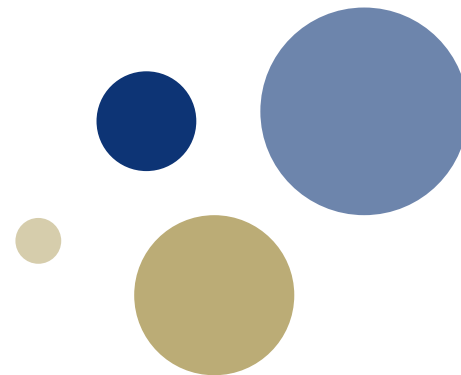




Praktiske labøvinger TFY4106

Introduksjon



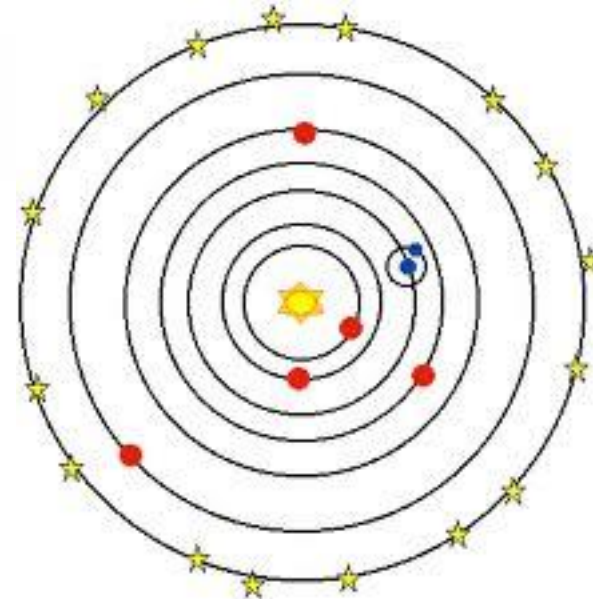
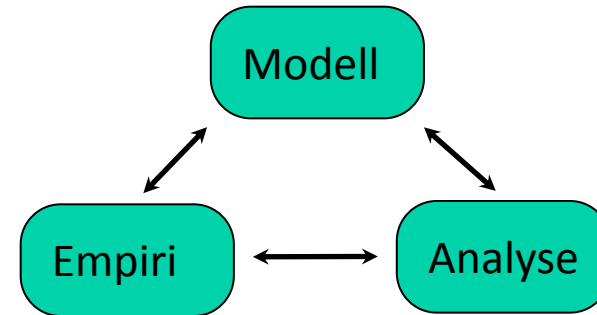
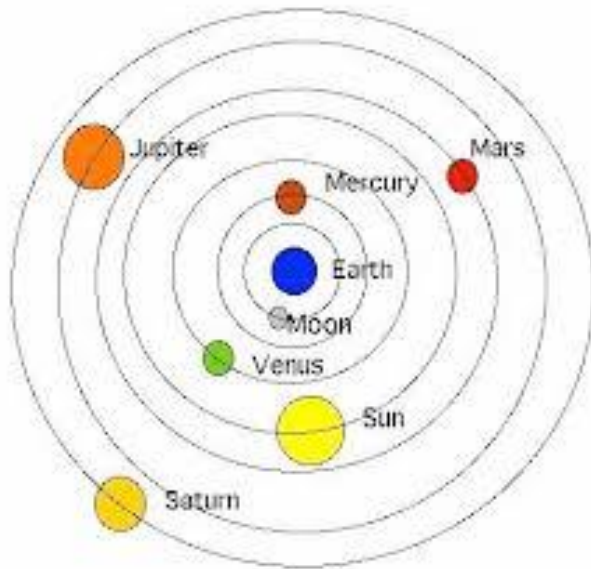
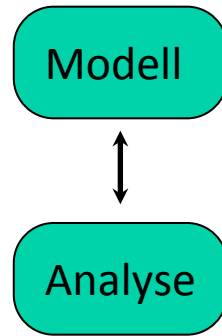
Prof. A. van Helvoort
Labsansvarlig
a.helvoort@ntnu.no

Innhold

- Hvorfor?
- Hvordan? (Praktiske informasjon)
- Kort om feilanalyse
- Sammendrag

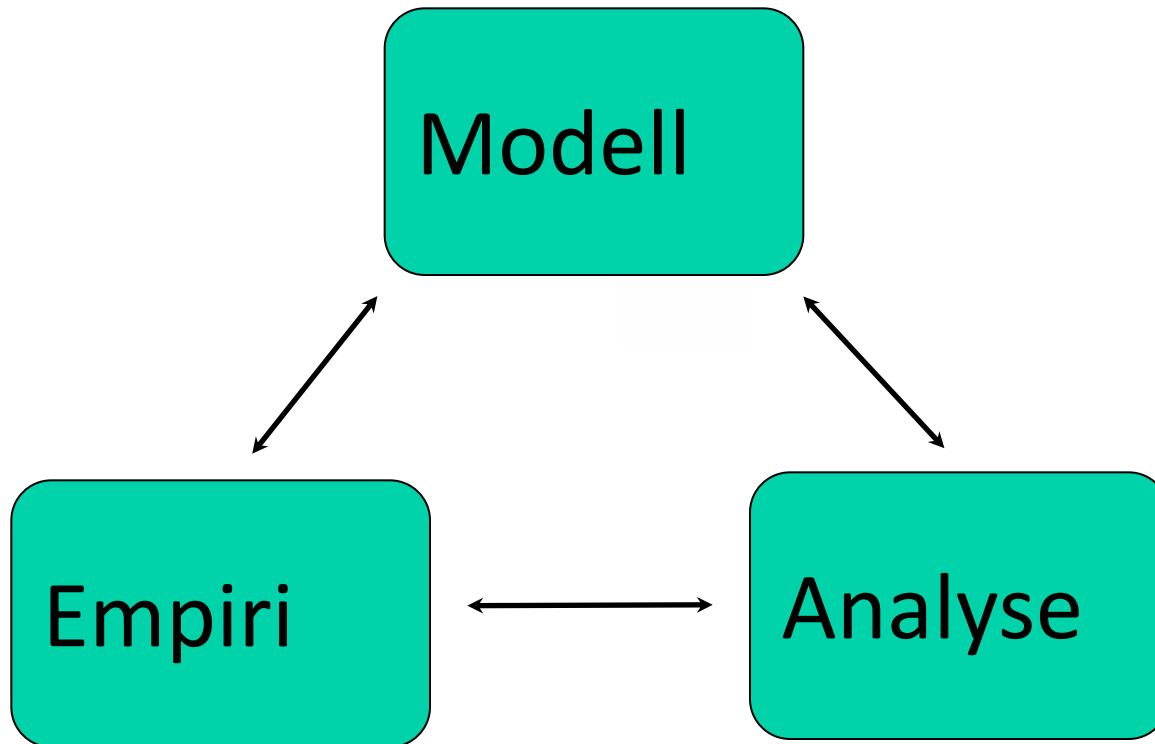


Eksempel

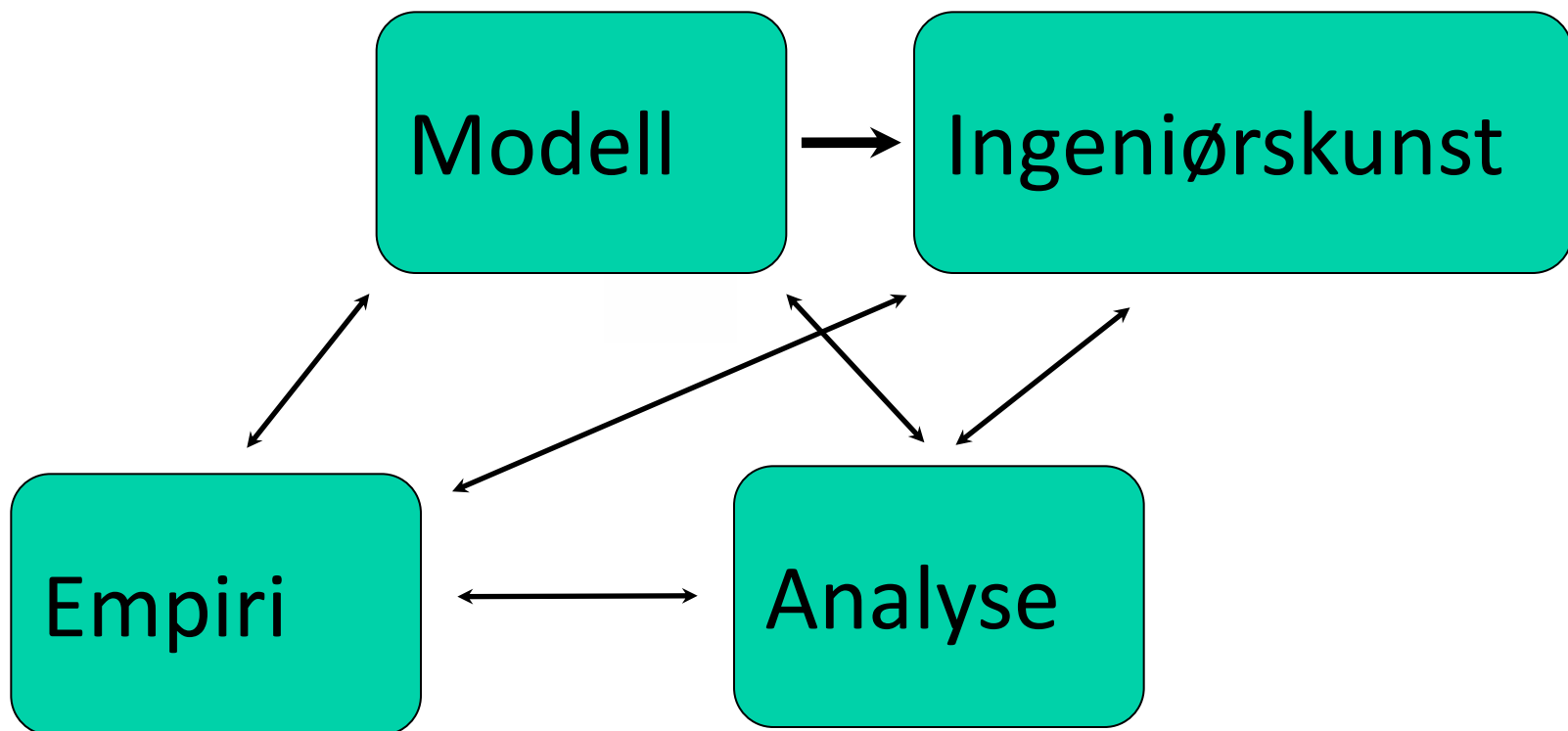


Brahe → Kepler → Newton

«Den naturvitenskaplige metoden»

