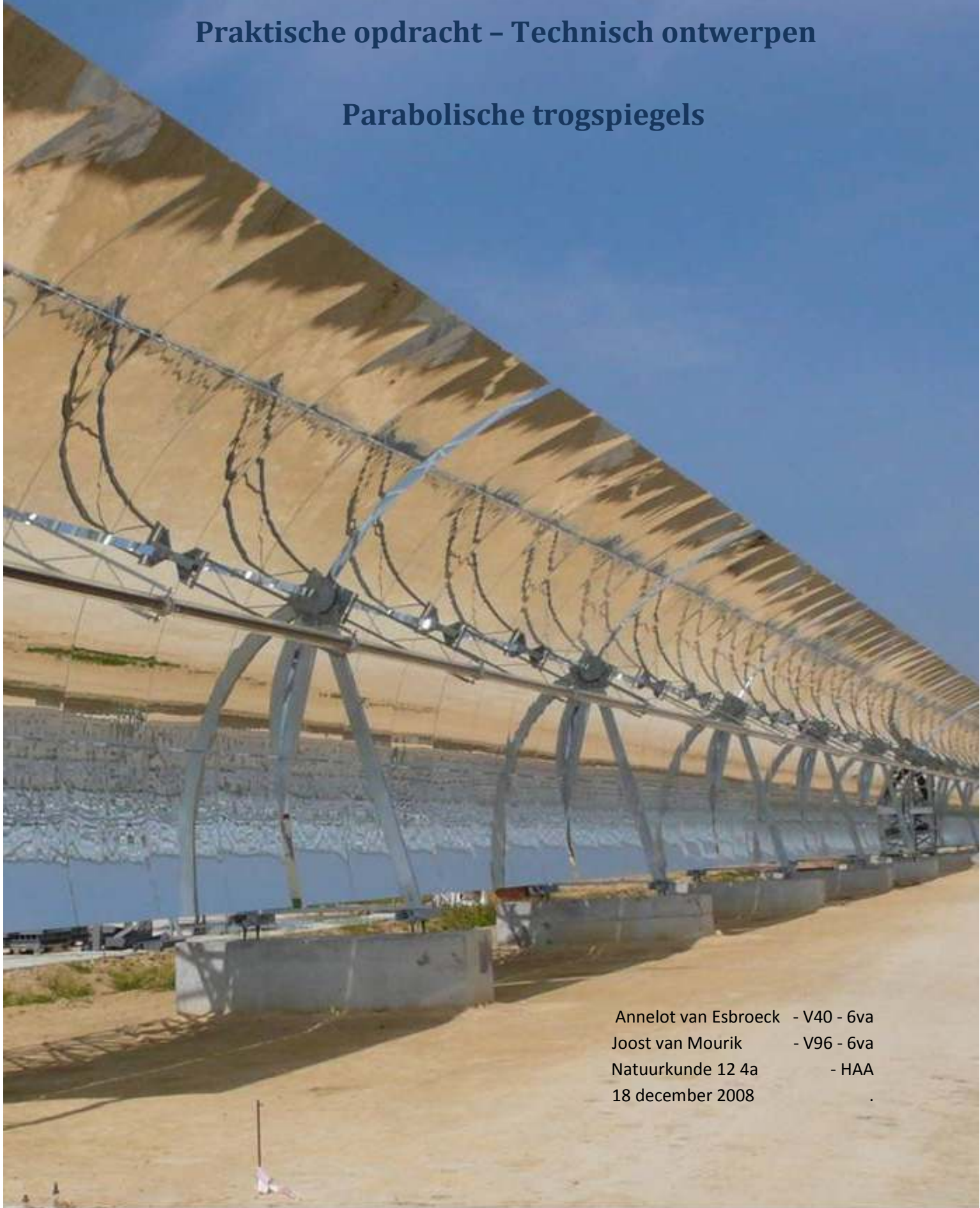


Natuurkunde12 SEII

Praktische opdracht – Technisch ontwerpen

Parabolische trogspiegels



Annelot van Esbroeck - V40 - 6va
Joost van Mourik - V96 - 6va
Natuurkunde 12 4a - HAA
18 december 2008



Inhoudsopgave

Voorblad	blz. -
Inhoudsopgave	blz. 1
Inleiding	blz. 2
Samenvatting	blz. 2
Probleemstelling / Onderzoeksvraag	blz. 2
Hypothese	blz. 2
Theorie	blz. 3
• De werking van parabolische trogspiegels	blz. 3
• Berekenen van het rendement	blz. 4
Programma van eisen	blz. 5
• Technisch ontwerpen - Processchema	blz. 5
• Programma van eisen	blz. 5
• Uitwerkingen van de eisen	blz. 6
• Ideeëntabel met toelichting	blz. 7
Uitvoering	blz. 9
• Proefopstelling/Ontwerp	blz. 9
• Benodigde Materialen	blz. 10
• Werkwijze	blz. 10
• Uitvoeringsproces	blz. 11
Metingen	blz. 12
• Temperatuurmetingen	blz. 12
• Schematische weergave temperatuurmetingen	blz. 13
• Metingen aan het model	blz. 13
Uitwerkingen	blz. 14
• Energie en rendement	blz. 14
• Bepaling van het brandpunt van de parabool	blz. 15
Betrouwbaarheid van de resultaten	blz. 16
• Brandpuntsafwijking	blz. 16
• Temperatuurafwijkingen	blz. 16
• Tijdsafwijkingen	blz. 16
• Verdere afwijkingen	blz. 16
• Concrete berekening van onzekerheid	blz. 17
Conclusie	blz. 18
Uiteindelijk ontwerp	blz. 19
Discussie \ Evaluatie	blz. 20
Literatuur	blz. 21
Bijlagen:	blz. 22
• Foto's	blz. 22
• Instructie PO's	blz. 26



Inleiding

Nu de hoeveelheid beschikbare fossiele brandstoffen steeds verder daalt en de commerciële kernfusiereactor nog steeds niet in zicht is, worden alternatieve energiebronnen zoals zonne-energie steeds populairder. Eén van de manieren om energie uit zonlicht te winnen is door het gebruik van parabolische trogspiegel in zonthermische krachtcentrales. Zo'n trogspiegel is een parabolische spiegelbak die het zonlicht dat erin valt reflecteert en in één lijn concentreert. Op deze lijn wordt een buis gevuld met vloeistof gehangen. Als deze vloeistof opwarmt kan er vervolgens elektrische energie mee gegenereerd worden.

Het is uiteraard zaak dat zo veel mogelijk van de energie uit het zonlicht ook daadwerkelijk in het medium in de buis terechtkomt. Het ontwerpprobleem waar we aan zullen gaan werken is dan ook de optimalisatie van dit proces. Hierbij zullen we het op school beschikbare model van een parabolische trogspiegel als uitgangspunt gebruiken.

