

# LÆRERVEILEDNING

Henri Regnault og valg av termometerfluid på 17 og -1800-tallet

Madelene Losvik Berntsen

14.02.2023

## Innhold

Innledning.....	3
Regnault og valg av termometerfluid (kortversjon).....	4
Målet med undervisningsopplegget.....	6
Tidsplan med beskrivelse .....	8
PowerPoint med notater.....	10
Forslag til utvidelse.....	18
Litteratur.....	19

## Innledning

Undervisningsopplegget tar utgangspunkt i en episode i vitenskapshistorien; utviklingen av termometeret. Denne historiske konteksten benyttes som inngang for å lære kjemielever noe om naturvitenskapens egenart (*Nature of Science*, NOS). NOS handler blant annet om hvordan hypoteser, teorier, metoder og modeller utvikles og brukes innenfor de ulike naturvitenskapelige disiplinene. Dette er kunnskap som blir vektlagt i læreplan i kjemi gjennom kjerneelementet «praksiser og tenkemåter i kjemi» (Utdanningsdirektoratet, 2020). Læreplanen i kjemi tydeliggjør at kjemilærere må lære elevene noe om NOS, på lik linje som etablert kjemisk kunnskap.

Undervisningsopplegget ble i utgangspunktet utviklet for kjemielever på VG2 (kjemi 1), men passer også for naturfag vg1 og kjemi 2. Nedenfor er kompetansemål fra de tre nevnte fagene som kan knyttes til undervisningsopplegget.

### Naturfag SF 1 (NAT01-04)

- drøfte hvordan utvikling av naturvitenskapelige hypoteser, modeller og teorier bidrar til at vi kan forstå og forklare verden

### Kjemi 1 (REA3045)

- planlegge og gjennomføre forsøk, estimere usikkerhet og vurdere feilkilder, presentere resultater og argumentere for gyldigheten av resultater og konklusjoner
- bruke data, simuleringer og beregninger i tolkninger og til å trekke konklusjoner

### Kjemi 2 (REA3046)

- planlegge og gjennomføre forsøk, drøfte metode og tiltak for å redusere risiko og vurdere usikkerhet og feilkilder i egne og andres forsøk
- gjøre rede for hvordan naturvitenskapelige modeller og teorier utvikles, og reflektere over hvordan samarbeid bidrar til kunnskapsutvikling i kjemi
- utforske en teoretisk eller praktisk problemstilling, og drøfte og presentere funn

Videre vil det gis en kort introduksjon til undervisningsoppleggets historiske kontekst; termometerets utvikling. Deretter presenteres læringsmål og en detaljert tidsplan for opplegget. Videre gis en lærerveiledning til undervisningsoppleggets PowerPoint-presentasjon. Her knyttes hvert lysbilde til lærernotater, som inkluderer manus til læreren, samt tips. Avslutningsvis gir jeg et par forslag til mulig utvidelse av undervisningsopplegget.

### Nedlastbare dokumenter:

- Nedlastbare, utskriftsklare oppgaveark til aktivitet med måledata ligger [her](#).
- Nedlastbar ppt-fil til presentasjonen ligger [her](#).
- Detaljert introduksjon til den historiske konteksten; utviklingen av termometeret ligger [her](#)

## Regnault og valg av termometerfluid (kortversjon)

Da jeg utviklet undervisningsopplegget leste jeg forskningsboka *Inventing Temperature* av vitenskapsfilosof og kjemihistoriker og vitenskapsfilosof Hasok Chang (2004). Gjennom boka fikk jeg innblikk i flere utfordringer som oppstod da naturfilosofene (datidens vitenskapsmenn) på 17- og 1800-tallet forsøkte å utvikle et pålitelig termometer som viste «sann temperatur». Jeg valgte utfordringen knyttet til valg av termometerfluid som historisk kontekst for undervisningsopplegget. Teksten nedenfor er hentet fra min [masteroppgave](#) og gir en kort introduksjon til den historiske konteksten. En mer detaljert introduksjon kan leses ned [her](#). Siden *Inventing Temperature* av Hasok Chang (2004) legger grunnlaget for historien henvises den ikke til i løpende tekst.

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 med å finne et standard termometer som kunne måle «sann temperatur». Dette arbeidet tok over hundre år, og kan sies å ha nådd et slags endepunkt da termodynamikken vokste frem på midten av 1800-tallet. Dette undervisningsopplegget tar utgangspunkt i hvordan naturfilosofene kunne bestemme hvilket stoff som egnet seg best som termometerfluid: alkohol, kvikksølv eller luft. Det var flere bidragsytere for å løse denne problemstillingen, men undervisningsopplegget fokuserer i hovedsak på Henri Regnault (1810-1878) sitt arbeid med termometeret, og valg av termometerfluid.

