



Ontwikkeling en toepassing van een rubric voor *leren onderzoeken*

Een vergelijking tussen Delft & Leiden

Freek Pols
c.f.j.pols@tudelft.nl

Paul Logman
Logman@Physics.LeidenUniv.nl



Aanleiding

- Herziening leerdoelen, programma in Delft & Leiden



Delft

vs.

Leiden

+/- 250 studenten (30-50 dubbel)



+/- 180 studenten (+/- 60 dubbel)

6 ECTS

4x4 weken

4 groepen

8h contact per week



6 ECTS

6 onderdelen (EN1-EN6)

5 groepen van max. 20 duo's

4h per sessie; 22 sessies in jaar

2019:

1 octaal voor Python

10 experimenten

5 verslagen



2018:

Zelfde #ECTS

1 ECTS open, rest kookboek

Labjournaals per onderdeel

Artikel bij open onderzoek



Praktisch vs theoretisch?

1^e jaar

- IP 6 ECTS
- DEF1 6 ECTS

2^e jaar

- DEF2 6 ECTS
- EI 6 ECTS
- RP 6 ECTS

3^e jaar

- BEP 12 ECTS (in vakgroep)

42 ECTS

1^e jaar

- EN I 3 ECTS
- EN II 3 ECTS

2^e jaar

- PE1 3 ECTS (1.5 in lab)
- PE2 5 ECTS (2 in lab)
- PE3 2 ECTS

3^e jaar

- EP 6 ECTS (keuzevak)
- BRP 20 ECTS (in vakgroep)

42 ECTS (minus 4.5/10.5)



Hoofdleerdoel 1^e jaarspracticum

Het kunnen geven van een antwoord op een wetenschappelijke onderzoeksvraag door een experiment te ontwerpen, data te verzamelen, verwerken en analyseren en een nauwgezet verslag daarvan te schrijven.

Studenten kunnen zelfstandig een onderzoek van 80 uur leiden van eerste idee tot presentatie en verslag.



Leerdoelen

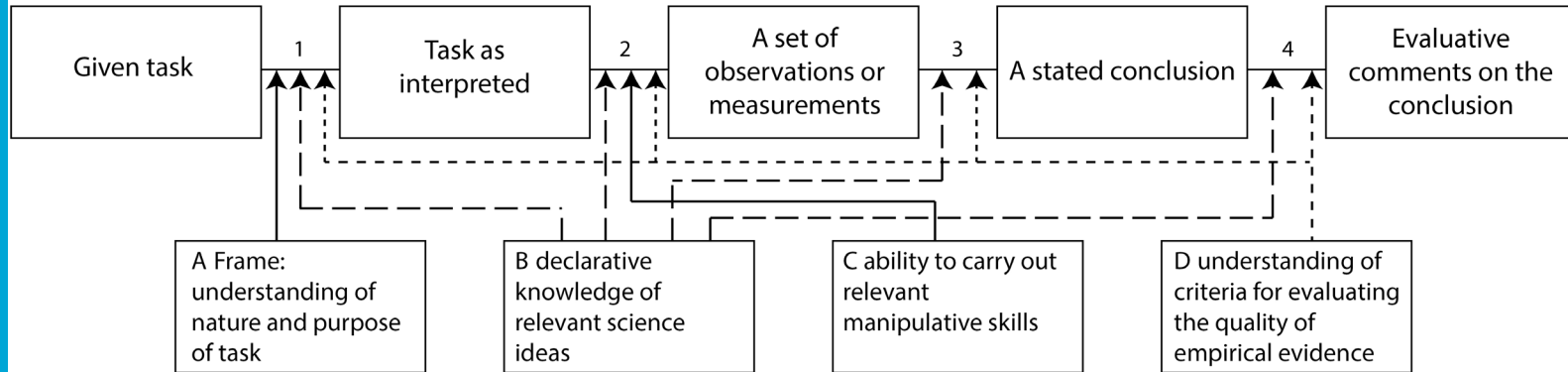
Na het succesvol behalen van het vak ben je in staat om:

1. een gedegen natuurkundig onderzoek op te zetten;
2. (meet)onzekerheden te identificeren, te berekenen en waar mogelijk te reduceren, en doorwerking van deze onzekerheden in het eindantwoord uit te rekenen;
3. veel gebruikte instrumenten en meettechnieken (oscilloscoop, multimeter, microcontrollers) te gebruiken;
4. data te verwerken, analyseren en visualiseren;
5. de bevindingen adequaat te rapporteren.