Samenvatting

We hebben onderzocht op welke manier we een parabolische trogspiegel konden optimaliseren aan de hand van een aantal eisen. Deze opdracht was dus een combinatie van een onderzoek en een ontwerpopdracht. Door te variëren met oplossingen voor de verschillende eisen zijn we tot een beste ontwerp gekomen dat bestaat uit een mat zwart geverfde koperen buis, gevuld met slaolie en een perspex "dakje" ter isolatie.

Probleemstelling / Onderzoeksvraag

Hoe kunnen we het rendement van een parabolische trogspiegel optimaliseren?

Hypothese

Bij deze opdracht is het niet mogelijk om een hypothese te vormen. In plaats hiervan hebben we gewerkt met een programma van eisen, om ons denk- en ontwerpproces te laten zien. U kunt dit terugvinden op pagina vijf tot en met acht.



Theorie

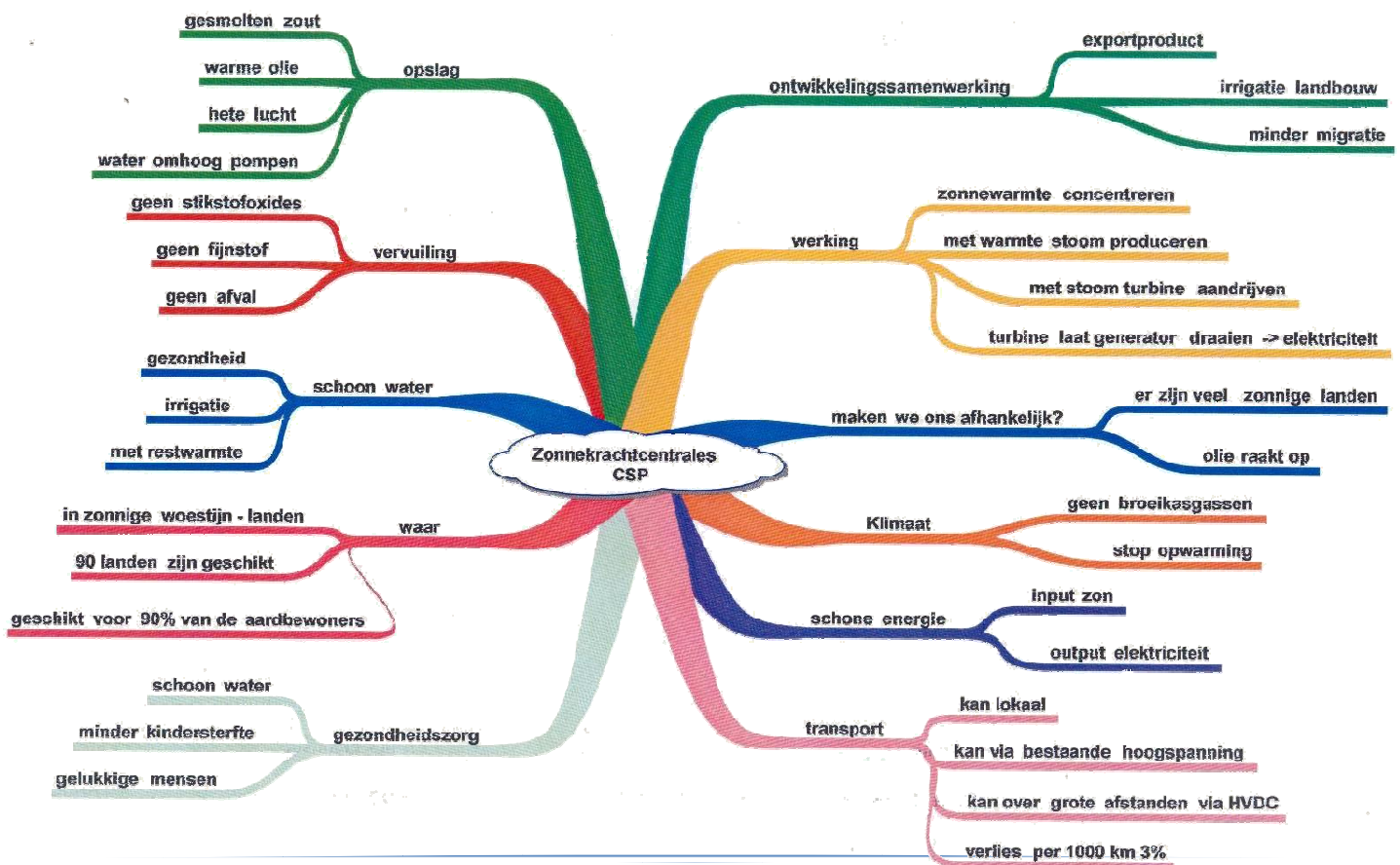
De werking van parabolische trogspiegels

Parabolische trogspiegels worden gebruikt om energie op te wekken in een zonthermische krachtcentrale. De werking van zo'n centrale is vrij eenvoudig uit te leggen. Om te beginnen wordt het zonlicht opgevangen in parabolische spiegels. Door de buiging in de spiegel wordt het licht en alle de warmte van de zon in een lijn geconcentreerd, het zogenaamde brandpunt. In de lijn van dit brandpunt worden buizen gevuld met olie gemonteerd. De zonnewarmte verhit de olie, waarna deze naar een stoomketel wordt gepompt. De hete olie brengt water aan de kook. Dit veroorzaakt stoom die onder hoge druk een turbine aan kan drijven. De turbine zorgt op haar beurt weer voor de aandrijving van een generator die elektriciteit produceert.

Om elektriciteit op te wekken wanneer de zon niet schijnt, kan er gebruik gemaakt worden van zout dat gedurende dag is gesmolten. De stoom die hiermee geproduceerd wordt zorgt ook weer voor de aandrijving van een turbine en vervolgens voor de aandrijving van een generator die elektriciteit produceert.

Een voordeel van het gebruik van deze manier van energieopwekking, is dat het niet schadelijk is voor het milieu. Er worden geen fossiele brandstoffen of gifstoffen gebruikt en bovendien komen er geen milieuvervuilende stoffen vrij.

In de onderstaande mind-map staan bovenstaande punten en een aantal andere aspecten van deze zonnekrachtcentrales schematisch weer gegeven:





Berekenen van het rendement

De theorie die we gebruiken bij het berekenen van het rendement is als volgt. Het rendement is in deze situatie te omschrijven als de energie die door de vloeistof in de buis als warmte wordt opgenomen, gedeeld door de energie die als elektromagnetische straling in de bak valt gedurende eenzelfde tijdsduur.

Voor de energie die in de bak valt geldt:

$P = I * A$, met P in W , I in W/m^2 en A , de oppervlakte van de spiegelbak in de richting van de lichtbron, in m^2 .

$E = P * t$, met E in J en t in s .

Anders gezegd: $E = I * A * t$.