Da Regnault arbeidet med å finne det beste termometerfluidet, var alkohol allerede blitt forkastet. Dette skyldtes at det var blitt observert at ulike alkoholtermometre viste forskjellige temperaturer når de målte samme situasjon, noe som sto i konflikt med synet på temperatur. Jean-André De Luc (1727–1817) var blant de som observerte dette, og han konkluderte med at alkohol var lite egnet som termometerfluid.<sup>1</sup> Ved å bruke det som kan omtales som blandingsmetoden<sup>2</sup> konkluderte De Luc med at kvikksølv var best egnet som termometerfluid.

---

<sup>1</sup> Det å velge én standard alkoholkonsentrasjon som termometerfluid var vanskelig, da det ikke var utviklet metoder for å bestemme nøyaktig konsentrasjon på denne tiden.

<sup>2</sup> Blandingsmetoden 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 endret man blandingsforholdet mellom kokende og iskaldt vann.

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. 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. 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<sup>3</sup>.

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 påvirket. 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 er verdt å merke seg at De Luc brukte sammenliknbarhetsprinsippet da han konkluderte med at alkohol var et uegnet termometerfluid, men han brukte ikke prinsippet like konsekvent som Regnault.

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 at også disse ga relativt like temperaturmålinger

---

<sup>3</sup> 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.

gjennom hele skalaen, noe som kunne tyde på at lufttermometrene var sammenliknbare. 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».

## Målet med undervisningsopplegget

Læreplan i kjemi fremhever flere aspekter ved NOS gjennom de fire kjerneelementene til faget: «Praksiser og tenkemåter i kjemi», «Kjemiske bindinger og strukturer», «Kjemiske reaksjoner» og «Anvendt kjemi» (Utdanningsdirektoratet, 2020). Det er særlig kjerneelementet praksiser og tenkemåter i kjemi som rettes direkte mot NOS, ved å peke på at elevene skal lære om hvordan naturvitenskapelige hypoteser, teorier, metoder og modeller innenfor fagfeltet utvikles og brukes, og hvordan disse er knyttet til eksperimenter og forsøk. I tillegg handler *praksiser og tenkemåter* om praktisk laboratoriearbeid, utforskende aktiviteter, metodevalg, bearbeiding av innsamlede data, fagets representasjonsformer, symboler og termer (Utdanningsdirektoratet, 2020). Termometer som måleinstrument og temperatur blir ikke nevnt som en del av kompetansemålene i verken kjemi 1 eller kjemi 2, men elevene skal imidlertid gjennom denne konteksten få innblikk i praksiser og tenkemåter i kjemi, i tillegg til at kompetansemålene nedenfor vil være relevant.

Kjemi 1:

- planlegge og gjennomføre forsøk, **estimere usikkerhet og vurdere feilkilder**, presentere resultater og **argumentere for gyldigheten av resultater og konklusjoner**
- **bruke data**, simuleringer og beregninger i **tolkninger og til å trekke konklusjoner**

Kjemi 2:

- planlegge og gjennomføre forsøk, **drøfte metode** og tiltak for å redusere risiko og **vurdere usikkerhet og feilkilder** i egne og **andres forsøk**
- gjøre rede for hvordan naturvitenskapelige modeller og **teorier utvikles**, og **reflektere over hvordan samarbeid bidrar til kunnskapsutvikling i kjemi**
- utforske en teoretisk eller praktisk problemstilling, og drøfte og presentere funn

Målet med undervisningsopplegget er å gi elevene kunnskap om naturvitenskapens egenart (NOS). Det er vanskelig å belyse alle aspekter ved NOS, og derfor må lærer velge ut hva som skal belyses (Erduran & Dagher, 2014, s. 166). Dette undervisningsopplegget begrenser seg til NOS-kategoriene mål og verdier, metoder og metodologiske regler og praksiser, som beskrevet i *family resemblance approach*-rammeverket (Irzik & Nola, 2010; Erduran & Dagher, 2014), og nedenfor er en punktvis oversikt over hvilke NOS-elementer som kan belyses gjennom undervisningsopplegget.

- *Mål og verdier:*
  - Regnault hadde som mål å finne et nøyaktig termometer, og dette er et eksempel på hvorfor forskere forsker – de har som mål å finne ut noe, eller løse en utfordring
  - Regnault baserte konklusjonene sine på empirisk evidens, og dette er et eksempel som viser at forskere retter seg etter verdier, og at disse verdiene påvirker den vitenskapelige praksisen.
- *Metoder og metodologiske regler:*
  - Regnault benyttet sammenliknbarhetsprinsippet som sa at (1) termometre av samme type må gi like temperaturmålinger i en gitt situasjon og (2) et termometer må kunne gi samme resultat dersom man gjentar samme måling.
  - Regnault gjorde ulike varianter av et forsøk der han testet ut én og én variabel systematisk – altså er han et eksempel på en forsker som følger noen metodologiske regler
- *Praksiser:*
  - Regnault publiserte alle resultatene sine, og dette var med på å styrke påliteligheten til resultatet