Studenten kunnen:

1. n.a.v. een probleem een meetplan schrijven waaruit valt te verwachten dat dat bruikbare resultaten oplevert.
2. a.d.h.v. een meetplan een analyseplan schrijven waaruit valt te verwachten dat dat een antwoord op de onderzoeksvraag oplevert.
3. zelfstandig betrouwbare resultaten uit een experiment verkrijgen.
4. zelfstandig een kritische analyse van een experiment correct uitvoeren.
5. op een pakkende en gestructureerde manier communiceren over hun onderzoek en dat van anderen, zowel op papier als verbaal.

PACKS (Millar, 1994)





PACKS & UoE (Pols, 2022)

PHYSICAL REVIEW PHYSICS EDUCATION RESEARCH **18**, 010111 (2022)

Defining and assessing understandings of evidence with the assessment rubric for physics inquiry: Towards integration of argumentation and inquiry

C. F. J. Pols^{*}, P. J. J. M. Dekkers, and M. J. de Vries

*Delft University of Technology, Department of Science Education and Communication,
Lorentzweg 1, 2628 CJ Delft, Netherlands*



(Received 1 July 2021; accepted 15 December 2021; published 15 February 2022)

Physics inquiry can be interpreted as the construction of a cogent argument in which students apply inquiry knowledge and knowledge of physics to the systematic collection of relevant, valid, and reliable data, creating optimal scientific support for a conclusion that answers the research question. In learning



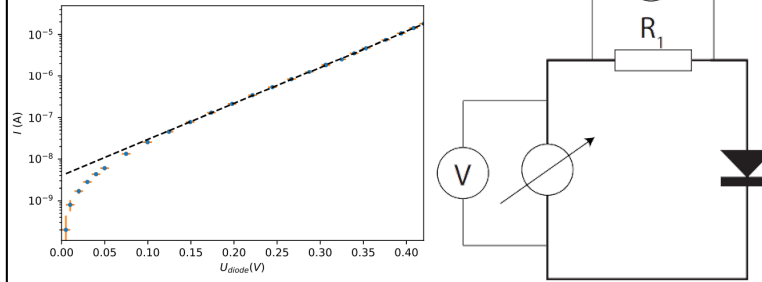
Programma BSc-1 Delft

Fase	Content	Uren	Toetsvorm	PACKS
Introductie	Programmeren & data-analysis in python	40	Toets	B & D
	Bepalen van de relatie tussen de kracht tussen twee magneten als functie van hun onderlinge afstand	24	Resultaten & Conclusie	A & D
Ontwikkeling	Bepalen van de constante van Boltzmann op basis van het (V,I) -karakteristiek van een diode mbv DMM's	12	Paper	C
	Bepalen van RC-karakteristieken mbv een oscilloscoop	8	Labjournaal	C
	Bepalen van spectraallijnen van Na of Hg met spectroscopie	12	Verslag	C
	Nauwkeurige en precieze bepaling van g	12	Abstract	D
Toepassen	Zelf bedacht experiment	40	Paper	A-D