A en t kunnen we meten, maar voor de intensiteit I moeten we een berekening gebruikeng. I (W/m^2) is te berekenen als de verlichtingssterkte E (lx , ofwel lm/m^2) gedeeld door een waarde die de *luminous efficacy* (lm/W) van de lichtbron wordt genoemd. Deze waarde, die een maximum van 683,002 lm/W heeft, geeft aan welk deel van de door de lichtbron uitgezonden straling zichtbaar licht is. Aangezien we als vervanging van de zon twee 500W halogeen lampen gebruiken, gaan we uit van een algemene *luminous efficacy* voor vergelijkbare krachtige halogeen lampen van 22 lm/W . (P. Baum in *Tungsten Halogen Lamps*, 1998).

De energie in de toegevoegde warmte in het medium in de buis is te berekenen met:

$E = \Delta T * m * c$, met E in J , ΔT in K , m in kg en c in $J/kg/K$.

De soortelijke warmte van de slaolie die we als medium hebben gebruikt is $1,67 * 10^3 J/kg/K$. (<http://www.engineeringtoolbox.com/>)

Door dit alles samen te voegen krijgen we dus een rendement van:

$\eta = (\Delta T * m * c) / ((E / \text{luminous efficacy}) * A * t) = (1,67 * 10^3 m \Delta T) / ((E / 22)At)$

NB: Bij deze laatste formule staat E voor verlichtingssterkte, niet voor energie.

Brandpunt en kegelsnede

Het brandpunt is het punt waarin al het licht dat door een holle spiegel wordt gereflecteerd samenkomt. Wanneer deze spiegel parabolisch is, valt het brandpunt te bepalen met de volgende formule: $4py=x^2$ (kegelsnede parabool), waarin p het coördinaat van het brandpunt is en voor y en x coördinaten in van de spiegel kunnen worden gebruikt.

Naast het brandpunt van spiegels, kan er ook een brandpunt zijn van licht door een positieve lens. Dit is bij onze opdracht echter niet van belang.



Programma van eisen

Technisch ontwerpen - Processchema

Onze praktische opdracht is in feite een ontwerpopdracht, waardoor we niet zoals gebruikelijk één hypothese kunnen toetsen. Daarom werken we in plaats hiervan met een stappenplan voor technisch ontwerpen (<http://www.digischool.nl/>). Dit houdt in dat we bij elke eis die onderdeel is van het ontwerpprobleem een aantal oplossingen bedenken. De uitwerking hiervan dient als vervanging van de hypothese.



Programma van eisen

Als uitgangspunt voor ons ontwerp dienen het bestaande model van de parabolische trogspiegel en de volgende eisen:

- Zo goed mogelijk opvangen van het licht in de bak.
- Zoveel mogelijk warmte absorptie door de buis.
- Zo min mogelijk warmte moet uit de buis ontsnappen, oftewel, de buis moet goed geïsoleerd zijn.
- Zo goed mogelijke warmteopname door het medium.
- De materialen moeten veilig, goedkoop en redelijk makkelijk verkrijgbaar zijn.

NB: Bij het uitwerken van bovenstaande eisen beperken we ons tot aanpassingen die bij het huidige model mogelijk zijn.

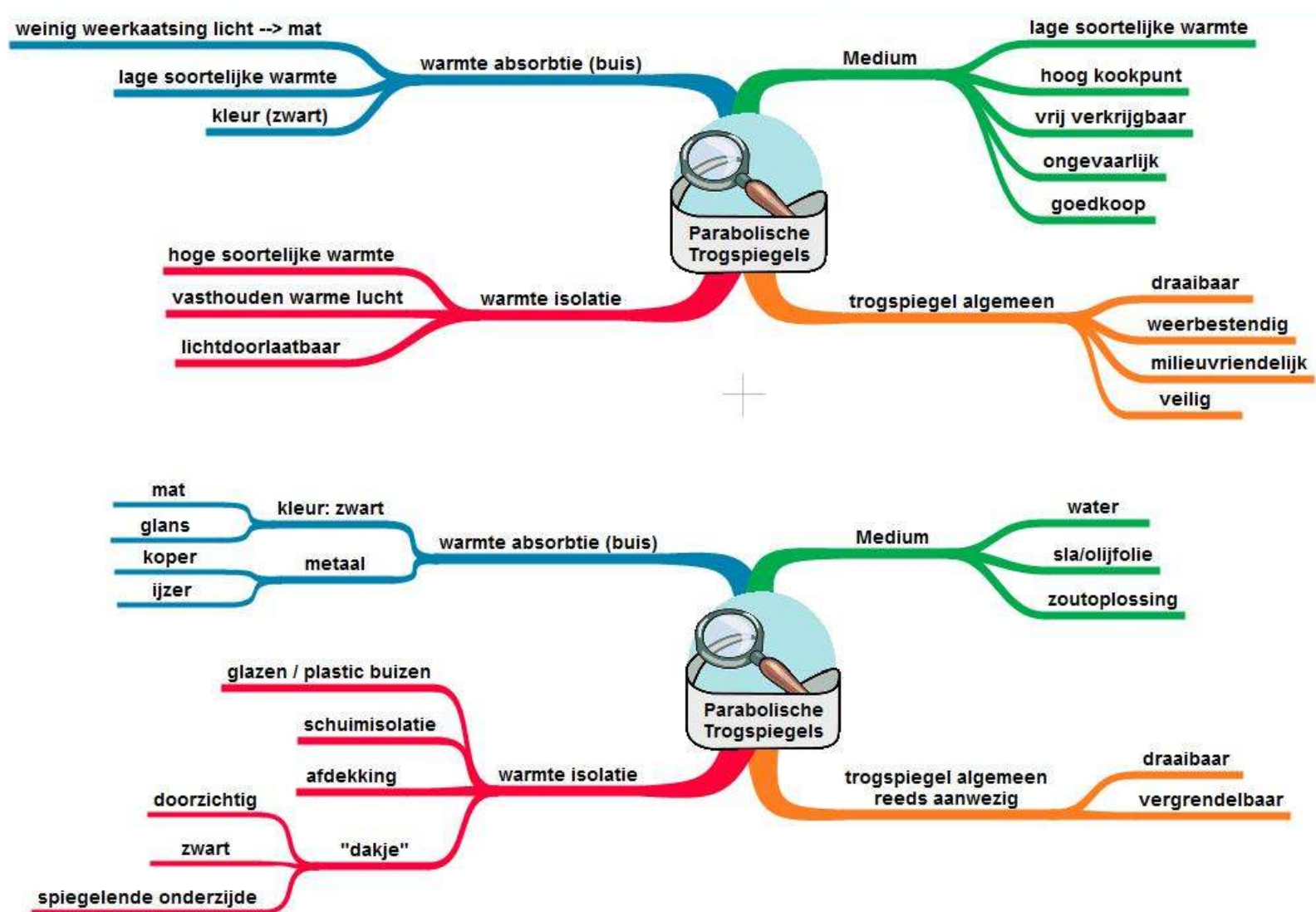


Uitwerkingen van de eisen

We hebben geprobeerd ons denkproces bij het uitwerken van deze eisen in de onderstaande mind-maps weer te geven. Daaronder staan nogmaals de concrete oplossingen die we hebben bedacht uitgewerkt in tabelvorm.