## Tidsplan med beskrivelse

Varighet	Hva?	Hvorfor?
15 min	<p><b>Introduksjon</b> (lysbilde 1-3)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Introdusere mål for timen</li> <li>- Plenumsdiskusjon om <i>måling</i> – knytte tematikken til tidligere kjemikunnskap</li> </ul>	<p>Målet med <i>introduksjonen</i> er å (1) informere elevene om målet for timen (2) knytte temaet (termometeret og måling av temperatur) til noe som er kjent for elevene fra før. Flere har påpekt at vitenskapshistorien burde presenteres som en integrert del av det kjemifaglige som elever skal lære (Clough, 2020, s. 519). Temperatur og termometer i seg selv står ikke eksplisitt i læreplanen, men det å gjøre målinger er en naturlig del av kjemifaget, da det å gjennomføre ulike typer målinger kan være en måte å undersøke et fenomen på (Brandon, 1994). Målinger er en form for data som kan vurderes og tolkes for å fremskaffe kunnskap. I dette opplegget brukes syre-base-titrering som inngang for å starte opp med undervisningens tema. Under gjennomføring av titrering gjør man flere målinger underveis, og det gir rom for god diskusjon om hva som er pålitelig målinger og hvilke krav man har til måleinstrumentene. Dersom titrering er ukjent for elevene kan denne delen erstattes med et annet kjent elevforsøk som involverer å gjøre målinger.</p>
20 min	<p><b>Problematikken på 1700-tallet</b> (lysbilde 4-7)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Introduksjon av vitenskapsmenn på 1700- og 1800-tallet og utfordringene med termometeret. Én utfordring: å velge type «termometer«fluid» som skulle brukes</li> <li>- Underveis diskuterer elever problemstillinger som vitenskapsmennene på 1700- og 1800-tallet også stod overfor (se PowerPoint)</li> <li>- <b>Begreper:</b> <i>énverdiprinsippet, pålitelige resultater, teoretiske antakelser og sammenliknbarhet</i></li> </ul>	<p><i>Problematikken på 1700- og 1800-tallet</i> går ut på å sette elevene inn i den historiske konteksten. Tidligere forskere arbeidet under en helt annen sosiokulturell kontekst, og dette er viktig å frem.</p> <p>Videre presenteres utfordringen om at ulike termometre på 17- og 1800-tallet ikke samsvarte. I tillegg presenteres et utvalg mennesker som bidro i arbeidet med termometeret. Ved å presentere flere bidragsytere kan man gi et bilde på hvor utfordrende det er å utvikle ny kunnskap, samt at man unngår å fremstille Regnault som en individuell forsker, overlegen alle andre, som på egenhånd fant frem til et godt termometer. Heltedyrkelse bør unngås!</p> <p>Avslutningsvis i denne delen blir elevene presentert for sammenliknbarhetsprinsippet, som et kriterium for et godt termometer. Før det må elevene selv diskutere ulike problemstillinger, som også naturfilosofene på 1700- og 1800-tallet måtte ta stilling til, i valget om termometerfluid.</p>



10 min	<p><b>Alkoholtermometeret</b> (lysbilde 8)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Introduksjon av De Luc</li> <li>- Gruppediskusjon der elevene vurderer De Luc sine målinger med alkoholtermometre med varierende alkoholkonsentrasjon.</li> </ul>	<p>Delen om <i>alkoholtermometeret</i> innebærer å tolke og vurdere en grafisk fremstilling av temperaturmålinger gjort av ulike alkoholtermometre. Målingene viste faktiske resultater som var gjort av De Luc, og elevene skulle vurdere om alkoholtermometrene var sammenliknbare.</p> <p>Min erfaring er at elever kan synes denne grafen er litt vanskelig å tolke, så det kan være lurt å forklare grafen grundig.</p>
5 min	<b>Pause</b>	
20 min	<p><b>Kvikksølvtermometeret</b> (lysbilde 9)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Introduksjon av Regnault</li> <li>- <b>Aktivitet med måledata:</b> «Diskusjonsoppgave – kvikksølvtermometeret»: Målinger med kvikksølvtermometre av ulike glasstyper</li> </ul>	<p>I delen om <i>kvikksølvtermometeret</i> og <i>lufttermometeret</i> får elevene først en introduksjon om hvem Regnault var, før de får utdelt oppgaveark med måledata. Alle oppgaveark tilhørende <i>aktiviteten med måledataene</i> finner du klar til print <a href="#">her</a></p> <p><i>Aktiviteten med måledataene</i> går ut på at elevene skal vurdere og tolke Regnault sine måledata fra 1800-tallet. Under begge oppgavene skal elevene ut fra dataene vurdere hvorvidt termometrene er sammenliknbare. Oppgavene ble utviklet som en del av undervisningsopplegget fordi det å kombinere vitenskapshistorie med elevaktiviteter er blitt trukket frem som nyttig for å få elevene til å interagere med den historiske konteksten (Klassen &amp; Klassen, 2014).</p>
15 min	<p><b>Luft-termometeret</b> (lysbilde 10-11)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Aktivitet med måledata:</b> «Diskusjonsoppgave - lufttermometeret del 1»: Målinger med lufttermometre med ulik lufttetthet inni termometersøylen «Diskusjonsoppgave - lufttermometeret del 2»: Målinger med ulike gasstermometre (<a href="#">Ikke tid til denne på en 90 min-økt</a>)</li> </ul>	
10 min	<p><b>Oppsummering</b> (lysbilde 12-13)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Oppsummering om Regnault sitt arbeid</li> <li>- Høre hva elevene har lært ila. timen og trekke linjer til NOS-elementer</li> </ul>	<p><i>Oppsummering</i> handler om å samle løse tråder og fremheve viktige poeng fra undervisningen. Her kan læreren guide elevene slik at NOS-elementer kommer eksplisitt frem.</p>