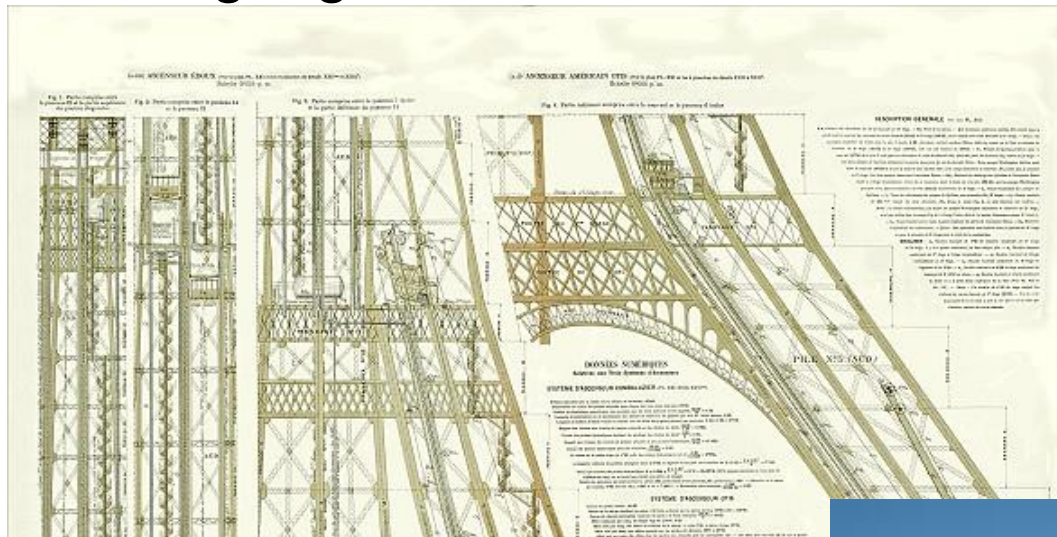


Den tekniske revolusjonen

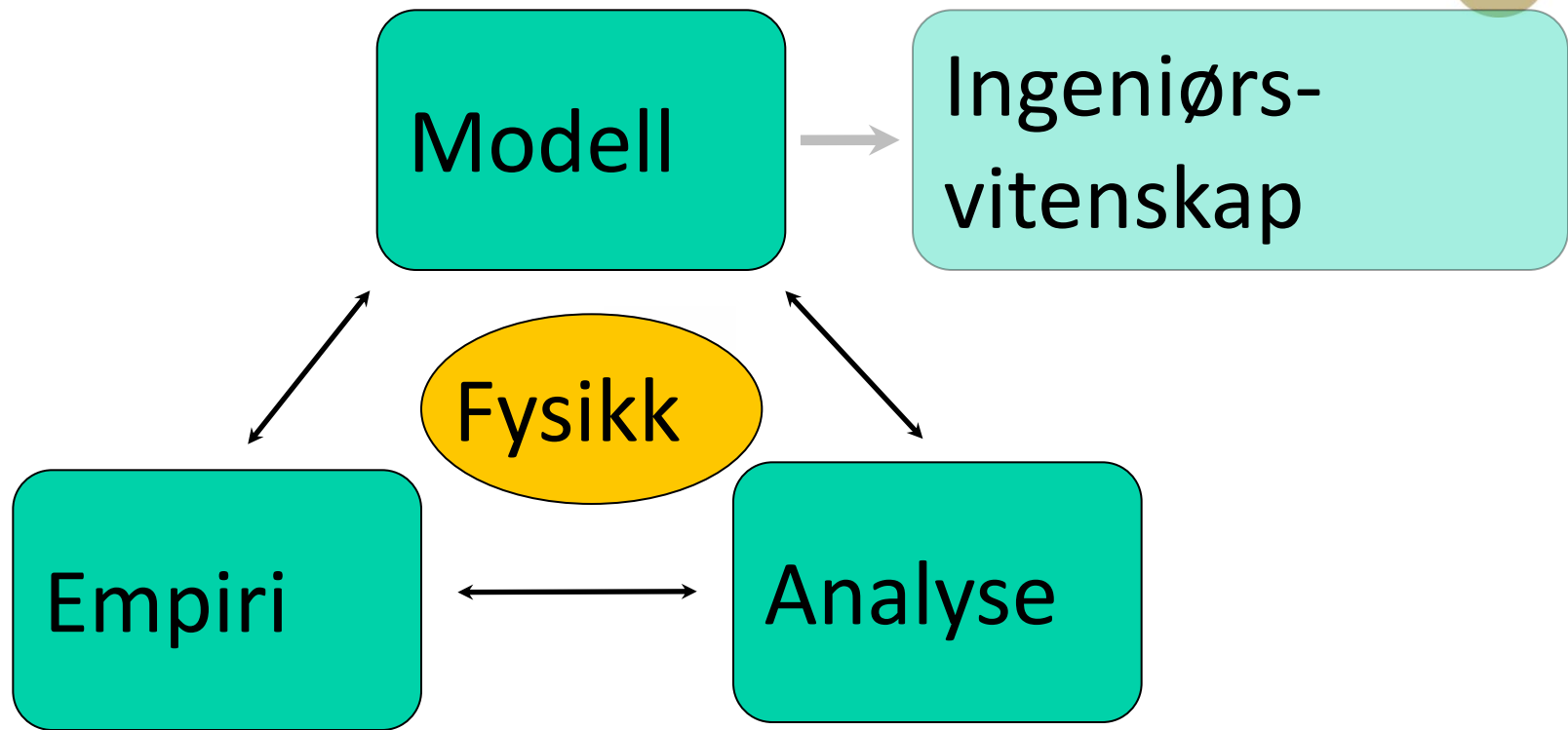


Eksempel: Eiffel Tower (1889)

- Varig ingeniørskunst



Grunnkurs i fysikk



Nødvendige basiskunnskaper, uavhengige av hva norske ingeniører skal jobbe med i fremtiden.

Mål labøvingene:



Få en forståelse for:

Hvordan bruker man sin kunnskap på en vitenskapelig måte?

Hvordan man arbeider rasjonelt med åpen problemstilling?

Hvordan fysikk/eksperiment er viktig i de sammenhengen?

Vei til den kunnskap er ikke enkelt, så lab må være utforderend!

Opplegg



Tid	Obligatorisk moment	Forberedelse
Lab 1-1	Lag plan for lab og få plan og journal godkjent	Se på øvinger, lag plan, se på info
Lab 1-2	Plan for lab og journal godkjent	Gå igjennom journal, update plan (leveres ikke)
Veiledning/feedback rapport	Gjennomgang vanlige feil, og rapporter	Lever rapport en uke før + lest rapporten igjen
Lab 2-1	Lag plan for lab og få plan og journal godkjent	Planlegg lab, lag plan, se på info
Lab 2-2	Plan for lab og journal godkjent	Gå igjennom journal, update plan (leveres ikke)

Detaljer



Oppmøte: Oppmøte er obligatorisk, på avtalt tid, forbered og plan er levert.

Plan: Innen var labøkt så skall laborasjonen planlegges, med en skriftlig plan.

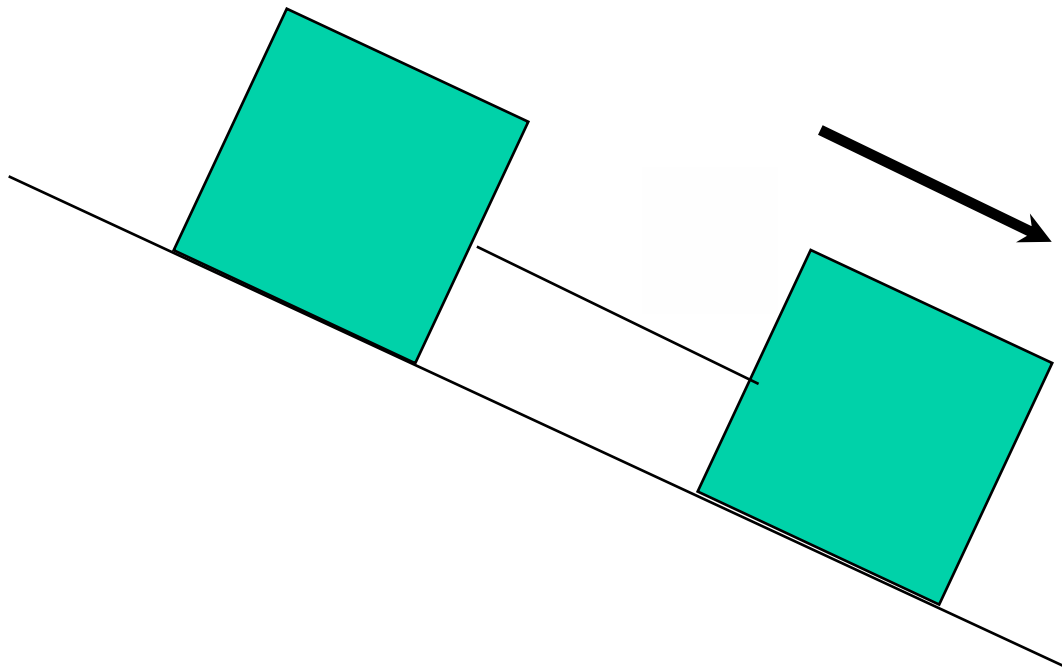
Journal: Det er krav om at vitenskapelig og ryddig journal.

Rapport: Labkurset inneholder krav om levering av rapport til medstudenter og veileder til veiledningstilfellet.

Kursmateriel: Ligger på
<http://home.phys.ntnu.no/brukdef/undervisning/fyslab/index.html>.

Arbeidsform: Labbene gjennomføres i grupper av to personer, journal føres av hver student, og rapport skrives i gruppe (to studenter).

Grunnoppgave Lab1



Grunnoppgave lab1

Sluttmålet er å bestemme vinkelen som kreves for at to ulike klosser og friksjonslag (ditt valg, bringes til labber, deres ansvar) og masse (assistentens valg) forbundet med hverandre sklir med konstant hastighet nedover et skråplan.

Fra dine forberedende eksperimenter skal vinkel beregnes med en nøyaktighet som baserer seg på dine basisparametres unøyaktighet.

Det er viktig at dere teoretisk kan forklare systemet, har eksperimentelt målt de ulike parametrene som påvirker systemet og kan utføre en usikkerhetsanalyse av de målte parametrene.

Når dere er ferdige med disse tre punktene, og føler dere har god kontroll, ta kontakt med en labveileder for å få en avsluttende oppgave.