Programma BSc-1 Delft

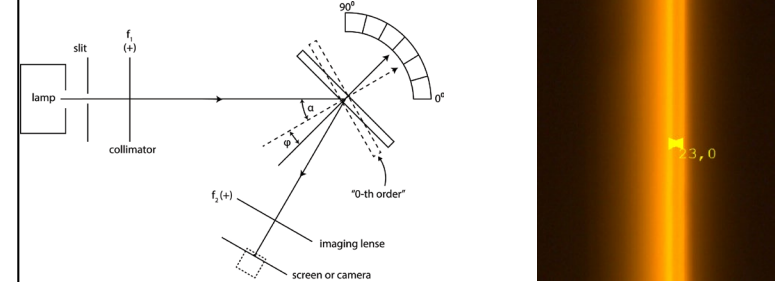
Bepaling van constant van Boltzmann

- Leren werken met DMM
- Karakteristieken van spanningsdeler



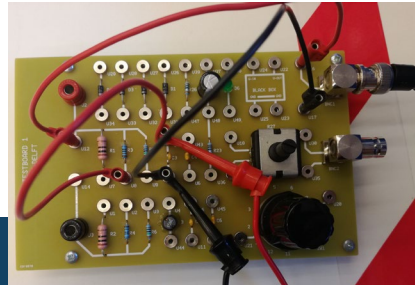
Bepalen van spectraallijnen

- Leren werken met lenzen
- Spectroscopie als instrument



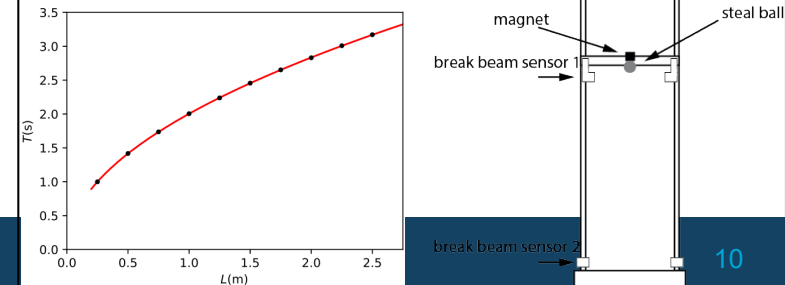
Bepaling karakteristieken van RC-circuit

- Leren werken met oscilloscoop
- Leren werken met functiegenerator



Nauwkeurig en precieze bepaling van g

- Toepassen van kennis M&O





Programma BSc-1 Delft

Open onderzoek:

15 topics met opstellingen

Trial run → Onderzoeksvoorstel (naar VENI)

(NO) GO

Artikel

Titel van het onderzoeksvoorstel: Verband tussen thermische geleidbaarheid en soortelijke warmte van koper, aluminium, rvs en messing bij een variërende temperatuur.

Wetenschappelijke samenvatting van het onderzoek:

De soortelijke warmte is een materiaaleigenschap, het geeft aan hoeveel warmte nodig is om de temperatuur van een bepaalde hoeveelheid van een materiaal te verhogen. Dit is van belang bij het ontwerpen van warmtegeleidende systemen, zoals koelkasten en airconditioners, die afhankelijk zijn van de warmtecapaciteit van de materialen die ze gebruiken.

De soortelijke warmte van een van de metalen kan worden bepaald door een experiment waarbij het metaal wordt verkoeld en ondergedompeld in water, waarbij het temperatuurverschil tussen het metaal en het water wordt gemeten. Dit experiment kan worden uitgevoerd op verschillende temperaturen, waardoor de afhankelijkheid van de soortelijke warmte van de temperatuur kan worden bepaald.

De thermische geleidbaarheid is een materiaalconstante die geeft hoe sterk een materiaal warmte doorgeeft. De thermische geleidbaarheid is afhankelijk van de dichtheid en de temperatuur. Omdat de temperatuur in dit experiment verandert is het noodzaak





Determining how the Q_f -factor of a vibrating beam scales with submersion into liquid

Applied Physics, Delft University of Technology, Lorentzweg 1, 2628 CJ Delft.
(Dated: February 2, 2023)

The quality factor Q of an oscillating system is a dimensionless parameter that relates the energy loss per oscillation cycle to the total initial energy, hence describing the extent of damping of the resonator. A clear understanding of this parameter is needed for example in the construction of vibrationless buildings and apparatus. An experiment was conducted to find a relationship between the submersion depth of an oscillating beam l , and the fluid related quality factor of the system Q_f . This was done by setting an aluminium beam into controlled oscillation using a speaker, and a coil connected to an oscilloscope that recorded the vibration amplitude by means of a fluctuating magnetic field from a magnet mounted on the beam. The relationship between Q_f and l turned out to be inversely linear of the form $Q_f = \frac{a}{l} + c$ with $a = 0.283 \pm 0.002 \text{ m}$ and $c = -5.0 \pm 0.3$. The offset c was due to fluctuating frequency values during the measurements, with additional uncertainties caused by fluctuation in the amplitude, something which could be solved with a less stiff beam or a more accurate oscilloscope.