# PowerPoint med notater

PowerPoint-fil finner du [her](#). Nedenfor er en lærerveiledning til hvert lysbilde i PowerPoint-presentasjonen.

## Hva er målet for dagen?

### • Hovedtema: **Utviklingen av termometeret**

#### • **Henri Regnault**

- Hvilke metoder brukte han i sitt arbeid?
- Hvilke mål og verdier hadde han under det naturvitenskapelige arbeidet sitt?



### • Målet: **Lære om praksiser og tenkemåter i kjemi**



### Lysbilde 1

**Tidsestimering:** 5 min

**Mål:** Elevene skal få et innblikk i hva de skal lære i løpet av timen.

**Manus:** Temaet for dagen er «utviklingen av termometeret på 1700- og 1800-tallet». Vi skal se på én av utfordringene vitenskapsmenn, da kalt naturfilosofer, møtte på i forbindelse med det å utvikle et pålitelig termometer. I dette arbeidet var det flere bidragsytere, men vi skal snakke mest om en kar som het Henri Regnault. Han var franskmann og levde på 1800-tallet. Vi skal se på hvilke metoder han brukte, samt hvilke mål og verdier han hadde under sitt vitenskapelige arbeid for å utvikle termometeret. Forhåpentligvis kan en slik historie lære dere litt om praksiser og tenkemåter i kjemi, noe som er et viktig emne innenfor kjemifaget.

## Måling på lab'en

- Kan du komme på om du har målt noe på lab'en noen gang?



### Lysbilde 2

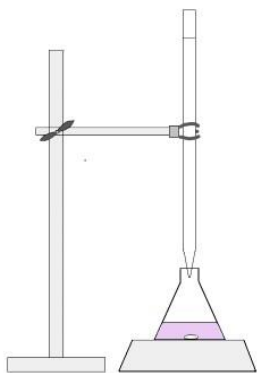
**Tidsestimering:** 5 min

**Mål:** Aktualisere tematikken «måling» ved å knytte det til laboratoriearbeid i kjemifaget.

**Manus:** Før vi begynner å snakke om historien til termometeret, vil jeg at vi skal snakke litt generelt om måling. Termometeret brukes i dag til å måle temperatur. Og det vi egentlig gjør, er å gi temperaturen en tallverdi. På den måten blir temperatur kvantifiserbar.

For å underbygge hypoteser samler forskere inn data. En måte å samle data på er gjennom ulike typer målinger. Dersom dere tenker tilbake på lab-øvelsene dere har gjennomført. Kan dere komme på om dere har gjort målinger av en eller annen form?

## Syre-basetitrering



- Hva er titrering?
  - Titrering er en analysemetode for å bestemme mengden av et kjemisk stoff i en prøveløsning.
- Hvordan gjennomføres det?
- Hvordan sikrer vi at resultatene av titreringen blir pålitelige?
  - Gjøre flere paralleller
  - Valg av type måleinstrument
  - Være nøyaktig når vi leser av måleinstrumentet
  - Vaske utstyr før bruk – unngå urenheter
  - Bruke passende indikator



### Lysbilde 3

**Tidsestimering:** 5 min

**Mål:** Knytte tematikken til noe elevene har erfaring med, samt få de til å reflektere over hva som må til for å frembringe pålitelige resultater. Dersom elevene ikke har gjennomført titrering kan dette erstattes med en annen kjent elevøvelse som involverer en form for måling.

**Manus:** Dere gjennomførte for litt siden syre-basetitrering. Kan dere huske hva titrering var? Er det noen som kan si kort hvordan dere gjennomførte en titrering med sterk syre og base?

Gjennom titrering kan man bestemme konsentrasjonen av en prøveløsning, men hvordan kan dere være sikre på at konsentrasjonen dere har beregnet er den samme som konsentrasjonen i løsningen? Hva gjør dere for at resultatene deres skal være pålitelige?

La elevene selv komme frem til kriterier, og forsøk å knytte forslagene mot ideen om at: nøyaktig måling av volum er svært viktig for et godt resultat, noe som gjør at vi er avhengig av et pålitelig måleinstrument

## Måling av temperatur

- Hvilke krav tenker dere at et pålitelig termometer må oppfylle?