Problemløsning



	Ex 1	Ex 2		Lab
Utgangspunkt	Gitt	Gitt		Ukjent
Method	Gitt	Ukjent		Ukjent
Mål	Gitt	Gitt		Kjent

Vanlig «demo lab»

Vår lab

Polyas strategi for problemløsning



Formulert 1945 i «How to solve it»

- Understand
- Plan
- Carry Out
- Look back

Se labside → “Før lab” → Literatur: Kompendium problemløsning

Experimentell problemløsning

- **Understand:** Analyser og planlegg - bruk din kunnskap –
Formuler problemet i egen ord?
- **Plan:** Hvilke variabler og konstanter som påvirker systemet.
Hvilke er kjent (nøyaktig nok?), hvilke kan neglisjeres?
Måleoppstilling, hva er mulig å måle?
Test , optimer måle-oppsett, hva er grensene, hvordan måle
på en effektivt måte? Alternativ?
Systematisere formulere hypotese og målestrategi, forbered
måleserier. Skriv plan.
- **Carry out:** Gjennomfør eksperiment, dokumenter alle
resultater og observasjoner
- **Look back:** Analyser data, data må svare til problemet.

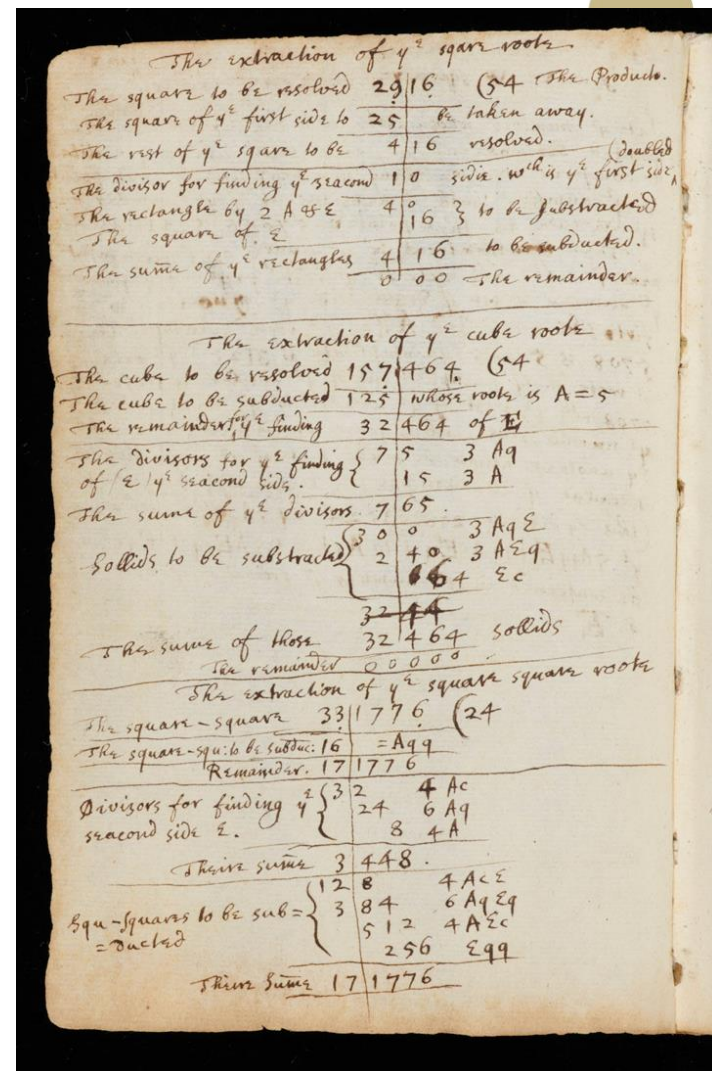
Planlegging før lab!

Lever en plan (maksimalt 1 side, en uke før lab) som minst skal inneholde følgende momenter for å bli godkjent:

- 1) Formuler med egne ord hva som er målet for oppgaven.
- 2) Hva er de fysiske størrelsene som kan tenkes å påvirke målet for oppgaven (Her trengs kanskje noen ligninger relatert til målet for oppgaven)? Hvilke av disse er kjent (til hvilken nøyaktighet)? Hvilke kan du eventuelt neglisjere (hvorfor)?, og hvilke er ukjente og må bestemmes?
- 3) Hvilke eksperimenter vil du gjennomføre for å bestemme de størrelsene du trenger å måle eksperimentelt?
- 4) Hvilke innledende målinger vil du gjøre for å bli kjent med måleinstrumenter og teste at målingene fungerer som planlagt?

Journal - dokumentasjon

- Man arbeider mer systematisk når man skriver hva som skjer
- Man kan få oversikt over data, tankemåter etc
- Man kan kontrollere at det man gjort.
- Sporbarhet – dvs at man har dokumentasjon på alt man har gjort.
- Man kan dele informasjonen, og reprodusere eksperiment!
- HMS



Journal



1. Journalen skall være fullstendig og med sidenummer.
2. Dato og tittel på eksperiment på hver side.
3. Lab-partner noteres med navn.
4. Intet skal strykes eller viskes ut.
5. Alle beregninger skal føres i journalen, eller det skal refereres til fullstendige beregninger.
6. Alt skal samles i journalen.
8. Eksperimentelle prosedyrer skal føres inn i journalen.
9. Diagram av utstyr og en liste med detaljer (modell, serienummer) skal være med.
10. Angi feilkilder og usikkerhets størrelser for hvert eksperiment.
11. Noter alle rå-data, inkludert alle beregninger som behandler rå-data.
12. Skriv kun ned egne observasjoner i journalen. Andres observasjoner kan legges til som kommentar,
13. Vær nøyaktig med å notere innstillinger på instrumentet. Husk alltid å skrive ned enheten (meter, gram, etc) til alle størrelser.

Se labside → journal.

Rapport

- Konsis kommunisere av resulater er essentiel
- Rapport leveres en uke etter labøkt. Man får muntlig tilbakemelding og en andre sjanse.
- Team kan levere felles rapport. Skriv da i forordet hvem som har skrevet hva.
- Rapporten skal:
 - Være øvelse i å skrive vitenskapelig rapport.
 - Være skrevet på PC, inkludere figurer.
 - Inneholde kvantitativ usikkerhetsanalyse.
 - Være utfyllende.

Forslag til oppbygning rapport

- - Forord
- - Sammendrag
- Innholdsfortegnelse

- Innledning
- Teoretisk grunnlag
- Beskrivelse av eksperiment
- Resultater og diskusjon
- Konklusjon

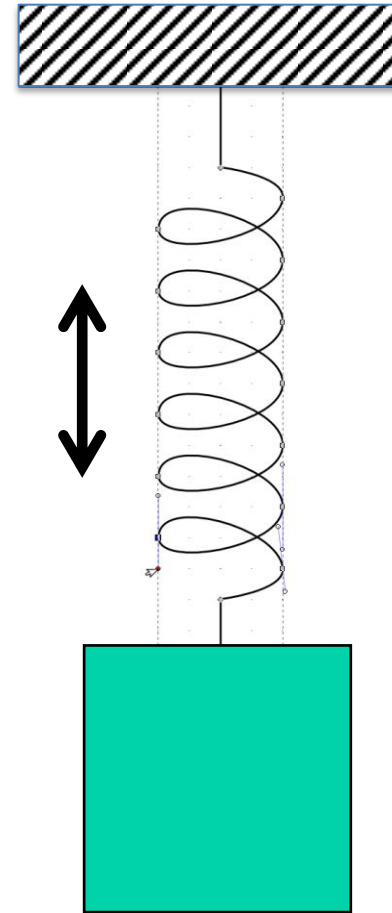
- - Litteraturhenvisninger

Folg mål!, se eksempel og evaluerings skjema på labside



Grunnoppgave Lab2: Oscillator

- Etter Påske
- Svinger
- Terms: egenfrekvens, damping
- Method: ukjent (ditt valg)
- Ingen rapport
- Note: labtekst ennå ikke oppdatert



Praktiske informasjon

- Alle lab informasjon finnes på kursside og <http://home.phys.ntnu.no/brukdef/undervisning/fyslab/index.html>.
- Register deg i øvingssystem: <http://web.phys.ntnu.no/ovsys/lab/?db=TFY4106-lab-V2016>
- Laboppmelding åpnes tirsdag 26, kl. 18.
- Veileder tar kontakt, plan og rapport levers via epost
- Laber (4 timer): Tirsdag 8-12/14-18, Onsdag 12-16/16-20, torsdag 8-12 og fordeling:

	Plasser	Linjer	Oppgave 1 økt 1	Oppgave 1 økt 2	Tilbakemelding	Oppgave 2 økt 1	Oppgave 2 økt 2
1	16	MTBYGG	9. februar 2016 kl. 8:15	23. februar 2016 kl. 8:15	8. mars 2016 kl. 8:15	30. mars 2016 kl. 16:15	12. april 2016 kl. 8:15
2	16	MTBYGG	9. februar 2016 kl. 8:15	23. februar 2016 kl. 8:15	8. mars 2016 kl. 8:15	30. mars 2016 kl. 16:15	12. april 2016 kl. 8:15
3	16	MTBYGG	9. februar 2016 kl. 8:15	23. februar 2016 kl. 8:15	8. mars 2016 kl. 8:15	30. mars 2016 kl. 16:15	12. april 2016 kl. 8:15
4	16	MTBYGG	17. februar 2016 kl. 16:15	23. februar 2016 kl. 14:15	8. mars 2016 kl. 14:15	6. april 2016 kl. 16:15	12. april 2016 kl. 14:15
5	16	MTBYGG	17. februar 2016 kl. 16:15	23. februar 2016 kl. 14:15	8. mars 2016 kl. 14:15	6. april 2016 kl. 16:15	12. april 2016 kl. 14:15
6	16	MTBYGG	17. februar 2016 kl. 16:15	23. februar 2016 kl. 14:15	8. mars 2016 kl. 14:15	6. april 2016 kl. 16:15	12. april 2016 kl. 14:15
7	16	MTBYGG	16. februar 2016 kl. 8:15	1. mars 2016 kl. 8:15	15. mars 2016 kl. 8:15	5. april 2016 kl. 8:15	19. april 2015 kl. 8:15
8	16	MTBYGG	16. februar 2016 kl. 8:15	1. mars 2016 kl. 8:15	15. mars 2016 kl. 8:15	5. april 2016 kl. 8:15	19. april 2015 kl. 8:15
9	16	MTBYGG	16. februar 2016 kl. 8:15	1. mars 2016 kl. 8:15	15. mars 2016 kl. 8:15	5. april 2016 kl. 8:15	19. april 2015 kl. 8:15
10	16	MTBYGG	16. februar 2016 kl. 14:15	1. mars 2016 kl. 14:15	15. mars 2016 kl. 14:15	5. april 2016 kl. 14:15	19. april 2015 kl. 14:15
11	12	MTING	16. februar 2016 kl. 14:15	1. mars 2016 kl. 14:15	15. mars 2016 kl. 14:15	5. april 2016 kl. 14:15	19. april 2015 kl. 14:15
12	12	MTING	16. februar 2016 kl. 14:15	1. mars 2016 kl. 14:15	15. mars 2016 kl. 14:15	5. april 2016 kl. 14:15	19. april 2015 kl. 14:15
13	12	MTING	17. februar 2016 kl. 12:15	2. mars 2016 kl. 12:15	16. mars 2016 kl. 12:15	6. april 2016 kl. 12:15	20. april 2015 kl. 12:15
14	14	MTIØT	17. februar 2016 kl. 12:15	2. mars 2016 kl. 12:15	16. mars 2016 kl. 12:15	6. april 2016 kl. 12:15	20. april 2015 kl. 12:15
15	14	MTIØT	17. februar 2016 kl. 12:15	2. mars 2016 kl. 12:15	16. mars 2016 kl. 12:15	6. april 2016 kl. 12:15	20. april 2015 kl. 12:15
16	16	ANNET	18. februar 2016 kl. 8:15	3. mars 2016 kl. 8:15	17. mars 2016 kl. 8:15	7. april 2016 kl. 8:15	21. april 2015 kl. 8:15