I. INTRODUCTION

In any real-life oscillating system, there will always be factors that result in different damping of the oscillations. The quality factor Q of a system is a dimensionless parameter that describes the extent of the damping of a given resonator, and relates the energy loss per oscillation cycle to the total initial energy. Determining how the Q -factor scales with changes in the system is important in for example the construction of vibrationless setups and buildings. In this experiment, a simple aluminium beam submerged in glycerol was set to oscillate. How does the Q -factor of the system change as the beam is submerged deeper into the fluid? Through the use of a magnet, a small coil and an oscilloscope, a relationship between the quality factor Q_f linked directly to fluid interaction of the system and the submersion depth of the beam was determined.

II. THEORY

In order to understand where the quality factor comes from, we first need to look at the equation for the amplitude A of a driven oscillating beam as a function of the frequency ω of the driving force:

$$A(\omega) = \frac{F_0}{m\sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + (b\omega/m)^2}} \quad (1)$$

where F_0 is the magnitude of the driving force, ω_0 is

oscillation cycle, but can also be written in a way that makes use of the damping factor:

$$Q = \frac{m\omega_0}{b} \quad (2)$$

The goal of the experiment however, is to look at the relationship between the submersion depth and the quality factor that is *directly* linked to the fluid, Q_f . The inverse of Q is a measure of energy loss per oscillation, which means that different loss components add up reciprocally. The total (oscillation) energy loss $\frac{1}{Q}$ is then given by:

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_0} + \frac{1}{Q_f} \quad (3)$$

where Q_0 and Q_f are the quality factors related to air and fluid respectively. From Equation (3), Q_f can easily be isolated, making it possible to compare it to the depth of submersion.

$$Q_f = \frac{Q_0 Q}{Q_0 - Q} \quad (4)$$

III. METHOD

A. Experimental Setup

To perform the experiment, a setup consisting of a variety of different components was used. A $30.46 \pm 0.05 \text{ g}$ aluminium beam was mounted vertically by fastening it at

OPEN ACCESS

Phys. Educ. 56 (2021) 063007 (4pp)

FRONTLINE

iopscience.org/ped

Students' report on an open inquiry

Freek Pols^{1,*}, Lennard Duynkerke², Jels van Arragon³, Kevin van Prooijen³, Luuk van der Goot³ and Bijoy Bera²

¹ Science Education and Communication, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands

² Chemical Engineering, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands

³ Applied Physics, Delft University of Technology, Delft

E-mail: c.f.j.pols@tudelft.nl

Abstract

As part of the final projects of our introductory lab course, students conceived experiments related to the umbrella topic of 'Physics of toys and sports' and carried out the experiments at their homes. This paper revisits two of these experiments described by student teams and illustrates how self-conceived experiments provide opportunities to truly engage students in *doing science*.

Keywords: practical work, introductory lab course, first year physics



SQL (Holmes, 2015)

<https://www.pnas.org/doi/pdf/10.1073/pnas.1505329112>

Stimuleren kritisch denken bij studenten

- Langzaamaan verwijderen instructies (doel/onderzoeksvraag, specifieke apparatuur, beslissingen)
- Vergelijking maken tussen data en model
- Vervolgonderzoek bedenken en uitvoeren:
 - Aanvullend onderzoek (uitgebreidere onderzoeksvraag)
 - Andere context
 - Verhogen nauwkeurigheid

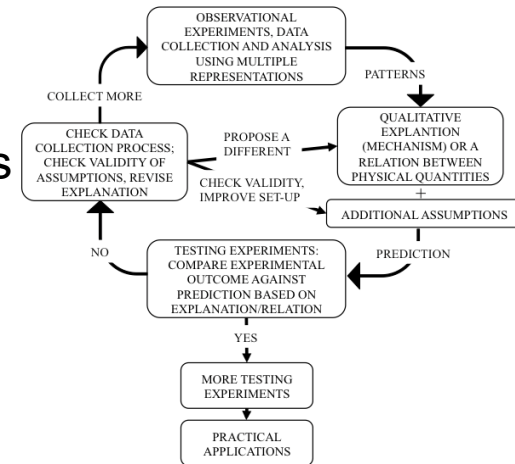


ISLE (Etkina, 2007)

http://per-central.org/per_reviews/media/volume1/ISLE-2007.pdf

Studenten motiveren om onderzoek te doen

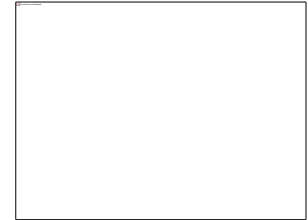
- Observatie → Bedenk verklaring(en) → Test verklaring → Herzie verklaring indien nodig
- Meerdere cycli van onderzoek
- Kwalitatieve feedback gedurende het proces
- Mogelijkheid tot verbetering