### Lysbilde 4

**Tidsestimering:** 5 min

**Mål:** Introduksjon til «temperaturmåling». Få elevene til å reflektere over egenskaper et godt termometer må ha: sammenliknbarhetsprinsippet og én-verdi-prinsippet

**Manus:** Ved titrering var dere avhengig av nøyaktig volumetriske målinger. Andre ganger er vi avhengig av å måle nøyaktig temperatur, og da er vi avhengig av et pålitelig termometer. Hvilke krav tenker dere at vi må stille til et pålitelig termometer?

La elevene diskutere i grupper og kanskje kommer de på følgende på egenhånd: (1) Et termometer må vise det samme fra gang til gang, dersom det måler samme situasjon. (2) Ulike termometrene må samsvare. Disse kriteriene kan knyttes til det som omtales som én-verdi-prinsippet. Altså at én situasjon kan kun ha én temperatur.

I dag er vi så heldig at termometrene er utviklet til å samsvare med hverandre. Og dersom det skulle være noe avvik mellom dem så vil dette avviket være ganske lite.

## På 1700-tallet fantes ikke et standard termometer

- Det ble laget ulike typer termometere og de ulike termometrene ga ulike måleverdier når de målte det samme

→ På 1700-tallet startet arbeidet for å utvikle et termometer som kunne vise *sann temperatur*

### Et utvalg vitenskapsmenn som bidro i utviklingen av termometeret

- **Nederland**
  - H. Boerhaave (1668-1738)
- **Storbritannia**
  - J. Dalton (1766-1844)
  - W. Thomson (1824-1907)
- **Frankrike**
  - R. A. F. Reaumur (1683-1757)
  - A. Lavoisier (1743-1794)
  - P. S. Laplace (1749-1827)
  - H. Regnault (1810-1878)
- **Sverige**
  - A. Celsius (1701-1744)
- **Tyskland**
  - D. G. Fahrenheit (1686-1736)
- **Sveits**
  - J. A. De Luc (1727-1817)



Bearbeidet fra: World Factbook 2022 Washington, DC: Central Intelligence Agency, 2021.  
<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/countries/france/#countrymap> Public Domain. Bildet er endret ved at jeg har farget og valgt utland med gul/lilla og grønn

### Lysbilde 5 og 6

**Tidsestimering:** 5 min

**Mål:** Gi et innblikk i hvordan naturvitenskapelig arbeid styres av mål og verdier, samt hvor utfordrende og krevende det var å skulle utvikle et standard termometer.

**Manus:** Men på 1700-tallet fantes det ikke et standard termometer. Blant annet ble det brukt ulike «fluider» (= samlebetegnelse på gass og væske) inni termometrene, noe som førte til at målt temperatur varierte fra termometer til termometer. Vitenskapsmenn på 1700-tallet mente dette var problematisk, fordi de tenkte at det kun fantes én temperatur i en gitt situasjon (*én-verdi-prinsippet*). Derfor startet arbeidet med å utvikle et termometer som kunne vise sann temperatur.

Diskutere hva som menes med *sann temperatur*.

Utover 1700-tallet arbeidet mange vitenskapsmenn med å finne et termometer som kunne vise sann temperatur. Dette arbeidet var ikke veldig enkelt. Det krevde mange bidragsytere og her [bytt bilde] ser dere et utvalg personer som arbeidet med termometeret.

## Valg av type termometerfluid – kvikksølv, alkohol eller luft?



- Hva kan vi si om de kjemiske/fysiske egenskapene til de ulike stoffene?
- Har de noen likheter/ulikheter?
- Hvordan kan vi avgjøre hvilket termometer som er best?

### • Sammenliknbarhetsprinsippet

- Et termometer må kunne gi samme resultat dersom man gjentar samme måling.
- Alle termometere av samme type må gi like resultater

Kvikksølv (Hg)

Alkohol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)

Luft (gassblanding)

### Lysbilde 7

**Tidsestimering:** 10 min

**Mål:** Få elevene til å reflektere over hvordan ulike kjemiske/fysiske egenskaper kan påvirke temperaturmåling.

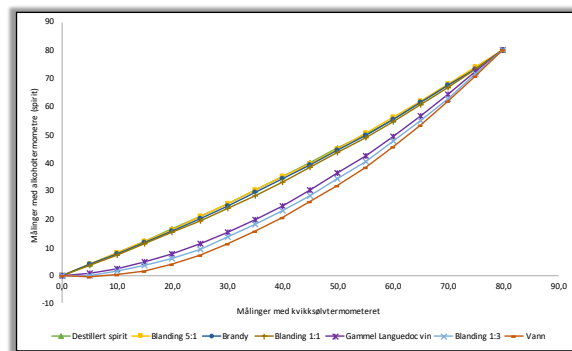
**Manus:** Én av utfordringene vitenskapsmennene måtte ta hensyn til var valg av termometerfluid. På 1700-tallet var det foreslått mange ulike stoffer som kunne egne seg som termometerfluid, men det var særlig kvikksølv, alkohol og luft som ble ansett som de beste alternativene og det er de tre vi skal fokusere på i dag. Før vi går videre hva kan dere si om de kjemiske og fysiske egenskapene til de tre stoffene?