Praktiske informasjon

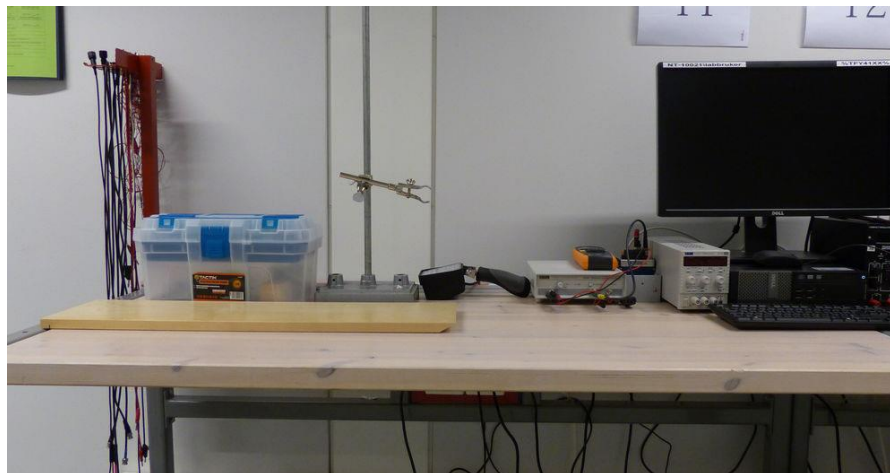
- Ta med:
 - Egen laptop, pennal
 - Tracker installert
 - Egen overflatte (>20x20 mm, e.g.cloth, velcro, ...)
 - Levert plan
 - Journal
- Fravær: Avtal med assistent om bytte/ny tid.
- Lab fra tidligere?:
 - Lab i samme kurs må være registrert i systemet.
 - Lab fra andre emner kan kanskje godkjennes, kontakt foreleser eller labsansvarlig
- Bytte av labtid:
 - Bytt med annen gruppe, kan også finnes tider for andre emner?. Meld dette på forhand til veileider.

Krav på veiledere:

- Veilederes rolle er å svare på spørsmål om og kontrollere: mål, resultat og bakgrunnsfysikk samt ta seg av eventuelle feil i lab utstyret.
- Skal ikke: Gi direkte veiledning om utstyr og eksperiment - bruk labsiden!
- Men: Gi indirekte veiledning, peke på hva som kan være nødvendig å justere for å nå satte mål.
- Passe på at ikke studenter eller utstyr skades!
- Navn og kontaktdetaljer: se labside → Introduksjon

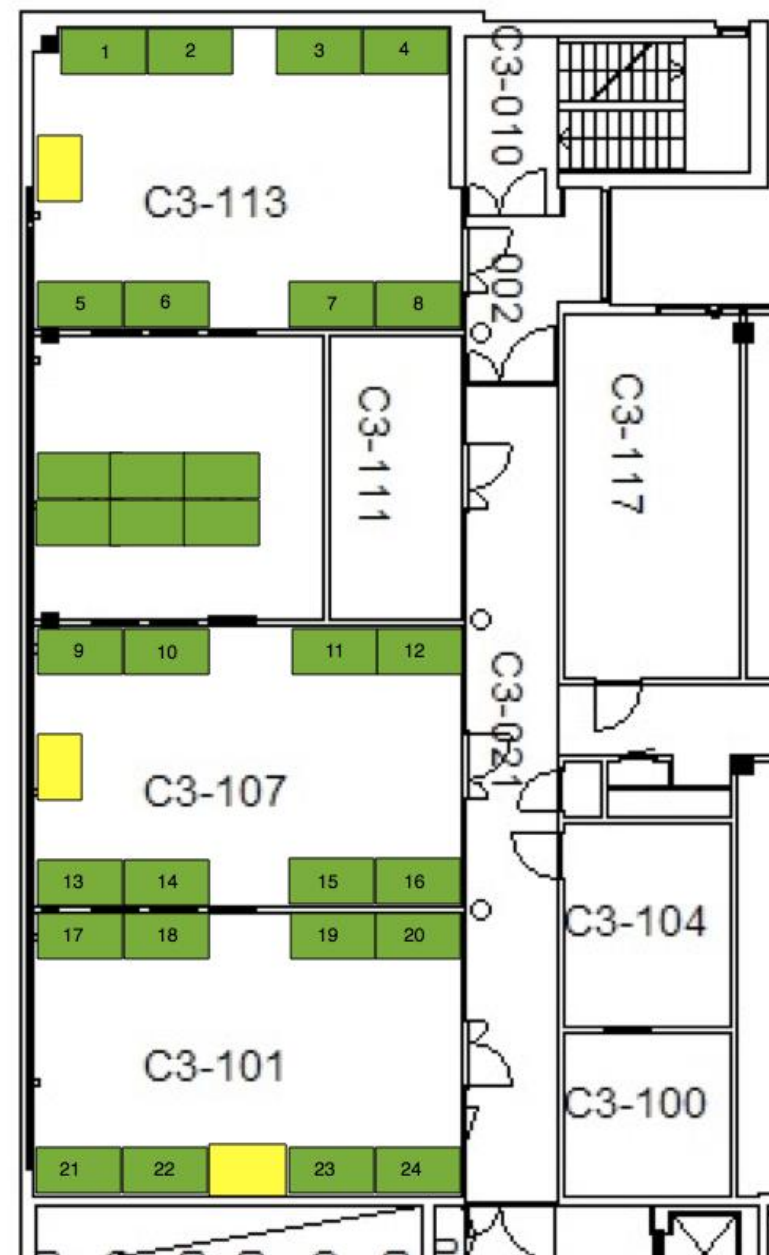
Ryddighet!

- Utstyr er dyrt, andre fag og studenter er avhengig at alt er på plass.
- Labplassen må vara i bedre stand enn då du kom
- Spising/driking ikke tillat i lablokaler



Labplasser

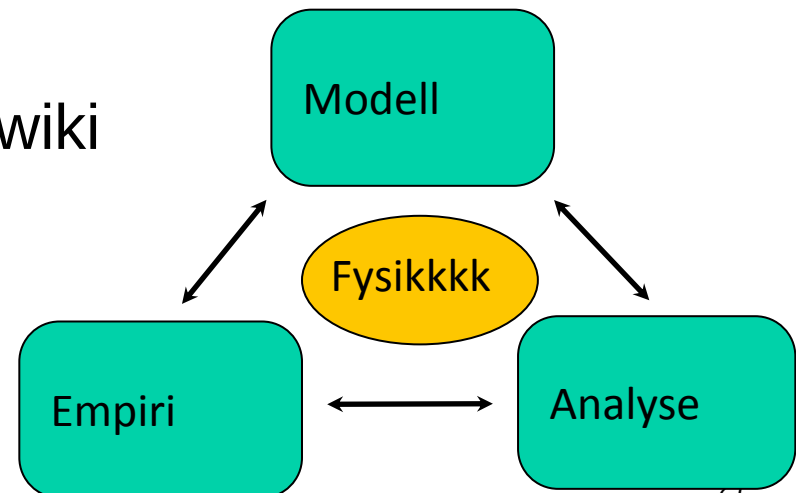
- Totalt 24 plasser i 3 rom
- 1 assistentrom
- Faste plasser
- 1 PC per 2 plasser!
- Bruk egen PC om mulig!
(installer software før lab)
- Kamerastativ er store
- Se labsiden → utstyr



Verktøy for sammenligning med modell

- 1) Reduser og estimere feil i en variabel
- 2) Estimere hvor stort feil en feil i en variabel gir på sluttresultatet (Gauss feilfortplantningslov)
- 3) Kurvetilpassning

Info og eksempler: labsider og labwiki



Hva er en måling?

- Nøyaktige målinger skjer etter kalibreringer i standardsystemet (SI)
- En kjede av kalibreringer, som lenkes tilbake til nasjonale institutt (justervesenet) og BIPM (The Bureau International des Poids et Mesures).
- Er lenket til SI-systemet som gir enheter.
- Se forlessings notater



Måleusikkerhet



- Måling: tallfeste en egenskap (hvor langt, tungt, tyktflytende noe er).
- Måling: Verdi og enhet (2m, 4.5 kg, 1.2 Pa s)
- Alle målinger har en viss grad av usikkerhet!

$$L = 193 \pm 2 \text{ mm}$$

- Hvor stor usikkerhet vi kan tolerere avhenger av situasjonen og problemstillingen

Ulike typer av feil

- **Grove feil:**
 - Noterer at spenningen var 2.4 V når den egentlig var 2.4 mV
 - Botemiddel: Gjør dem ikke!
- **Definisjonsusikkerhet:**
 - Hva er lengden til en sau?
 - Botemiddel: Klare og spesifiserte definisjoner.
- **Systematiske feil:**
 - Mer om dette snart
- **Statistiske feil:**
 - Mer om dette snart



Presisjon og nøyaktighet



Nøyaktighet



Presisjon

Tenk hvordan dette er for en måling i laben, for eksempel lengde.