Motiveren studenten

- **Meaningful:** *authentic challenges^{1,2}*
- **Competence:** *successes/assignments at their level³⁻⁵*
- **Autonomy:** *choices/open research³⁻⁵*
- **Relatedness:** *supportive environment³⁻⁵*
- **Collaborative learning:** *working in 'research groups'*
- **Mastery mindset:** *(first) parts of lab not for grade*
- **Problem-based:** *a need to know^{2,5}*



1 Boersma, 2007.

2 Bulte, 2006.

3 Deci & Ryan, 2000.

4 Niemiec & Ryan, 2009.

5 Connell & Wellborn, 1991.

6 Lijnse & Klaassen, 2004.

Leerlijn Biologie van 4 tot 18 jaar.

A Research Approach to Designing Chemistry Education using Authentic Practices as Contexts.

The "What" and "Why" of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior.

Autonomy, competence, and relatedness in the classroom: Applying SDT to educational practice.

Competence, autonomy, and relatedness: A motivational analysis of self-system processes.

Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences?



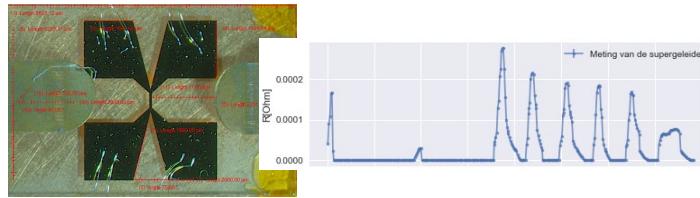
Programma BSc-1 Leiden

Onderdeel	Content	Uren (lab)	Toetsvorm	SQL ISLE
EN1	supergeleiding / quantumtunneldiodes / sensor bouwen (2 uit 3 keuzes) (programmeren in Python is een apart vak: 4 ECTS)	16	Vorbereidingen & Labjournaals laatste 2 sessies	SQL
EN2	open proef (biological, soft & complex systems)	16	Vorbereiding & Labjournaal	ISLE
EN3	oscillator (mech/LRC) / staande golf (akoest/EM) / dunne film interferentie (opt/akoest) (4 uit 6 keuzes)	12	Vorbereidingen & Labjournaals laatste sessie	SQL
EN4	open proef (trillingen & golven)	16	Vorbereiding & Artikel	ISLE
EN5	dubbelspleet / spectroscopie (Na & Hg) / Michelson interferometer(?) (1 uit 2/3 keuzes)	12	Vorbereiding & Labjournaal	SQL
EN6	open proef (optica/EM/quantum)	16	Vorbereiding & Artikel	ISLE

Programma BSc-1 Leiden

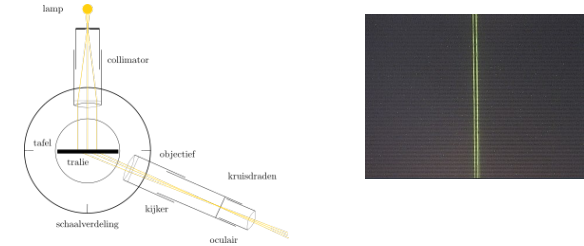
Bepaling kritische temperatuur YBCO (EN1)

- Werken met DMM
- Iteratie van labtemperatuur naar T_{kritisch}
- Fouten bepalen en doorrekenen



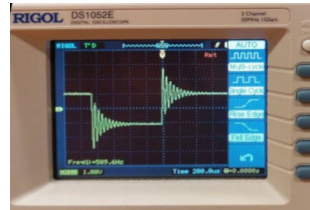
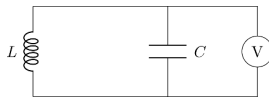
Bepalen van spectraallijnen (EN5)

- Werken met spectroscop
- Iteratie op nauwkeurigheid
- Gaussian fitten



Bepaling karakteristieken LRC-circuit (EN3)