Dersom man sammenliknet temperaturmålinger fra henholdsvis kvikksølvtermometer, alkoholtermometer og lufttermometer, så man at temperaturene ikke stemte overens. Derfor måtte man velge hvilket av disse stoffene som var best egnet. Hvis dere tenker på kravene vi stilte til et pålitelig termometer [lysbylde 4]. Hvordan tenker dere at man kan avgjøre hvilket termometerfluid som er best?

Elevene synes nok dette er vanskelig å svare på, men det er helt i orden. Naturfilosofene på 17- og 1800-tallet synes også disse problemstillingene var vanskelige. Det at elevene står litt fast, og ikke helt klarer å finne løsninger med en gang er et godt eksempel på det å drive med forskning og finne ut av nye ting.

Det var utfordrende for vitenskapsmennene på 17- og 1800-tallet å løse denne problemstillingen. Det krevde prøving og feiling, samt at man til tider måtte gjøre noen antakelser underveis. Men én måte å unngå teoretiske antakelser på var gjennom noe som kalles *sammenliknbarhetsprinsippet*. [presenter de to kriteriene]. Dette prinsippet brukte særlig Henri Regnault under sitt arbeid med termometeret, men han skal ikke få all ære for ca. 75 år før Regnault arbeidet Jean Andre De Luc med å finne ut hvilket termometerfluid som egnet seg best.

## Alkoholtermometre med ulike konsentrasjoner



Jean Andre De Luc (1772) sammenliknet ulike alkoholtermometre og fikk følgende resultat. (Diagrammet er basert på fremstillingen som gjevning/temperatur av Hasok Chang (2004, s. 78))



Jean Andre De Luc y Carcader (1798). Bibliothèque publique et universitaire de Genève. <https://www.e-geneve.ch/sonos/capite/jean-de-luc-1772-1832>  
Public Domain (Bilde er endret ved å slette bakgrunn)

### Lysbilde 8

**Tidsestimering:** 10 min

**Mål:** Elevene skal få øving i å tolke og vurdere data, samt bruke data til å argumentere for eller mot en påstand. Forhåpentligvis vil elevene gjennom aktiviteten også få litt eierskap til dataene.

**Manus:** I 1772 gjorde De Luc målinger med flere alkoholtermometre, der alkoholkonsentrasjonen i de ulike termometrene varierte. Som et referansetermometer benyttet han et kvikksølvtermometer. Grafen viser noen av resultatene til De Luc. **Ut fra resultatet, tenker dere at alkoholtermometrene er sammenliknbare? Vil dere si at denne typen termometer gir pålitelige temperaturmålinger?**

Min erfaring er at elever kan synes denne grafen er litt vanskelig å tolke, så det kan være lurt å forklare grafen grundig. x-aksen presenterer temperaturmålingene til referansetermometeret (kvikksølv), og y-aksen presenterer temperaturmålinger gjort av ulike alkoholtermometre. Eksempelvis kan man se at når referansetermometeret måler 20°C ( $x = 20$ ) er det stor variasjon i temperaturmålingene hos de ulike alkoholtermometrene ( $y_{\min} \approx 5$  og  $y_{\max} \approx 17$ ). Siden alkoholtermometrene ikke har samme y-verdi for en gitt x, er de ikke sammenliknbare – alkoholtermometrene viser ulik temperatur når de måler samme situasjon. Måledataene finnes på tabellform i exceldokumentet [her](#)

De Luc forkastet alkoholtermometrene fordi de ikke var sammenliknbare. Det å velge én standard alkoholkonsentrasjon som skulle benyttes var vanskelig, da det ikke var utviklet metoder for å bestemme nøyaktig konsentrasjon på denne tiden.

De Luc konkluderte med at kvikksølvtermometeret var best. Måten han gjorde det på var ved hjelp av blandingsmetoden. Han tenkte at dersom han blandet like deler iskaldt vann (0°C) og kokvarmt vann (100°C) ville resultatet være middelverdien. Ved å variere forholdet mellom varmt og kaldt vann kunne han beregne den teoretiske temperaturen i blandingen. For å avgjøre hvor godt et termometer var kunne han sammenlikne termometerets målte temperatur med den teoretiske temperaturen. I denne «testen» kom kvikksølvtermometeret godt ut. Og kvikksølvtermometeret ble ansett som det beste alternativet en god stund. Utfordringen med De Luc sin metode var at han brukte noen teoretiske antakelser underveis. Blant annet at den spesifikke varmekapasiteten til vann var uavhengig av temperatur. Da ulike varianter av kalorikteori (teori der varme ble ansett som et stoff, kalt kalorikk) vokste frem på begynnelsen av 1800-tallet, ble det satt spørsmålsteget til blandingsmetodens gyldighet. Selv om De Luc selv var en forkjemper for blandingsmetoden anerkjente han at det var usikkerhet knyttet til metoden.