In de eerste mind-map zijn de eisen te vinden, met algemene oplossingen per eis.

In de tweede mind-map staan de belangrijkste eisen, maar ditmaal met de diverse aanpassingen die op ons model realiseerbaar zijn, uitgegaan van (combinaties van) algemene oplossingen in de eerste mind-map.





Ideeëntabel met toelichting

Eis	Ideeën				
Veel licht in bak opvangen	Trogspiegelbak draaibaar ¹				
Veel warmte in buis absorberen	Koperen buis ²	IJzeren buis ²	Buis mat zwart verven ³		
Weinig warmte uit buis verliezen	Schuimisolatie op de buis aanbrengen ⁴	Gehele spiegelbak afdekken met doorzichtig folie ⁵	Doorzichtige buis om metalen buis (glas/perspex) ⁶	Doorzichtig dakje over buis ⁷	Dakje over buis: onder reflecterend en boven zwart ⁸
Warmteopname medium	Water	Zoutoplossing ⁹	Olijfolie ¹⁰	Slaolie ¹¹	
Materialen	De materiaalkeuze zal bij de andere eisen steeds opnieuw in beschouwing moeten worden genomen.				

1. Door de bak naar het licht te draaien, vergroten we de hoeveelheid licht die op de spiegels valt, en valt dit licht bovendien recht op de spiegels, zodat het in het brandpunt van de parabool terecht komt
2. Deze twee materialen zijn veilig, makkelijk verkrijgbaar en hebben een lage soortelijke warmte, waardoor ze als het goed is snel opwarmen.
3. De kleur zwart absorbeert het meeste licht. Door de buis zwart te verven zal deze waarschijnlijk meer licht en warmte absorberen. Daarnaast de keuze voor een matte buis, omdat er dan minder licht gereflecteerd wordt dan bij een glanzende buis.
4. Door een halfronde, zwarte schuimlaag op de bovenkant van de buis aan te brengen, hopen we de isolatie te verbeteren zonder hierbij de energieopname door de buis veel te schaden.
5. Door in plaats van de buis de gehele spiegelbak te isoleren, kunnen we de warmte binnenhouden, zonder dat dit de opname van licht door de buis zou schaden.
6. De warmte die de buis verliest zou moeten verminderen, omdat de lucht tussen de metalen en de doorzichtige buis de warmte gevangen houdt.
7. Een 'dakje' over de buis van twee tegen elkaar gezette plaatjes perspex zou net als het vorige idee de warmte die uit de buis ontsnapt gevangen houden. Anders dan bij het vorige idee is dit dakje alleen aan de bovenkant van de buis, waar de meeste ontsnapte warmte zich zou moeten bevinden, aangezien warme lucht



opstijgt. De invallende stralen aan de onderkant worden er dus op geen enkele manier door gehinderd.

8. *Door dit dakje zwart te verven aan de bovenkant zou een groot deel van de straling van boven nog steeds opgenomen worden, terwijl reflecterend folie aan de onderkant ontsnapte warmte, of weerspiegelde stralen die de buis gemist hebben, meteen weer richting de buis terug kan kaatsen. Echter kan dit “dakje” er ook voor zorgen dat de lichtval op de spiegel ernstig belemmerd wordt, waardoor er alsnog veel energieverlies is.*
9. *Door toevoegen van zout stijgt het kookpunt, waardoor het medium een hogere temperatuur kan bereiken dan bij gebruik van zuiver water.*
10. *Dit heeft volgens BINAS een lage soortelijke warmte, namelijk $1,65 \cdot 10^3 \text{ J/kg/K}$. Er zijn een aantal vloeistoffen met een lagere soortelijke warmte, maar deze zijn moeilijk verkrijgbaar, onveilig, duur, of een combinatie daarvan. Daarnaast heeft olie een hoger kookpunt dan bijvoorbeeld water, waardoor het dus meer warmte/energie kan opnemen.*
11. *Slaolie lijkt op olijfolie, maar is aanzienlijk goedkoper. De soortelijke warmte verschilt slechts een beetje, deze is namelijk $1,65 \cdot 10^3 \text{ J/kg/K}$ voor slaolie en $1,67 \cdot 10^3 \text{ J/kg/K}$ voor slaolie*



Uitvoering

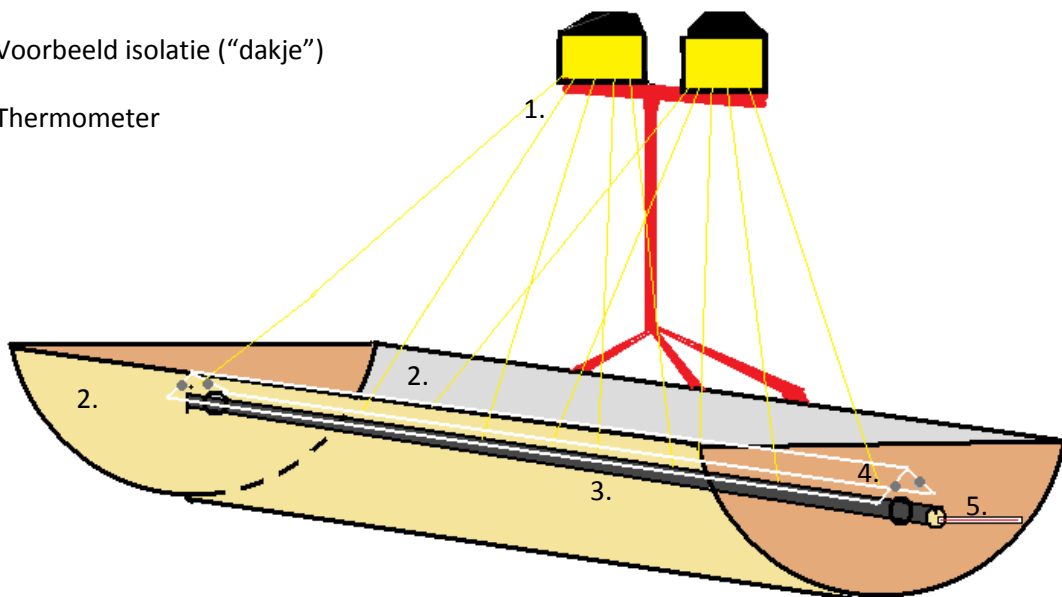
Enkele bijzonderheden dienen vooraf genoemd te worden.

Ten eerste zijn sommige veranderingen aan de materialen, zoals het zwart verven van een buis, onomkeerbaar. Daarom gaan we niet volledig uit van het gewoonlijke ontwerpproces, waarbij eerst het vermoedelijk optimale ontwerp wordt geconstrueerd en daarna weer aangepast als het niet aan de eisen voldoet. In plaats daarvan vergelijken we stap voor stap verschillende oplossingen met elkaar. Dit maakt het proces bovendien geschikter voor het vinden van de optimale oplossing, in plaats van het vinden van een oplossing die aan een absolute eis voldoet.