Systematiske feil

- Blant annet:
- Feil kalibrert måleinstrument/for tidlig måling
- Måler utenfor instrumentets tiltenkte målområde
- Menneskelig egenskap
- Andre forsøksbetingelser enn antatt
- Eksempel: Linjalen er ikke eksakt 30 cm, men 30.04 cm
- Botemiddel:
- Tenk kritisk igjennom utføring av måling
- Sjekk nøyaktighet og måleområde for instrument
- Kalibrer måleutstyr
- Anslå fornuftig grense for ukorrigerbare systematiske feil

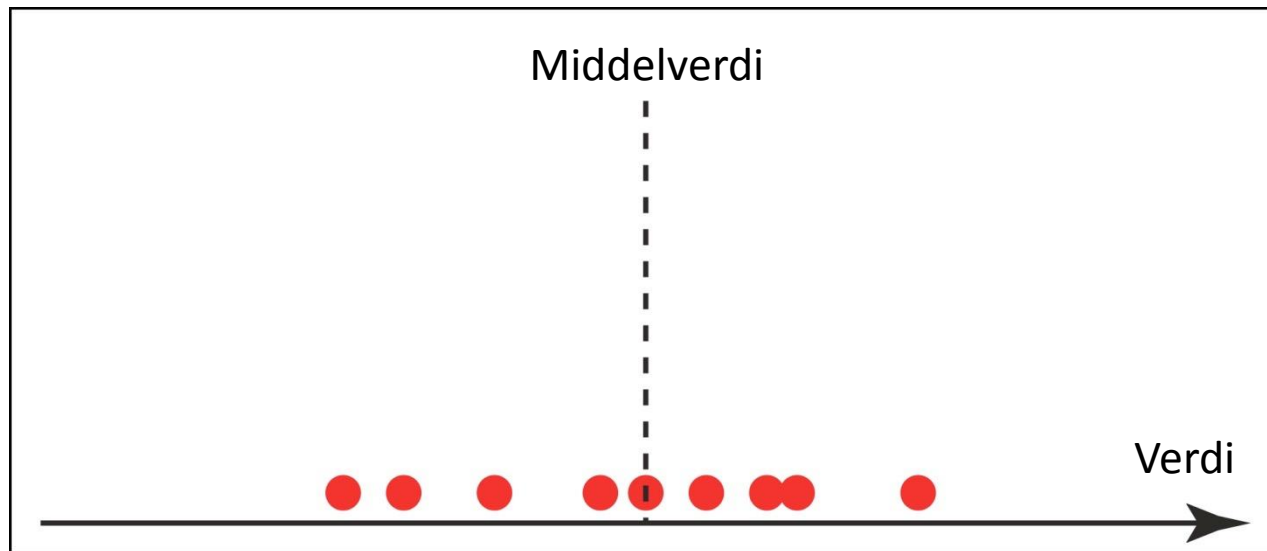


Statistisk usikkerhet

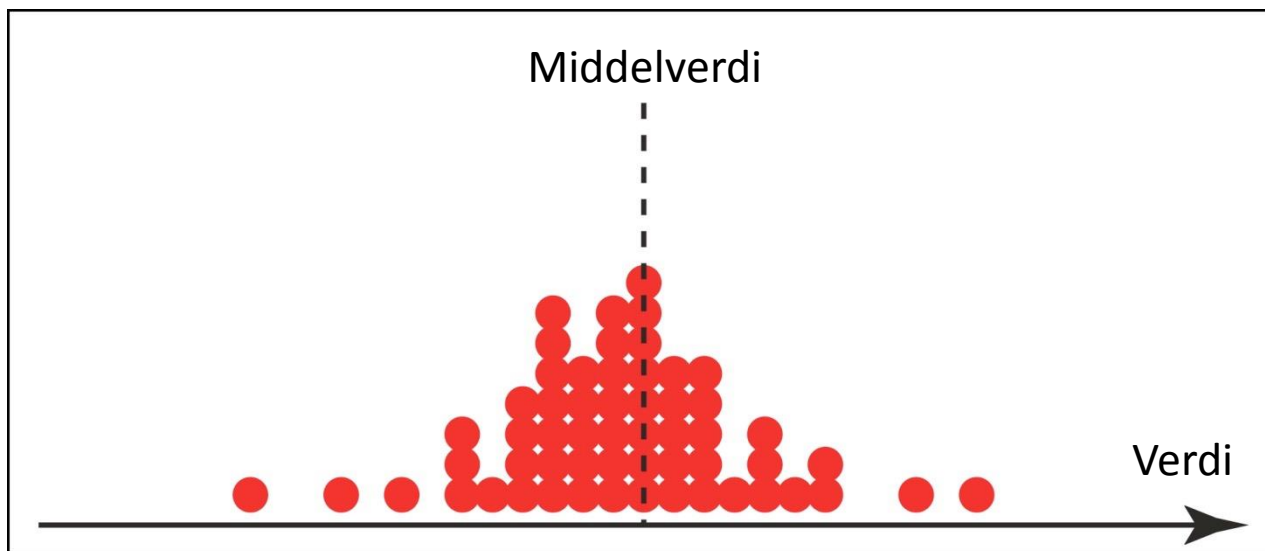
- Gjentatte målinger gir forskjellige verdier
- Eksempel: Vi måler lengden av et bord flere gang meterstokk med fin gradering.
- Vi får: $x_1 = 3.12 \text{ m}$ $x_2 = 3.07 \text{ m}$ $x_3 = 3.10 \text{ m}$
- Botemiddel:
- Mål mange ganger, beregn middelværdi $\bar{x}$
- Variasjonen i målingene angir usikkerheten som betegnes Δx



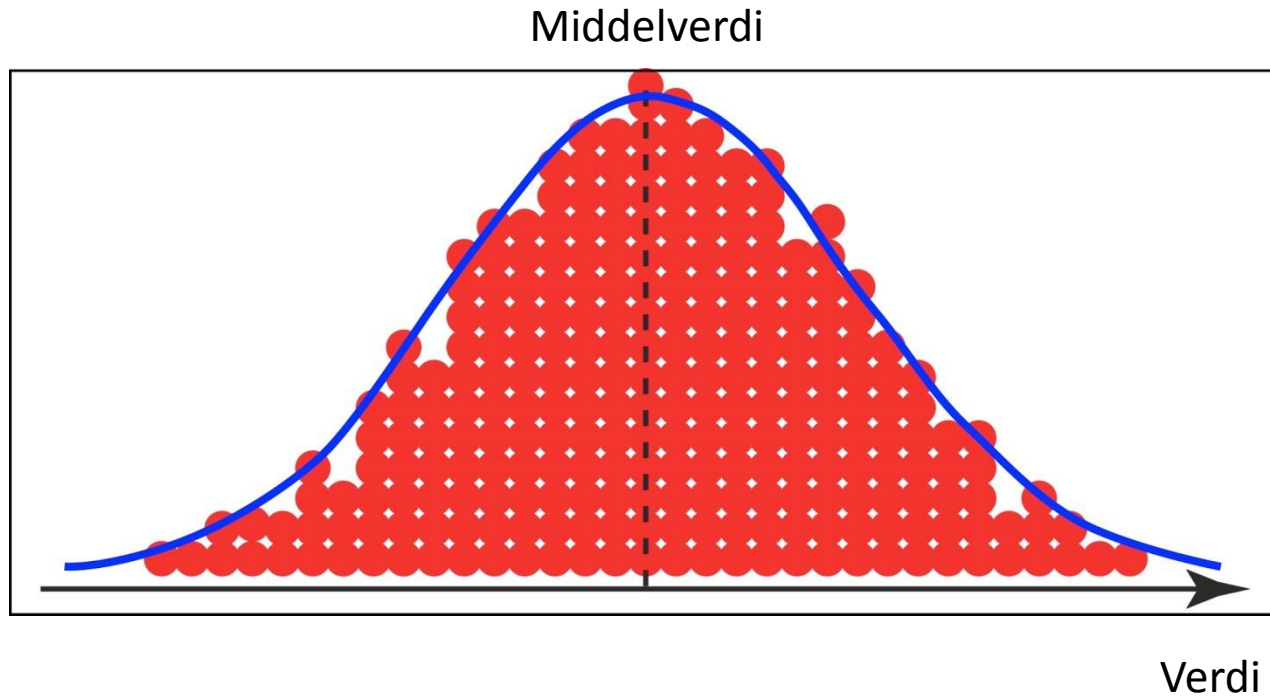
Fordelinger av målinger



Fordelinger av målinger



Fordelinger av målinger



Normalfordeling

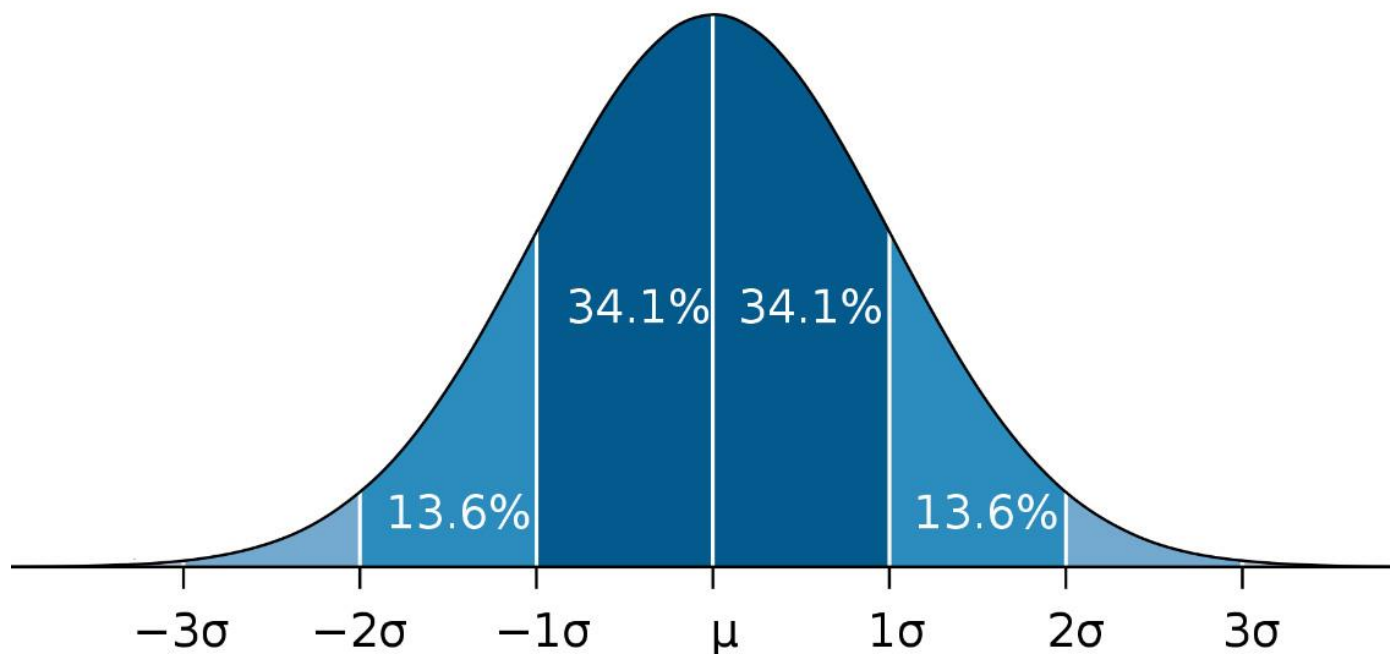
$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