- Werken met oscilloscoop & functiegenerator
- Iteratie op context (mechanische oscillator)
- e-macht fitten



Open experimenten (EN2, EN4, EN6)

- Algemene onderzoeksvaardigheden
- Plezier



Programma BSc-1 Leiden

Phys. Educ. 56 (2021) 023004 (4pp)

FRONTLINE

lojscience.org/ped

A Lego® Mach-Zehnder interferometer with an Arduino detector

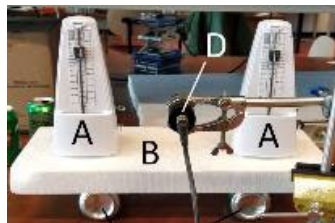
Louw Feenstra, Cramer Julia and Paul Logman

Leiden Institute of Physics, Leiden University, Leiden, The Netherlands

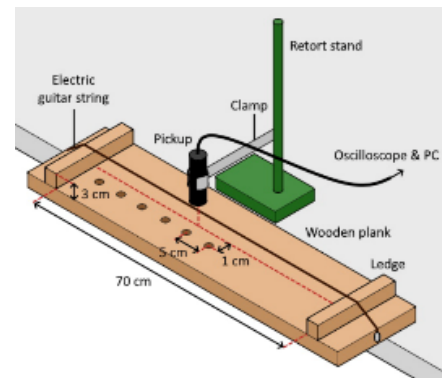
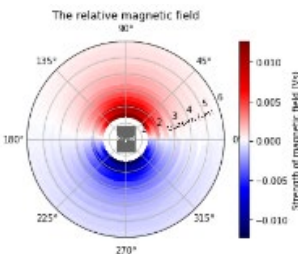
E-mail: l.feenstra.3@umail.leidenuniv.nl

Abstract

In this paper, a Lego®-based interferometer, developed by a first-year bachelor physics student, is presented. The interferometer is home-built at low cost, using household items such as glass panes for beamsplitters and reflecting smartphone logos for mirrors. It is able to produce stable and visible fringes, of which shifting can be monitored. The presented methods allow students to build and conduct adequate optical experiments without the need for expensive optics lab materials, making them deployable in distance learning. Moreover this interferometer demonstrates the educational value of a free experimental assignment.



CrossMark



Intuitive measurement of the dispersion relation of capillary waves on water jets

(Dated: February 1, 2023)

Abstract

A simple and intuitive setup for generating and measuring capillary waves is presented which enables the precise measurement of the dispersion relation for a cylindrical water jet. This setup and method result from a first year physics bachelor project and only requires a low cost setup producing straightforward measurements. It provides an intuitive way for students to understand the relation between the phase velocity and wavelength of capillary waves. To help students understand this relationship, a semi-quantitative simulation is presented to explain the observed wave pattern. Two models are then discussed, as well as details about the experimental setup. The resulting data show a 15% downward experimental discrepancy with respect to these models and previous data.





Rubrics & Toetsing

- Kwaliteit van verslag
- Kwaliteit van onderzoek
- Kwaliteit van voorbereiding
- Kwaliteit van labjournaal
- Kwaliteit van artikel
- Presentatie bij ander vak (PC)

criterium Delft	Beschrijving
Titel	Titel bestaat uit 10-12 woorden en dekt de inhoud, is pakkend
Samenvatting	Abstract volgt structuur van paper, bondig maar volledig. Max 250 woorden
Introducerende zin(nen)	De eerste twee zinnen geven duidelijk aan waar het onderzoek naar toe gaat
Introductie (beschrijving)	In de intro wordt duidelijk gemaakt wat er gedaan wordt en waarom.
Introductie (kwaliteit)	De onderzoeksvraag is helder, onderzoekbaar en beantwoordbaar, interessant.
Theorie	De theorie geeft voldoende achtergrond en info om het experiment te snappen.
Methode (beschrijving)	De onderdelen van Methode (ontwerp/experiment, procedure, analyse) zijn helder beschreven waardoor experiment te reproduceren is.
Methode (kwaliteit)	Sprake van een eerlijke test Bereik en interval juist gekozen. Metingen voldoende maal herhaald Goede keuze meetinstrumenten
Resultaten (beschrijving)	Bevat de resultaten van de metingen die bij Exp.Meth. zijn uitgelegd, in de vorm van Tabellen en Grafieken. Deze worden in de tekst geïntroduceerd. De lezer wordt gewezen op de uitkomsten. Een foutenanalyse is uitgevoerd.
Resultaten (kwaliteit)	Een optimale representatie van de data is gekozen met bijv. fitlijn.