Ten tweede kunnen we bij het testen geen gebruik maken van zonlicht, omdat dit niet constant genoeg is om exacte metingen mee te doen. Daarnaast schijnt de zon in Nederland weinig in november. Als vervanging voor het zonlicht maken we daarom gebruik van twee bouwlampen van 500 Watt per stuk. Dit heeft als nadeel dat de stralen van deze lampen niet parallel zijn, wat kan zorgen voor een afwijking in het brandpunt.

Proefopstelling/Ontwerp

1. Statief met bouwlampen
2. Model parabolische trogspiegel
 - Ombouw (bruin)
 - Spiegel (lichtgrijs)
3. De buis (donkergrijs)
4. Voorbeeld isolatie ("dakje")
5. Thermometer





Benodigde Materialen

- Aluminiumfolie
- Bekerglas
- Boormachine met zessterbitjes
- Huishoudfolie
- IJzeren buis
- IJzerzaag
- Koperen buis
- Kraanwater
- Kwasten
- Model van de parabolische trogspiegel
- Perspex (twee smalle stukjes van 75cm lang)
- Pijpisolering (holle buisvorm van schuim)
- Plakband
- Plastic lijm
- Slaolie
- Spijkers
- Stop
- Thermometer
- Twee bouwlampen + statief
- Waterpomptang
- Wijnkurk (plastic)
- Zwarte schoolbordenverf

Werkwijze

Voordat er met meten kan worden begonnen, moet de huidige buis eruit worden gesloopt met behulp van een waterpomptang, een ijzerzaag en een boormachine. Nadat dit is gebeurd kan met onderstaande werkwijze vervolgd worden.

- Sluit één kant van de buis af met een stop.
- Meet de positie van het uiteinde van de paraboolspiegel in een verticale snede door het uiteinde van de bak ten opzichte van het laagste punt van de spiegel (0, 0)
- Meet ook de hoogte van het middelpunt van het gat waar de buis door zal gaan boven dit punt (0, 0)
- Zet de buis rechtop en vul deze met behulp van een bekerglas met water of slaolie.
- Sluit de andere kant af met de wijnkurk.
- Schuif de buis door de gaten van het brandpunt.
- Steek een thermometer in het gat van de wijnkurk en lees de starttemperatuur af.
- Monteer eventuele isolaties
 - Verf de buis zwart (24 uur droogtijd)
 - Plak het huishoudfolie over de spiegelbak.



- Plaats de pijpisolering op de buis.
 - De pijpisolering eerst halveren en zwart verven. Deze kan dan op de buis worden gelegd.
- Plaats het “dakje” over de buis met behulp van een paar spijkertje.
 - Bouwen van het “dakje”: Lijm de twee lange smalle perspexplaatjes in een hoek van 90 graden.
 - Variatie: Verf de bovenkant van dit “dakje” zwart en bekleed de onderkant met spiegelend aluminiumfolie. Hang
- Zet de lampen in de juiste positie op de statief en laat deze eerst vijf minuten branden.
- Schuif de trogspiegel onder de lamp en stel deze zo dat het licht er zo recht mogelijk op valt. Meet op hoe ver de lampen boven de bak hangen.
- Zet na vijftien minuten de lamp uit en lees de eindtemperatuur af.
- Laat het vocht in de buis afkoelen.
- Voor elke volgende meting, weer de gehele werkwijze doorlopen.

Uitvoeringsproces

Zoals hierboven al genoemd, hebben we verschillende oplossingen voor dezelfde eis om beurten getest. Hierna werkten we steeds verder met het ontwerp dat daar als beste uitkwam. Bij het proefdraaien kwamen we echter tot de ontdekking dat met water als medium de temperatuur maar heel langzaam steeg. Omdat hierdoor de duur van de opdracht erg verlengd zou worden, vielen water en een zoutoplossing in water meteen af. Olijfolie is vrij duur en omdat het verschil tussen de soortelijke warmte van slaolie en olijfolie slechts minimaal is, kozen we voor het gebruik van slaolie. Deze keuze maakten we al voordat we ‘officiële’ metingen hadden verricht.

Met de proeven voor het materiaal en de kleur van de buis konden we vervolgens zonder problemen verder gaan. Bij de proeven met de isolatie van de buis moesten we helaas opnieuw van ons plan afwijken, omdat een glazen buis niet op tijd beschikbaar bleek te zijn. We hebben nog gedacht over een doorzichtige golfplaat ter vervanging, maar dit bleek financieel gezien geen geschikte oplossing. Het idee van een doorzichtige buis om de metalen buis viel hiermee af. Na deze tegenslag zijn we direct op zoek gegaan naar andere isolatiemethoden, zoals een isolatie van perspex en pijpisolatie. (Exactere omschrijving in de werkwijze terug te vinden)

Verder hebben we, om het rendement van onze ontwerpen te kunnen berekenen, nog een speciale meting gedaan. Om achter de intensiteit van het invallende licht te komen hebben we namelijk de verlichtingssterkte gemeten. (Zie ook theorie). Omdat het invallende licht van de lampen niet evenwijdig loopt, is de verlichtingssterkte niet overal in de bak hetzelfde. Om hier toch een eenduidige waarde voor te krijgen, hebben we de naar het licht gerichte kant bak in negen denkbeeldige vlakken van 10,7 cm bij 25,1 cm verdeeld. (Zie uiteindelijk ontwerp voor volledige afmetingen) In het middelpunt van elk van deze vlakken hebben we de verlichtingssterkte vervolgens opgemeten.