$f(x)$ = sannsynlighet for å måle verdien x

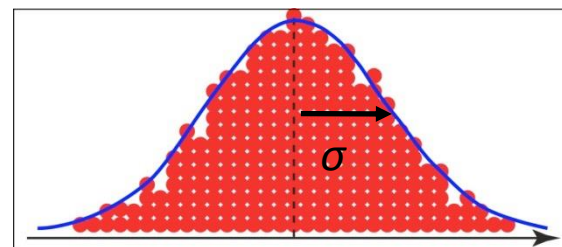
μ = middelværdi

σ = standardavvik

95% sannsynlighet ved 2σ



Estimater for μ og σ



Middelværdi μ estimeres med:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Standardavvik σ estimeres med:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Usikkerhet i enkeltmåling!

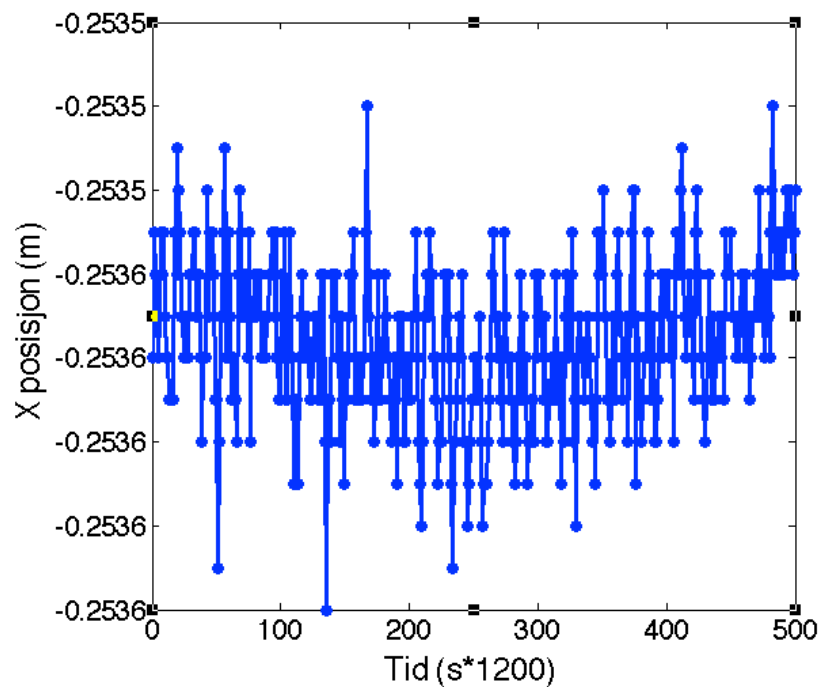
Estimat for usikkerhet i **middelværdi**:

$$\Delta \bar{x} = \frac{\Delta x}{\sqrt{n}}$$

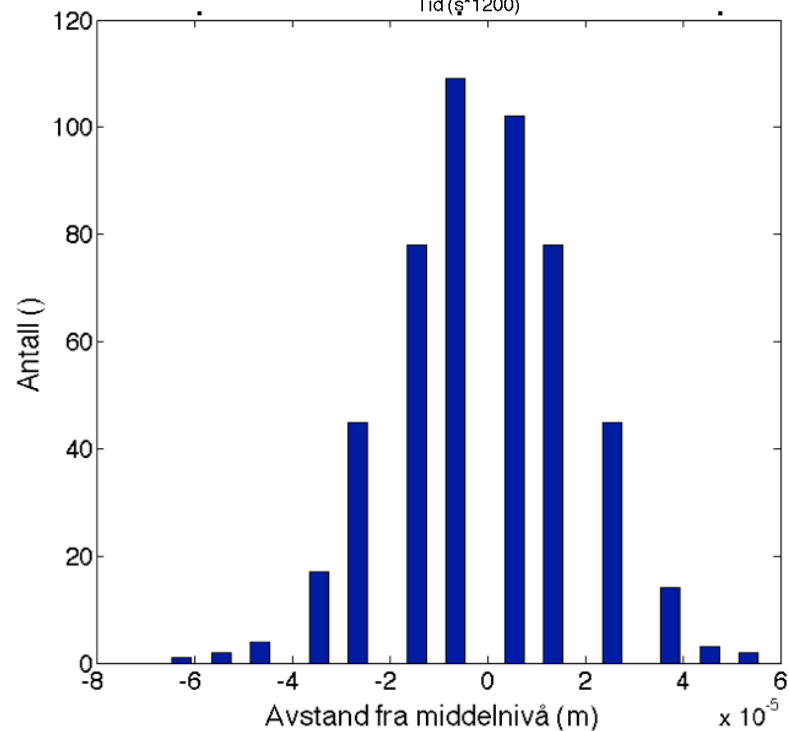
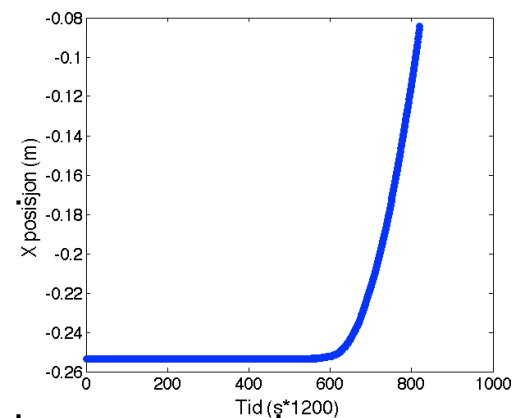
Eksempel:



Eksempel:



Data



Histogram

Feilforplantning



Vi beregner en fysisk størrelse $f(x,y,z,...)$ ut fra målinger av de individuelle fysiske størrelsene $x, y, z, ...$

Anta at $x, y, z, ...$ er **uavhengige**. Da er usikkerheten i f :

$$\Delta f = \left(\left(\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \Delta y \right)^2 + \dots \right)^{1/2}$$

Dersom en har målt middelerverdier for $x, y, z, ...$ bruker vi:

$$f = f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, ...)$$

og $\Delta \bar{x}, \Delta \bar{y}, \Delta \bar{z}, ...$ i uttrykket for usikkerheten

Feilforplantning



Eksempel: $f(x, y, z) = \frac{3xy^2}{z^3}$

Tips: Lettere å regne med relativ usikkerhet:

$$\frac{\Delta f}{f} = \left(\left(\frac{\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x}{f} \right)^2 + \left(\frac{\frac{\partial f}{\partial y} \Delta y}{f} \right)^2 + \dots \right)^{1/2} -$$

Som gir: $\frac{\Delta f}{f} = \left(\left(\frac{\Delta x}{x} \right)^2 + \left(2 \frac{\Delta y}{y} \right)^2 + \left(-3 \frac{\Delta z}{z} \right)^2 \right)^{1/2} -$

Kurvetilpassning

- Ulike rutiner finnes baserer seg ofte på minste kvadratens metode
- Optimerer kvadraten av avvik fra modell (residual):

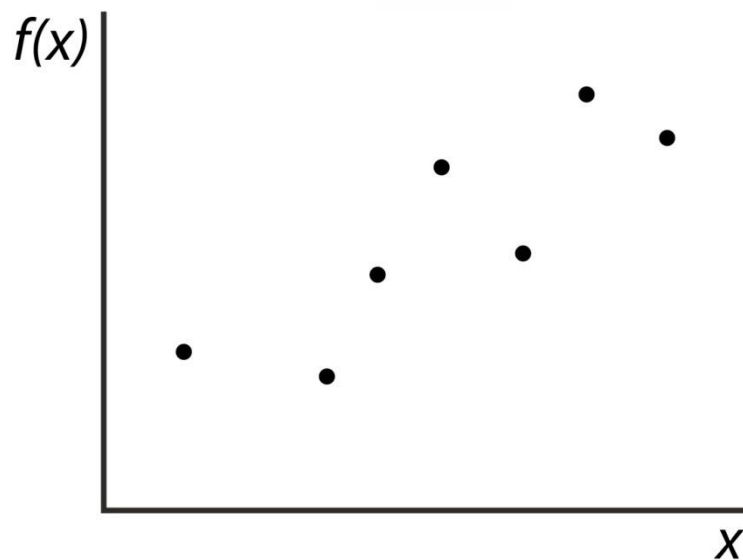
$$Q = \sum_{i=1}^n (d_i)^2$$

Kurvetilpassning



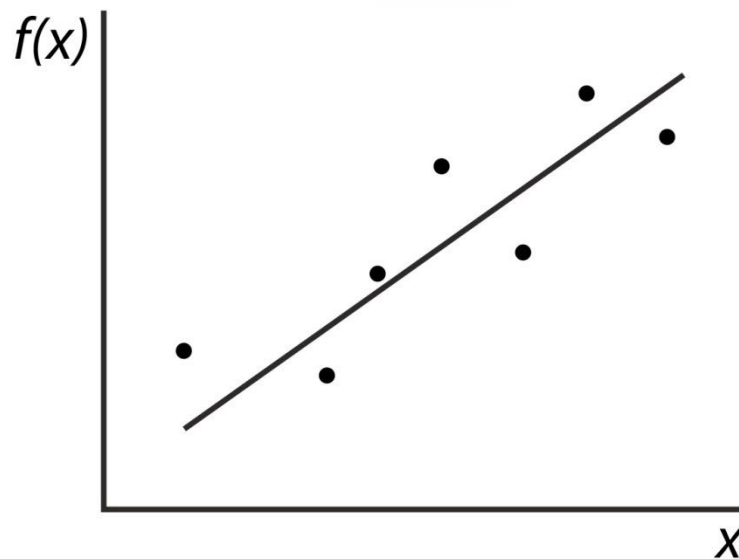
La oss si at vi tror f er en lineær funksjon av x :

$$f(x) = k_1 + k_2x$$



Kurvetilpassning

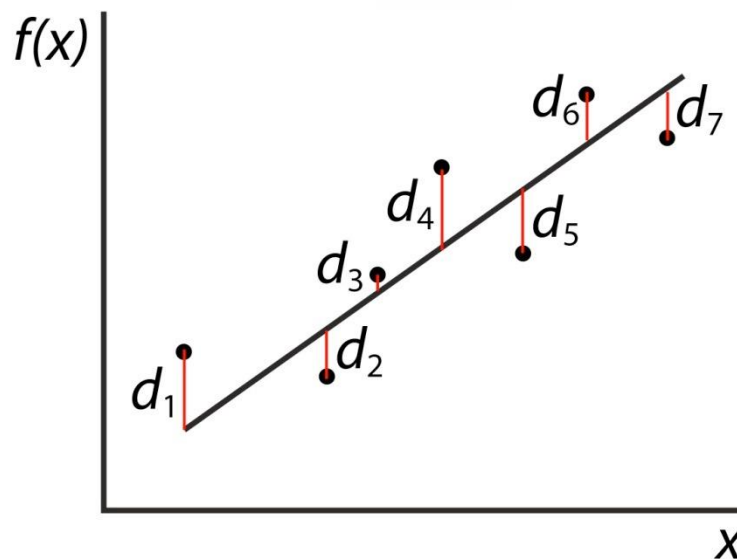
Hvordan finner vi “den beste” rette linja?