Criterium Delft	Beschrijving
Conclusie	De conclusie is zelfstandig leesbaar, helder, correct en onderbouwd.
Aanbevelingen (kwaliteit)	Elk onderzoek kan beter op basis van verkregen inzichten, deze moeten gespecificeerd worden.
Algehele kwaliteit verslag	Het verslag is een weergave van een wetenschappelijk onderzoek op 1e jaars niveau, bevat alle onderdelen die aangeleerd zijn in het eerste jaarspracticum.
Algehele kwaliteit onderzoek	Gegeven de beperkingen is er een goed onderzoek afgeleverd, juiste keuzes gemaakt, de keuzes zijn onderbouwd.

Criterium Leiden (labjournaal)	Beschrijving
STRUCTUUR Structure/Clarity/Language	All headers are marked, all figures have clear and extensive captions, figures have a clear position, concise & clear formulation, correct use of scientific jargon, academic use of language. Time of most measurements is noted, clear distinction between measured data and theory, all references have been made where necessary.
Data presentation	Clear presentation of all data revealing patterns and features in the data: neat tables and graphs including error bars, names for axes, consistent use of units, clear definition of all symbols in formulas, end results are correctly rounded and accuracy is presented correctly.
Argumentation	Arguments are written concisely and are complete.
UITVOERING MEETPLAN Setup	Contains clearly understandable visual and description of a creative or clever final and intermediate experimental setups including a complete description of used materials and all critical parts, critical aspects are discussed.
Measuring method	Contains a creative or clever and complete retraceable execution of how the measurement plans have been implemented in practice, containing all essential steps and settings, discusses the spread of measurements, what has been varied in which range and how that variation has been controlled, and what has been kept constant, including remarks on how all discrepancies between plan and practice have been resolved, updated task risk analyses when necessary not containing any unnecessary risks, including how raw data errors have been determined.

Criterion Leiden (labjournaal)	Beschrijving
Test results	Contains how the setups were tested and quick test results for all variables.
Measurement optimalization	Contains all important measurement errors and remarks on the size of all of them plus decisions about continuation of measuring.
Measurement errors	Contains all important measurement errors and remarks on the size of all of them plus decisions about continuation of measuring.
Results & Productivity	Contains proven outstanding productivity (where possible extra observations are made), contains only quantified remarks. Some resulting data can be a useful starting point for publication.
UITVOERING ANALYSE Interpretation of data	Logically correct interpretation of the data using theory: every result is critically discussed, in the case of unexpected results the cause is discussed.
Application of theory	Building on existing scientific theories: a broad knowledge of current scientific theory is applied correctly and quantitatively to the data within the correct restraints. No irrelevant theories are mentioned.
Error analysis and fits	The size of all statistical and systematic errors and fits are critically and quantitatively discussed concerning their influence on the conclusions.
Raw data to conclusions	Conclusion summarizes all main findings, answers each (sub) research question and hypotheses are tested quantitatively and correctly, the creative or clever line from raw data to conclusion is coherent, logical and clear, all end results are critically discussed, limitations are mentioned.

Opbrengsten

- Heldere doelen & activiteiten
- Minder werkdruk (nog hoog)
- Koppeling theoretische vakken
- Eigen onderzoek ('fallen' = leren)
- Veel en gerichte feedback
- Eigen onderzoek (plezier)
- Hogere waardering door studenten
- Begrip nut voorbereiding
- Koppeling met onderzoek vakgroepen
- Rubrics direct gekoppeld aan leerdoelen
 - Sneller nakijken
 - Eerlijker nakijken
 - Hoge interbeoordelaarsbetrouwbaarheid



Uitdagingen

- Verschil voorkennis programmeren
- Tijd
- Voorbereiding
- Potentieel plagiaat
- Aantal studenten (bijna max)
- Verschil in practicumervaring studenten
- Tijd studenten (vooral in practicumweken)
- Vol rooster
- Analyseplannen
- Elk jaar wisselende problemen bij studenten