## Henri Regnault (1810-1878)

- «Kongen av presisjon»
- Ønsket at alle påstander skulle underbygges av data, ikke lene seg på teoretiske antakelser.
- **Sammenliknbarhetsprinsippet**
  - Et termometer må kunne gi samme resultat dersom man gjentar samme måling.
  - Alle termometere av samme type må gi like resultater



Henri Victor Regnault, av Louis Dujardin, 1895, Le Musée de l'École Polytechnique, Paris. <https://www.polytechnique.edu/medias/travaux-recherche/00000495/collections/musee> Public Domain (bilde er endret ved å sette bakgrunn)

### Lysbilde 9

**Tidsestimat:** 5 min

**Mål:** Menneskeliggjøre naturvitenskapen.

**Manus:** Ca. 70 år etter De Luc sine resultater dedikerte franskmannen Henri Regnault seg til sammenliknbarhetsprinsippet for å bestemme termometerfluid uten å lene seg på teoretiske antakelser. Regnault var opptatt av å underbygge alle påstandene sine med empirisk data. Han mente at når man skulle utvikle ny kunnskap måtte man redusere teoretiske antakelser underveis i forskningsarbeid. Sammenliknbarhetsprinsippet ble måten Regnault unngikk teoretiske antakelser. Den eneste antakelsen han brukte var at det kun fantes én temperatur i en gitt situasjon. Presenter og del ut diskusjonsoppgaven om kvikksølvtermometeret.



## Kvikksølvtermometre av ulike typer glass

Luft-termometer (°C)	Kvikksølv med «Choisy-le-Roi» krystall (°C)	Kvikksølv med «vanlig» glass (°C)	Kvikksølv med grønt glass (°C)	Kvikksølv med svensk glass (°C)
100	100,00	100,00	100,00	100,00
150	150,40	149,80	150,30	150,15
200	201,25	199,70	200,80	200,50
250	253,00	250,05	251,85	251,44
300	305,72	301,08	-	-
350	360,50	354,00	-	-

Henri Regnault (1847) sammenliknet ulike kvikksølvtermometre og fikk følgende resultat.

### Lysbilde 10

**Tidsestimat:** 12 min med gruppediskusjon + 3 min dele i plenum

**Mål:** Elevene skal få øving i å tolke og vurdere data, samt bruke data til å argumentere for eller mot en påstand. Forhåpentligvis vil elevene gjennom aktiviteten også få litt eierskap til dataene.

**Manus:** [Eget oppgaveark](#). Spørsmål til plenumsdiskusjon: Hvilke tanker har dere om temperaturmålingene gjort av kvikksølvtermometeret? Tenker dere at kvikksølvtermometrene er sammenliknbare? Hva sier resultatet om kvikksølvets egenskaper? Kunne man bare valgt et standard glass slik at kvikksølvtermometrene ble sammenliknbare?

**Bemerkninger til målingene:** Målingene stemte ganske godt fram til rundt 250 grader. Da ser vi at differansen mellom kvikksølvtermometer 1 og 2 er økende. Ved ca. 350 grader er avviket på 6,5 grader (nesten 2 % avvik).

Ut fra undersøkelsene sine konkluderte Henri Regnault med at kvikksølvtermometrene ikke var sammenliknbare. Det skal sies at dette er kun et lite utdrag av målingene til Regnault. I realiteten gjennomførte han målinger med hele 11 ulike kvikksølvtermometre.



## Lufttermometre med ulik lufttetthet



Luft-termometer (A)		Luft-termometer (A')		Temperatur-differanse
Trykk (mmHg)	Temperatur (°C)	Trykk (mmHg)	Temperatur (°C)	Temp <sub>A</sub> - Temp <sub>A'</sub> (°C)
762,75	0	583,07	0	0
1027,01	95,57	782,21	95,57	0
1192,91	155,99	911,78	155,82	0,17
1346,99	212,25	1030,48	212,27	-0,02
1421,77	239,17	1086,76	239,21	-0,04
1534,17	281,07	1173,28	280,85	0,22
1696,86	339,68	1296,72	339,39	0,29

Henri Regnault (1847) sammenliknet lufttermometre med ulik lufttetthet og fikk følgende resultat

### Lysbilde 11

**Tidsestimering:** 12 min gruppediskusjon + 3 min dele i plenum

**Mål:** Elevene skal få øving i å tolke og vurdere data, samt bruke data til å argumentere for eller mot en påstand. Forhåpentligvis vil elevene gjennom aktiviteten også få litt eierskap til dataene.

**Manus:** [Eget oppgaveark](#). Klassen diskuterer oppgaven i grupper på 4. De skal blant annet regne ut temperaturdifferansen mellom de to ulike lufttermometrene, og derfor er temperaturdifferansen ikke angitt i tabellen på lysbilde 11. Når oppgaven skal oppsummeres kan lærer bytte til lysbilde 12 der temperaturdifferansen står oppgitt.

**Bemerkninger til målingene:** lufttermometrene med ulik lufttetthet inni termometersøylen ga relativt like temperaturmålinger gjennom hele skalaen.