Kurvetilpassning

Minste kvadraters metode: Minimaliser summen av kvadratet av avvikene

$$Q = \sum_{i=1}^n (d_i)^2$$



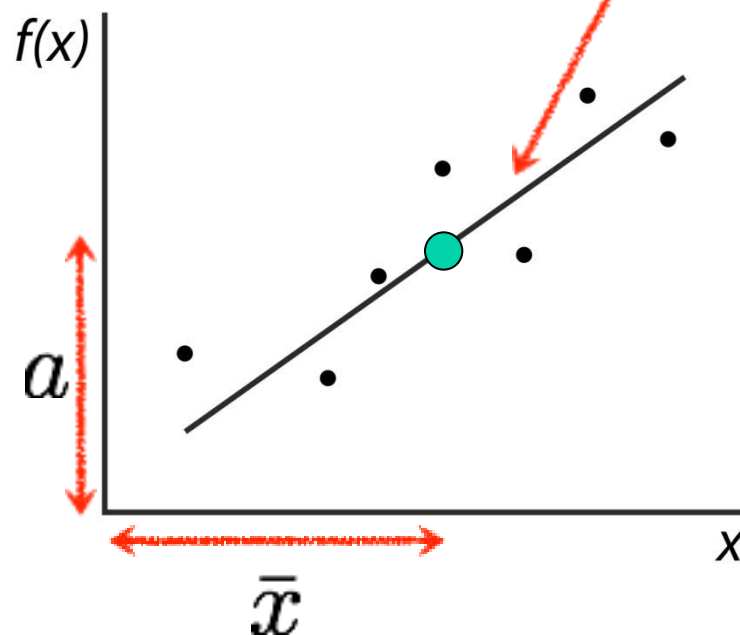
Se notat om usikkerhetsanalyse på websiden for detaljer

Minste kvadraters metode

$$y = k_1 + k_2x \Rightarrow y = a + b(x - \bar{x})$$

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i x_i - \bar{x} \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i^2 - \bar{x}^2)}$$

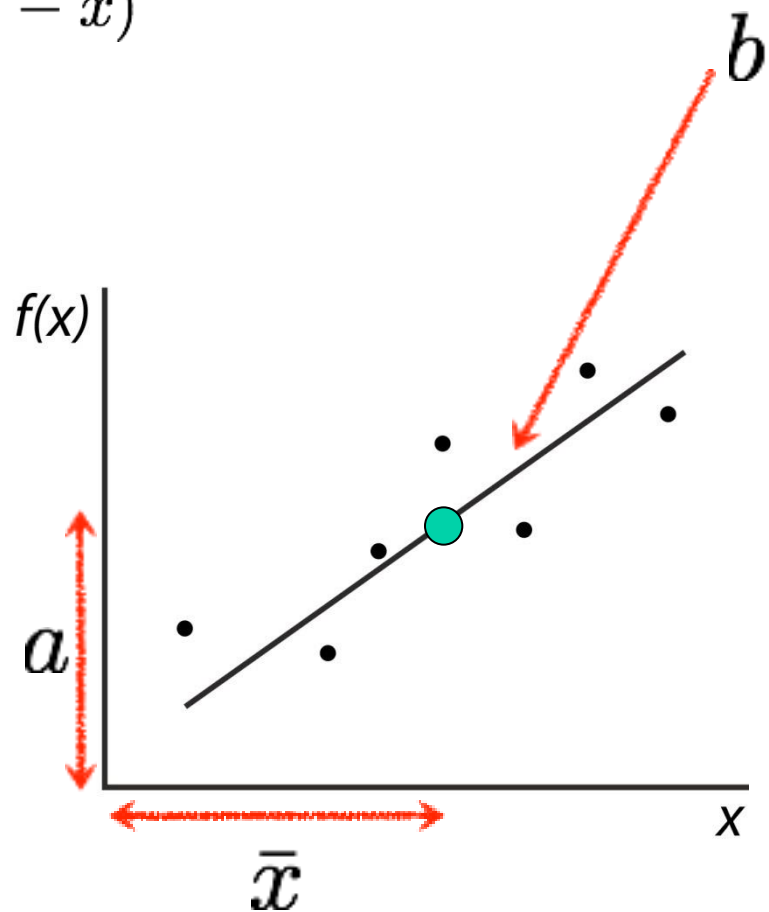


Minste kvadraters metode

$$y = k_1 + k_2x \Rightarrow y = a + b(x - \bar{x})$$

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i x_i - \bar{x} \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i^2 - \bar{x}^2)}$$

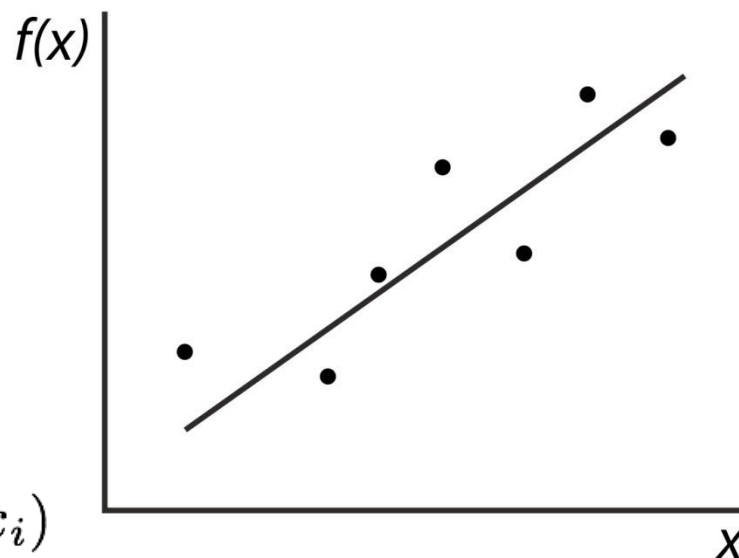


Minste kvadraters metode



$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i x_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n y_i) (\sum_{i=1}^n x_i)}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