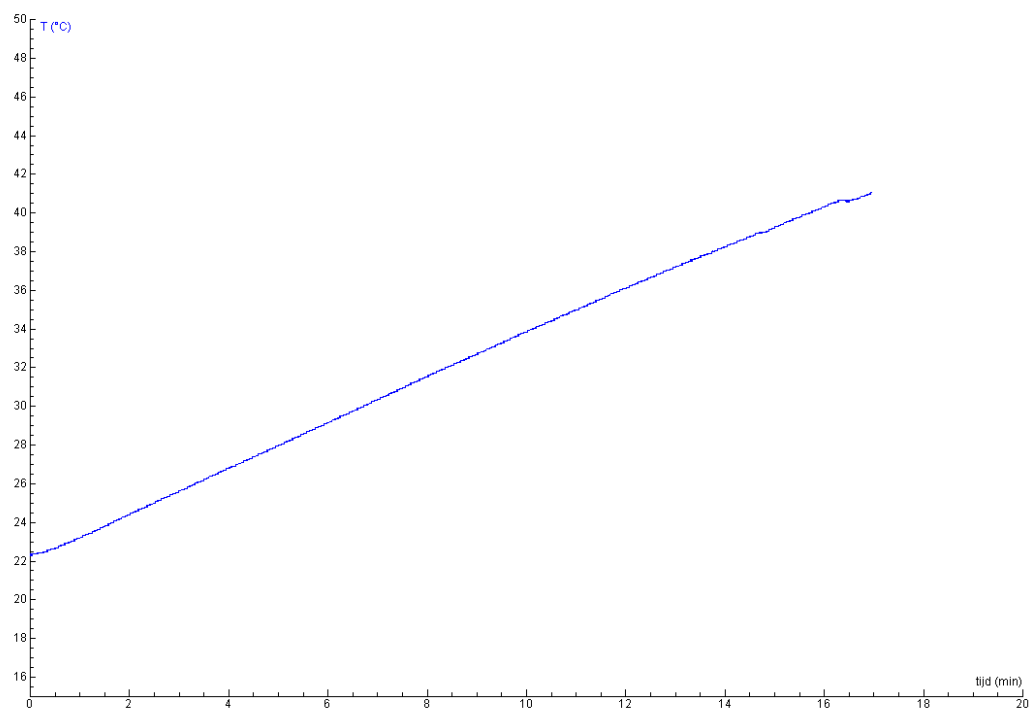
Metingen

Temperatuurmetingen

In de onderstaande tabel is het temperatuurverschil te zien bij elke meting. De bovenste twee metingen dienden oorspronkelijk als proefmeting, maar zoals al eerder genoemd hebben ook deze een rol gespeeld in het uitvoeringsproces.

Buis/isolatie	Tijd	Start temp.	Eind temp.	Temp. Verschil
<i>Proefdraai: water</i>	<i>50 min.</i>	<i>19°C</i>	<i>37°C</i>	<i>18°C</i>
<i>Proefdraai: slaolie</i>	<i>20 min.</i>	<i>19°C</i>	<i>37°C</i>	<i>18°C</i>
IJzer – slaolie	15 min.	19,5°C	34°C	14,5°C
Koper – slaolie	15 min.	19°C	34°C	15°C
Zwart – koper - slaolie	15 min.	18°C	55°C	37°C
Folie – zwart – koper – slaolie	15 min.	20°C	19°C	19°C
Schuimisolatie – zwart – koper – slaolie	15 min.	18°C	54°C	36°C
“dakje” – zwart – koper – slaolie	15 min.	18°C	60°C	42°C
“dakje”zwart+spiegelend– zwart – koper -slaolie	15 min.	19°C	45°C	26°C

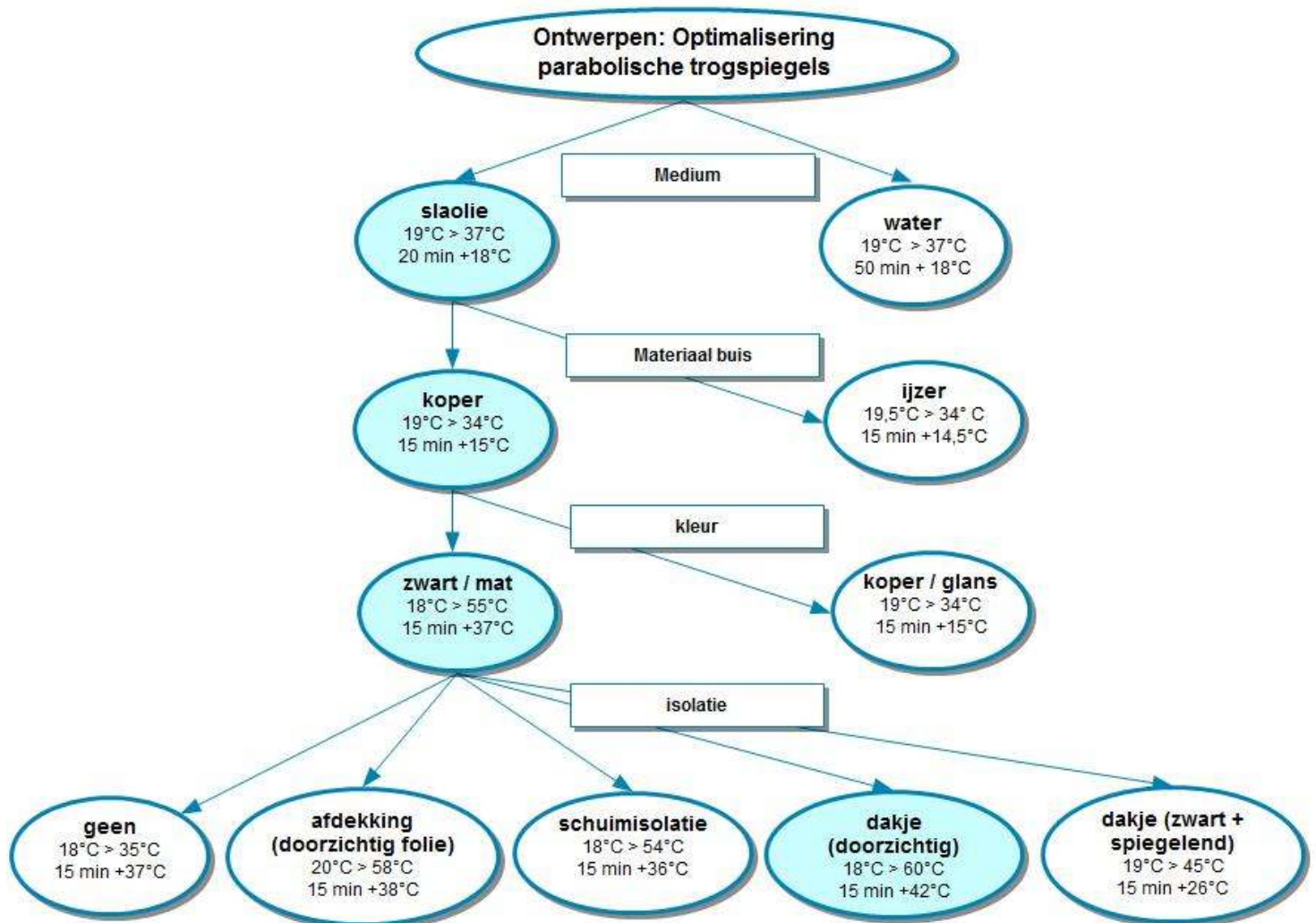
Van de laatste meting hebben we, met behulp van het programma Coach, ook een grafiek gemaakt, zoals hier afgebeeld. Hierin is te zien dat de temperatuurstijging vrij continu verloopt.





Schematische weergave temperatuurmetingen

Ter verduidelijking zijn alle metingen ook nog een keer te zien in het diagram hieronder. Het resultaat dat er het beste uitkwam en waar we verder mee hebben gemeten is steeds lichtblauw gekleurd.



Metingen aan het model

De verlichtingssterktes in de negen denkbeeldige vlakken zijn als volgt: 20,1; 20,1; 17,8; 23,2; 24,4; 21,3; 18,9; 20,5 en 18,5 klx.