Variasjonen mellom målingene var alltid under 0,1% av den målte verdien. I tillegg fulgte ikke variasjonen et spesielt mønster, slik som variasjonen mellom kvikksølvtermometrene.



## Termometre med ulike gasstyper

Luft-termometer (A)		Svovelsyre-gass termometer (A')		Temperatur-differanse
Trykk (mmHg)	Temperatur (°C)	Trykk (mmHg)	Temperatur (°C)	Temp <sub>A</sub> - Temp <sub>A'</sub> (°C)
762,38	0	588,70	0	
1032,07	97,56	804,21	97,56	0
1141,54	137,24	890,70	136,78	+0,46
1301,33	195,42	1016,87	194,21	+1,21
1391,07	228,16	1088,08	226,59	+1,57
1394,41	229,38	1089,98	227,65	+1,73
1480,09	260,84	1157,88	258,75	+2,09
1643,85	320,68	1286,93	317,73	+2,95

Henri Regnault (1847) sammenliknet lufttermometre med ulike gasser og fikk følgende resultat

### Lysbilde 12

**Tidsestimering:** Rekker ikke denne på en 90 min økt.

**Mål:** Elevene skal få øving i å tolke og vurdere data, samt bruke data til å argumentere for eller mot en påstand. Forhåpentligvis vil elevene gjennom aktiviteten også få litt eierskap til dataene.

**Manus:** [Eget oppgaveark](#). Klassen diskuterer oppgaven i grupper på 4. Vi tar en oppsummering felles.

**Bemerkninger til målingene:** Differansen mellom målingene øker med økende temperatur. Termometre med ulik type gass som termometerfluid er ikke sammenliknbare.



## Oppsummering

Hva har vi lært denne timen?

Naturvitenskapens mål og verdier

Naturvitenskapens metoder og metodologiske regler

Praksis og tenkemåter innenfor kjemifaget

### Lysbilde 13

**Tidsestimering:** 10 min

**Mål:** Samle tråder og repetere «key-points». Passe på at NOS-elementene kommer tydelig frem.

**Manus:** Oppsummering av hva elevene har lært i løpet av timen. Det elevene trekker frem skrives ned med digitalt tegnebrett. Lærer trekker eksplisitt frem hvilke NOS-elementer som er blitt belyst. Mulig læringsutbytte:

- *Metoder og metodologiske regler:* Måleinstrumenter. Standarder. Avlesing. Tolke måledata. Teoretiske antakelser
- *Mål og verdier:* Finne svar på spørsmål om verden rundt oss. Løse et problem. Beskrive naturen. Presisjon. Transparens. Nøyaktighet. Empirisk data for å underbygge påstander.

## Forslag til utvidelse

Elevene jeg gjennomførte opplegget med påpekte i etterkant at Henri Regnault hadde vært nøye, systematisk og testet ut én og én variabel. Aktiviteten med måldataene viste seg å være en fin oppgave for å få elevene til å tolke og vurdere historiske måldata. Likevel kunne det vært interessant om de også fikk mulighet til selv å undersøke ulike termometre gjennom en praktisk og undersøkende aktivitet, slik at de selv kan erfare hvordan man kan være nøye. Da kan man også i større grad åpne opp for diskusjon om mulige feilkilder, fordi elevene selv har vært en del av prosessen.

Dersom tidsspennet på undervisningsopplegget hadde blitt utvidet kunne det også vært interessant å gi en enda grundigere innføring i De Luc sitt arbeid med blandingsmetoden, noe som også er et tema som man enkelt kan legge opp til elevaktivitet. Ved å se på to ulike metoder for å vurdere påliteligheten til termometrene har man et godt utgangspunkt for diskusjon. Fordeler? Ulemper? Hvilke antakelser gjøres underveis? Etc.

## Litteratur

- Brandon, R. N. (1994). Theory and Experiment in Evolutionary Biology. *Synthese*, 99(1), 59- 73. <http://www.jstor.org/stable/20117886>
- Chang, H. (2004). *Inventing temperature: measurement and scientific progress*. Oxford University Press.
- Clough, M. (2020). Framing and Teaching Nature of Science as Questions. I W. McComas (Red.), *Nature of Science in Science Instruction: Rationales and Strategies* (s. 271-282). Springer Nature Switzerland.
- Erduran, S. & Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education: Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories*. Springer Netherlands: Imprint: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9057-4>
- Irzik, G. & Nola, R. (2010). A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education. *Science & Education*, 20, 591-607. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9293-4>
- Klassen, S. & Klassen, C. F. (2014). Science Teaching with Historically Based Stories: Theoretical and Practical Perspectives IM. R. Matthews (Red.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (s. 1503-1531). Springer Netherlands : Imprint: Springer,. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8>
- Utdanningsdirektoratet. (2020a). *Læreplan i naturfag* (NAT01-04). <https://www.udir.no/lk20/nat01-04>
- Utdanningsdirektoratet. (2020b). *Læreplan i kjemi* (KJE01-02). <https://www.udir.no/lk20/KJE01-02>