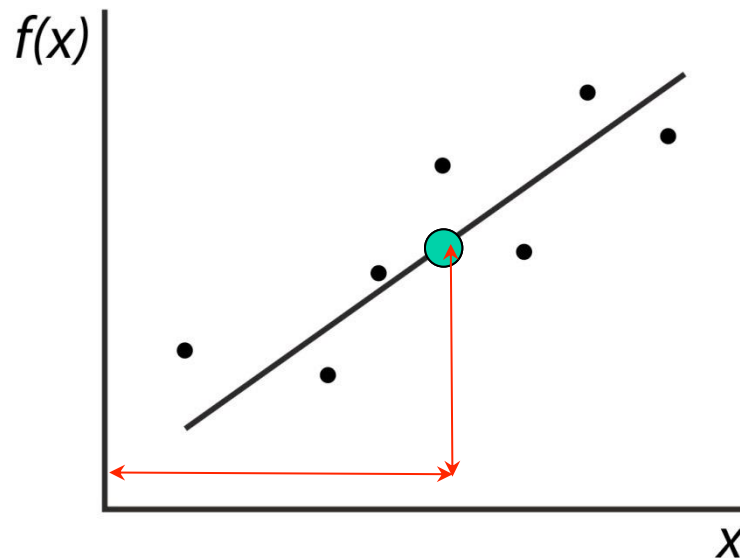


Minste kvadraters metode

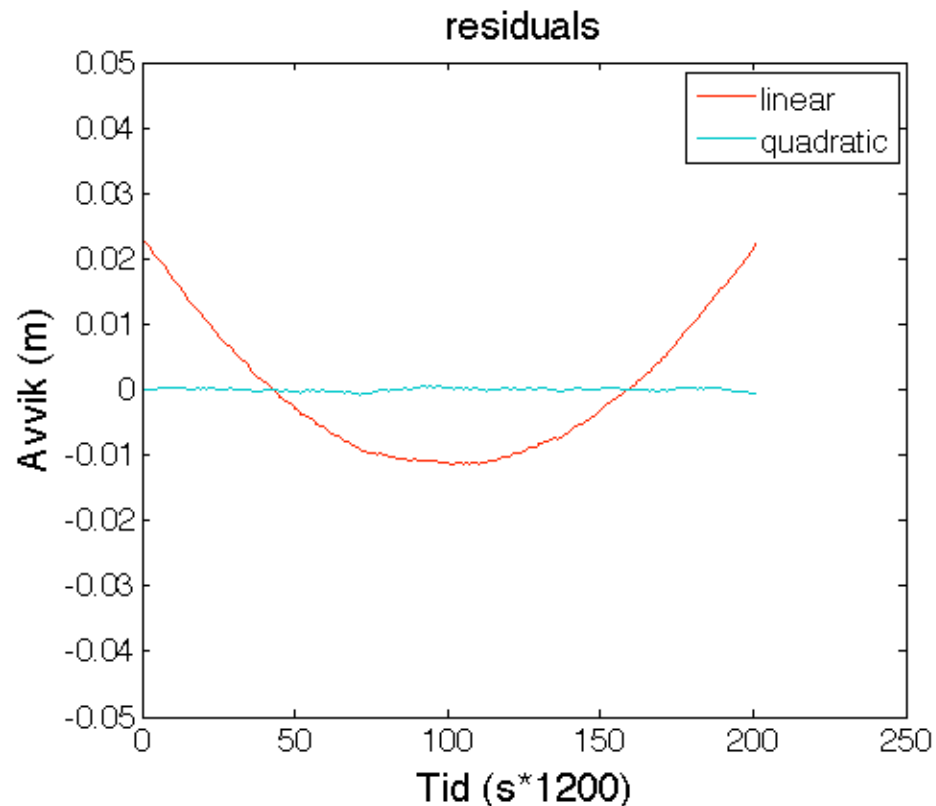
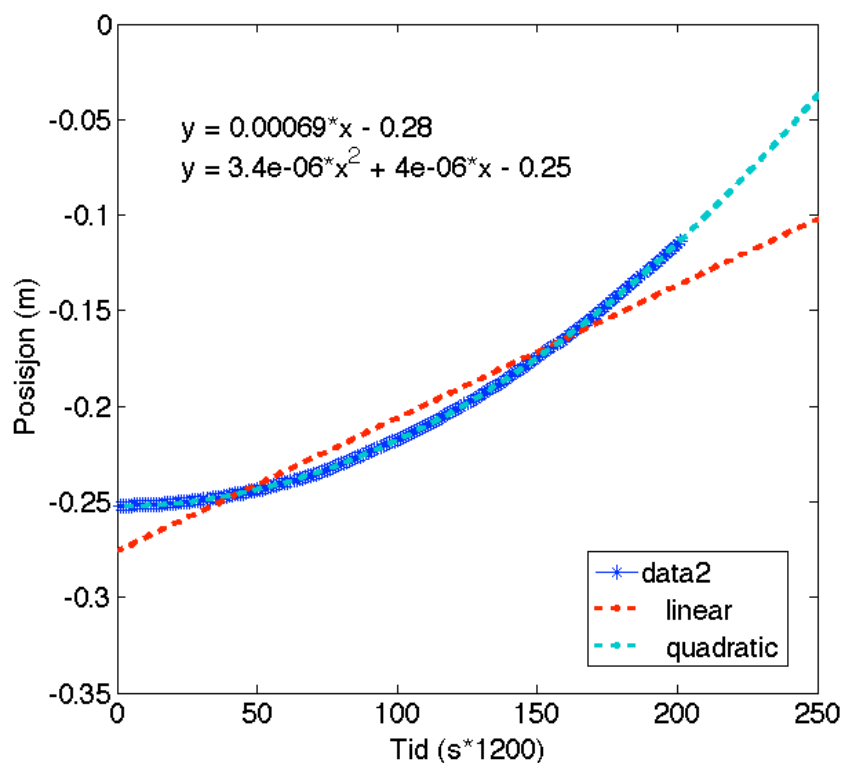


$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i x_i - \bar{x} \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i^2 - \bar{x}^2)}$$

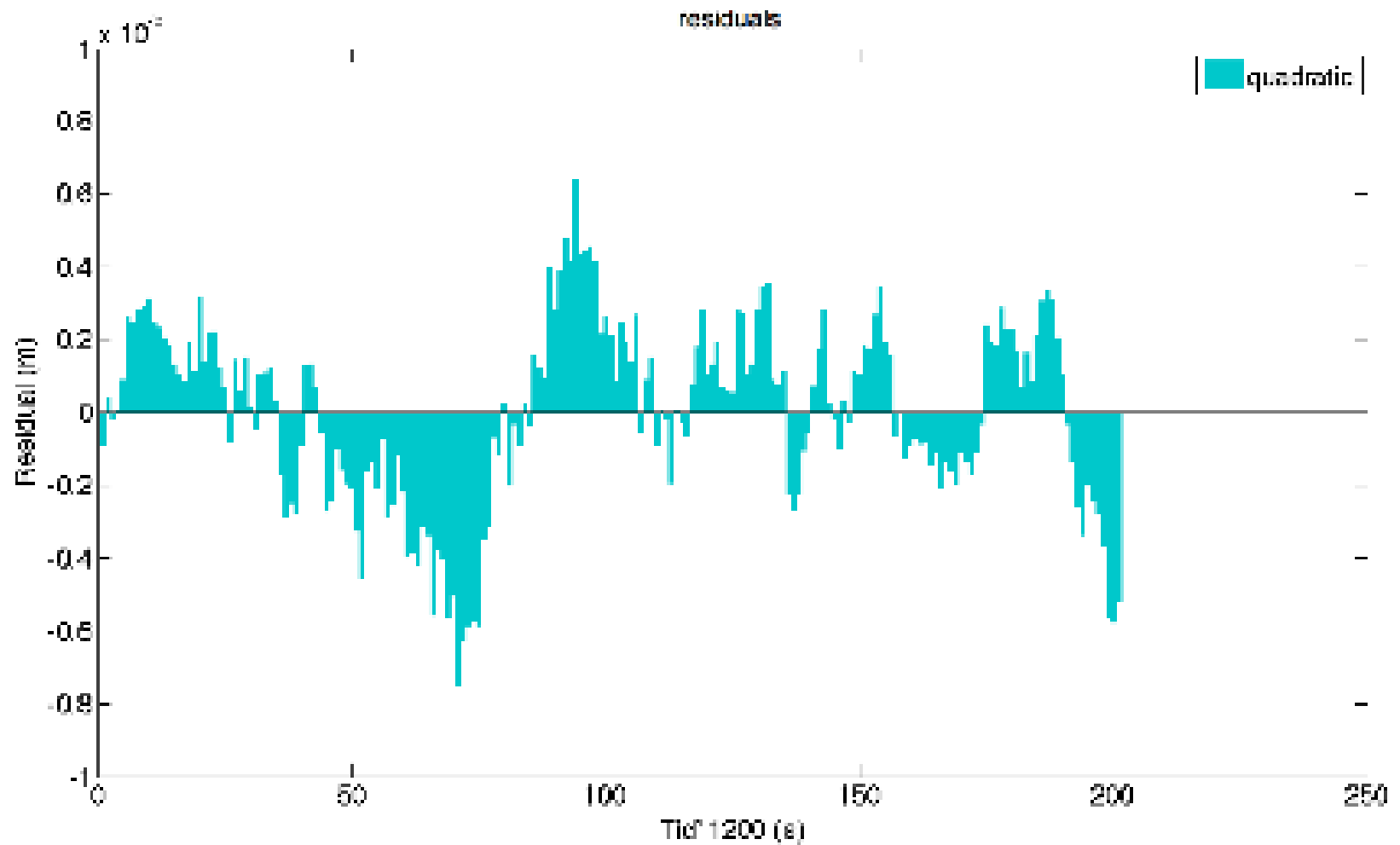


I analyseprogram



MSR (mean square root): 0.15 og 0.0036

Residual

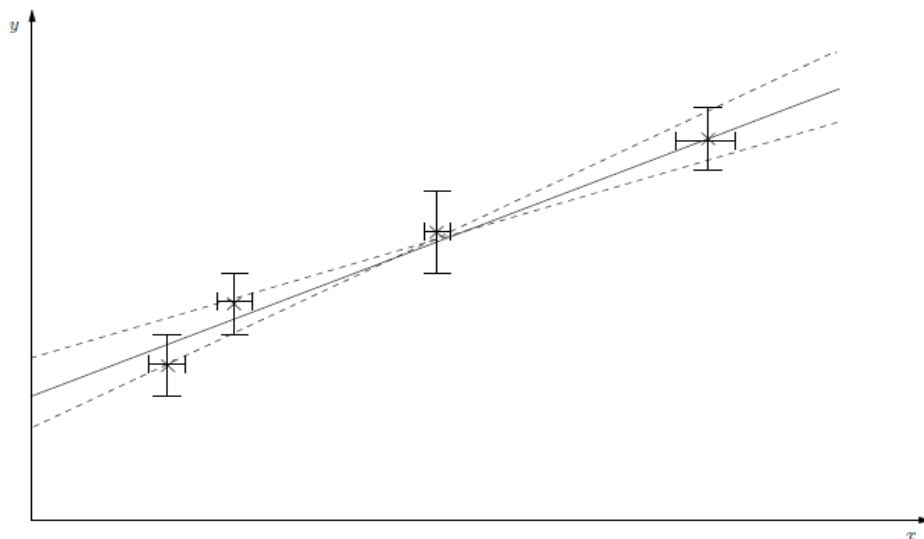


Kurvetilpasning

Advarsel: ikke stol blindt på kurvetilpasninger i software.

Inspiser data nøye: er de lineære? Er det noen datapunkter som skiller seg ut?

I noen tilfeller kan visuell kurvetilpasning gi bedre resultat.



Oppsummering

- Måledata har alltid verdi, enhet og usikkerhet.
- Reduser systematiske feil ved å tenke kritisk på utførelse av måling.
- Reduser statistisk usikkerhet ved å repetere målinger. Oppgi estimert usikkerhet.
- Måledata er ofte normalfordelt rundt middelerdien.

Middelerdi:
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

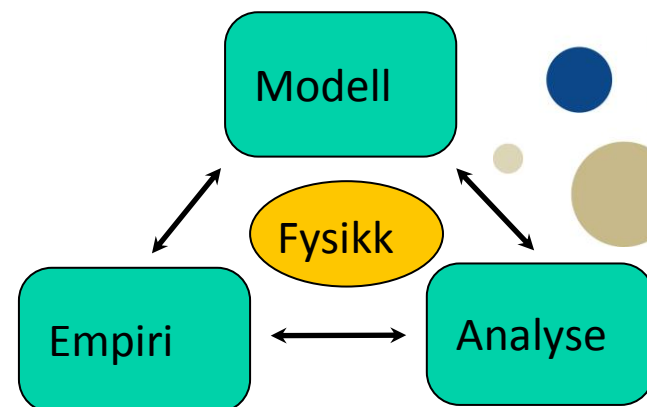
Standardavvik for enkeltmåling:
$$\Delta x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Standardavvik for middelerdi:
$$\Delta \bar{x} = \frac{\Delta x}{\sqrt{n}}$$

Feilforplantningsloven:
$$\Delta f = \left(\left(\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \Delta y \right)^2 + \dots \right)^{1/2}$$

Sammendrag

- Eksperimentell arbeid er viktig
- Systematisk framgang fra forberedelse til rapport



- Praktisk info: bruk labsiden, følg instruks
- Usikkerhetsanalyse må være med



$$L = 193 \pm 2 \text{ mm}$$

- Slides og video tidligere labforlesing finnes på kurswebsiden

$$\Delta f = \left(\left(\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \Delta y \right)^2 + \dots \right)^{1/2}$$

56

Velkommen til Lab!

Make most out of it!