Verder was de afstand tussen de lampen en het oppervlakte van deze vlakken 65cm.

Het uiteinde van de paraboolspiegel bevond zich ten opzichte van het nulpunt (zie uitvoering) op (12; 16,8), met de coördinaten in cm.

De massa van de slaolie in de buis was 0,23 kg.



Uitwerkingen

Energie en rendement

Hoewel de temperatuurverschillen al genoeg zijn om het optimale ontwerp te bepalen, is het nuttig om het rendement van elk ontwerp te kennen voor mogelijke toekomstige verbeteringen of verdere vergelijkingen met andere systemen. Zoals gezegd in de theorie geldt de volgende formule:

$$\eta = (\Delta T * m * c) / ((E / \text{luminous efficacy}) * A * t) = (1,67 * 10^3 \text{ m } \Delta T) / ((E / 22)At) = (3,674 * 10^4 \text{ m} \Delta T) / (EAt)$$

$$m = 0,23 \text{ kg}$$

$$A = 0,320 * 0,753 = 0,24096 \text{ m}^2 \text{ (afmetingen zijn ook te vinden in het uiteindelijke ontwerp)}$$

$$t = 900\text{s}$$

Voor E, de verlichtingssterkte, hebben we het gemiddelde genomen van de metingen in de middelpunten van de negen delen van de oppervlakte van de bak in de richting van het licht.

$$\text{Dus } E = (20,1 + 20,1 + 17,8 + 23,2 + 24,4 + 21,3 + 18,9 + 20,5 + 18,5) / 9 = 20,53 \text{ klx} = 2,053 * 10^4 \text{ lx}$$

$$\text{Dus } \eta = (3,674 * 10^4 * 0,23 \Delta T) / (2,053 * 10^4 * 0,24096 * 900) = 0,0019 \Delta T$$

Na toepassing van deze formules op elke meting kregen wij het volgende resultaat:

Buis/isolatie	Temp. Verschil	Rendement
Koper – slaolie	15°C	2,8 %
IJzer – slaolie	14°C	2,6 %
Zwart – koper - slaolie	37°C	7,0 %
Folie – zwart – koper - slaolie	19°C	3,6 %
Schuimisolatie – zwart – koper – slaolie	36°C	6,8 %
“dakje” – zwart – koper – slaolie	42°C	8,0 %
“dakje” zwart+spiegelend– zwart – koper -slaolie	26°C	4,9 %

NB: De proefmetingen zijn niet inbegrepen, omdat we de andere omstandigheden daarna veranderd hebben.



Bepaling van het brandpunt van de parabool

Punten in de trogspiegel (in cm):

- (0,0)
- (12;16,8)

Kegelsneden parabool: $4py=x^2$

$$\rightarrow 4 * p * 12 = 16,8^2$$

$$\rightarrow p = 16,8^2 / (4 * 12) = 5,9 \text{ cm}$$

Het eigenlijke brandpunt van de spiegels bevindt zich dus op 5,9 cm boven bodem van de bak. Het midden van de buis bleek op 6,1 cm hoogte te zitten.

Bij het meten blijkt het middelpunt van de buis op (0;6,1) te zitten. Ondanks deze afwijking van 0,2 cm valt het brandpunt dus nog steeds in de buis en lever dit geen problemen op.



Betrouwbaarheid van de resultaten

Brandpuntsafwijking

Het eigenlijke brandpunt van de spiegels bevindt zich op 5,9 cm boven de bodem van de bak. Het midden van de buis bleek op 6,1 cm hoogte te zitten. Ondanks deze afwijking van 0,2 cm valt het brandpunt nog steeds in de buis. Dit zou dus nauwelijks afwijking in de meetresultaten tot gevolg moeten hebben.

Temperatuurafwijkingen

De thermometer die we bij de proeven gebruikten had een schaal met aanduidingen op elke 2 graden C. We gaan dus uit van een mogelijke afwijking tot 1° Celsius.

Tijdsafwijkingen

Omdat het telkens tijd kostte om de spiegelbak in de juiste positie onder de lampen te manoeuvreren gaan we uit van een mogelijke afwijking tot 10 seconden.

Verdere afwijkingen

- De afmetingen van de bak, opgenomen met een meetlint met aanduidingen op elke millimeter, hebben een mogelijke afwijking tot $\pm 0,05\text{cm}$.
- De massa van de vloeistof in de bak was niet exact constant door kleine lekkages. We gaan uit van een afwijking tot 0,005 kg.
- Voor de *luminous efficacy*, die we niet zelf bepaald hebben, gaan we uit van een mogelijke afwijking tot 2,0 lm/W, omdat de waarde misschien niet precies klopt met betrekking tot deze specifieke lampen.
- De afwijkingen in de gemeten verlichtingssterktes zijn niet significant, omdat de cijfers op de meter in werkelijkheid tot op 0,1 lx gegeven konden worden. Wat echter wel significant is, is de mogelijke afwijking in de gemiddelde verlichtingssterkte door de methode waarmee deze benaderd is. De metingen uit de middelpunten van elk van de delen van het oppervlak van de bak zijn namelijk niet aantoonbaar de gemiddelden van de verlichtingssterktes binnen die delen. We gaan dus uit van een afwijking van 1,0 klx voor E.



Concrete berekening van onzekerheid

$$\eta = (\Delta T * m * c) / ((E / \text{luminous efficacy}) * A * t) = (1,67 * 10^3 \text{ m } \Delta T) / ((E / 22 \pm 2) A t)$$

En:

$$m = 0,23 \pm 0,005 \text{ kg}$$

$$A = 0,320 \pm 0,0005 * 0,753 \pm 0,0005 = 0,24042 \text{ m}^2 \text{ tot } 0,24150 \text{ m}^2$$

$$t = 900 \pm 10 \text{ s}$$

Voor E, de verlichtingssterkte, hebben we het gemiddelde genomen van de metingen in de middelpunten van de negen delen van de oppervlakte van de bak in de richting van het licht.

$$\text{Dus } E = 2,053 * 10^4 \pm 0,1 * 10^4 \text{ lx}$$

$$\text{Dus maximale } \eta = (1,67 * 10^3 * 0,235 \Delta T) / ((1,953 * 10^4 / 24) 0,24042 * 890) = 0,002254 \Delta T$$

$$\text{En minimale } \eta = (1,67 * 10^3 * 0,225 \Delta T) / ((2,153 * 10^4 / 20) 0,24150 * 910) = 0,001588 \Delta T$$

Door dit toe te passen op de resultaten ontstaat de volgende tabel:

Buis/isolatie	Temp. Verschil	Rendement Min.	Rendement Max.	Rendement
Koper – slaolie	15±1°C	2,22%	3,61%	2,8±0,8 %
IJzer – slaolie	14±1°C	2,06%	3,38%	2,6±0,8 %
Zwart – koper - slaolie	37±1°C	5,72%	8,57%	7,0±1,6 %
Folie – zwart – koper - slaolie	19±1°C	2,86%	4,51%	3,6±0,9 %
Schuimisolatie – zwart – koper – slaolie	36±1°C	5,56%	8,34%	6,8±1,5 %
“dakje” – zwart – koper – slaolie	42±1°C	6,51%	9,69%	8,0±1,7 %
“dakje” zwart+spiegelend– zwart – koper -slaolie	26±1°C	3,97%	6,09%	4,9±1,2 %

In de laatste kolom zijn onze uiteindelijke resultaten en de onzekerheid daarin te zien.



