teoretisering. Regnault jobbet for å teste alle påstander uten å være avhengig av teoretiske antakelser. Eksempelvis ville ikke Regnault benytte seg av blandingsmetoden for å teste lufttermometeret, fordi denne metoden var avhengig av at spesifikk varme var uavhengig av temperatur (en teori som ikke er vitenskapelig argumentert for, altså en teoretisk antakelse). For å kunne trekke en konklusjon om hvilket termometerfluid som var best egnet benyttet Regnault seg av det som kan omtales som sammenliknbarhetsprinsippet. Tanken bak sammenliknbarhetsprinsippet var at dersom et termometer virkelig viste «sann temperatur» så må noen krav kunne stilles. Først og fremst måtte det kreves at et termometer ga like målinger dersom man gjentok en måling under like betingelser som forrige måling. I tillegg måtte alle termometre av samme type gi like resultater ved måling av det samme. Dette var to essensielle krav Regnault stilte til et godt termometer. Den eneste antakelsen sammenliknbarhetsprinsippet bygde på var at det kun fantes én temperaturverdi for en gitt situasjon, noe som videre blir kalt énverdiprinsippet. Chang mener énverdiprinsippet er et godt eksempel på det han omtaler som et ontologisk prinsipp. Ontologiske prinsipper er de antakelsene som blir ansett som helt essensielle trekk ved virkeligheten, og grunnleggende for at verden skal kunne forstås. Disse antakelsene kan ikke begrunnes verken ved hjelp av logikk eller empiriske undersøkelser.

Med sammenliknbarhetsprinsippet som utgangspunkt gjorde Regnault mange målinger med blant annet ulike kvikksølvtermometre og ulike lufttermometre. Ved å sammenlikne de ulike temperaturmålingene kunne han se om termometrene oppfylte sammenliknbarhetsprinsippet eller ikke. Regnault gjorde blant annet målinger med kvikksølvtermometre av ulike glasstyper og

observerte at forskjellen mellom termometrene økte med temperaturen. Siden kvikksølvet inni termometeret var likt for alle termometrene kunne det se ut som at glasset hadde innvirkning på temperaturmålingene, noe Fahrenheit hadde påstått en del år tidligere. På denne tiden hadde man ikke kunnskap om hvordan man skulle lage og behandle glassene slik at de ble identiske, dermed var det vanskelig å få alle kvikksølvtermometre helt like. Siden kvikksølvtermometre av ulike glasstyper ikke samstemte, kunne Regnault forkaste kvikksølv som termometerfluid.

Det viste seg at temperaturmålingen gjort av lufttermometeret var mindre avhengig av glasset. Regnault undersøkte dermed andre mulige variabler. Blant annet undersøkte Regnault lufttermometre med ulik lufttetthet, og observerte om de var sammenliknbare. Resultatet viste at lufttermometrene med ulik lufttetthet inni termometersøylen ga relativt like temperaturmålinger gjennom hele skalaen. Variasjonen mellom temperaturmålingene var alltid under 0,1% av den målte verdien, noe som kunne tyde på at lufttermometrene var sammenliknbare. Noe som også styrket denne konklusjonen var at variasjonen mellom målingene ikke fulgte et spesielt mønster, slik som variasjonen mellom kvikksølvtermometrene gjorde. Ut fra en rekke undersøkelser konkluderte Regnault med at lufttermometeret var det mest nøyaktige, fordi det oppfylte sammenliknbarhetsprinsippet i størst grad. Han påpekte riktignok at dette ikke sa noe om temperaturmålingene viste «sann temperatur».

Regnault forsøkte også å finne ut om man kunne benytte en hvilken som helst gass som termometerfluid. Han observerte at lufttermometeret var relativt sammenliknbart med både hydrogengass-termometer og karbondioksidgass-termometer. Termometrene som brukte svovelsyre-gass var imidlertid ikke sammenliknbart med lufttermometre. Dette var én av observasjonene som førte til at Regnault konkluderte med at man ikke kunne benytte ulike gasser som termometerfluid. Chang (2004) påpeker at Regnault ikke diskuterte hvorvidt de andre gassene oppfylte sammenliknbarhetsprinsippet, men at dette trolig skyldtes praktiske og økonomiske hensyn. Regnault konkluderte til slutt med at luft var det beste av de tre termometerfluidene som ble undersøkt: alkohol, kvikksølv og luft.