Conclusie

Het optimale ontwerp voor de parabolische trogspiegel (8,0% rendement) bleek degene te zijn met een mat zwarte koperen buis, gevuld met slaolie met een doorzichtig perspex “dakje” ter isolatie. Dit resultaat is als volgt te verklaren:

Door de draaibare spiegelbak valt het licht zo goed mogelijk op de spiegel en wordt het dus ook exacter op de buis weerkaatst. De lage soortelijke warmte van het koper zorgt voor een snelle warmteopname en de matte zwarte verf zorgt voor een minimale weerkaatsing en een maximale absorptie van het licht, wat ook weer een snelle en effectieve opwarming van het medium als gevolg heeft. De slaolie maakt zich geschikt als medium, omdat de lage soortelijke warmte zorgt voor een snelle en effectieve warmteoverdracht. Bovendien heeft olie een hoger kookpunt van water en kan er in olie dus meer energie worden opgeslagen. Tot slot biedt het doorzichtige perspex dakje een goede isolatie, zonder dat het de belichting van de trogspiegel veel beïnvloedt.

Hieronder nogmaals de ideeëntabel (beste resultaat in blauw) en de foto van ons eindontwerp.

Eis	Ideeën				
Veel licht in bak opvangen	Trogspiegelbak draaibaar				
Veel warmte in buis absorberen	Koperen buis	IJzeren buis	Buis mat zwart verven		
Weinig warmte uit buis verliezen	Schuimisolatie op de buis aanbrengen	Gehele spiegelbak afdekken met doorzichtig folie	Doorzichtige buis om metalen buis	Doorzichtig dakje over buis	Dakje over buis: onder reflecterend en boven zwart
Warmteopname medium	Water	Zoutoplossing	Olijfolie	Slaolie	





Uiteindelijke ontwerp

Bovenkant model parabolische trogspiegel:

*32cm * 75,3 cm*

Totale lengte koperen buis:

ong. 80 cm

Hoogte middelpunt buis boven bodem:

6,1 cm

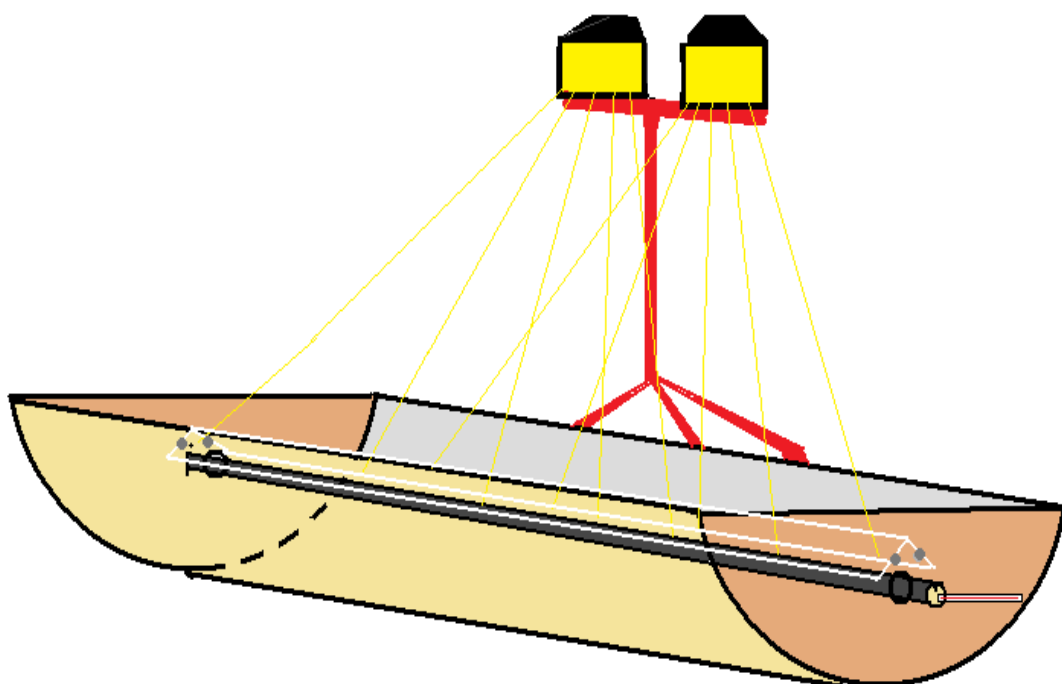
Dakje van perspex:

*2 loodrecht op elkaar gelijkde
stroken van 75 cm bij circa 5 cm.*

Overige materialen worden in
het hoofdstuk Uitvoering genoemd.



Definitieve opstelling van de parabolische trogspiegel.





Discussie \ Evaluatie

Wat betreft het eindproduct zijn we redelijk tevreden. De materialen zijn vrij eenvoudig gebleven, maar het resultaat voldoet toch zoveel mogelijk aan de gestelde eisen. Met meer tijd hadden we nog meer mogelijkheden kunnen uitwerken en testen, waardoor we waarschijnlijk tot een efficiënter eindproduct hadden kunnen komen. Het was vooral jammer dat de meting met een glazen buis rondom de koperen buis niet uitgevoerd kon worden.



Ook op het gebied van de metingen speelde de tijd een belangrijke rol. We zijn namelijk gaandeweg pas mogelijke verbeteringen tegengekomen die bij een volgende keer van pas zouden komen, maar waar we nu geen tijd voor hadden. Zo hadden we misschien meer conclusies uit de resultaten kunnen trekken als we van alle proeven met Coach een grafiek hadden gemaakt. Verder hadden we graag langere proeven gedaan, omdat het ene ontwerp misschien langer de tijd nodig heeft om op gang te komen dan het andere. De beperkte beschikbaarheid van lokalen, de beperkte uren en het beperkte toezicht van een TOA maakte dit echter niet mogelijk.

De verslaglegging was, ondanks overleg met de docent, niet op alle punten even gemakkelijk. Dit was vooral te wijten aan de aard van de proef. Omdat onze praktische opdracht zowel aspecten van het technisch ontwerpen als van een onderzoeksopdracht heeft, was het moeilijk om een balans te vinden in het verslag. Dit was met uitgebreider overleg over de precieze eisen die aan dit verslag zouden worden gesteld misschien makkelijker geweest.

Een ontwerpopdracht houdt nooit echt op, want het kan altijd beter. Het is dan misschien ook leuk als andere leerlingen de komende jaren ook de kans krijgen om met deze spiegel te experimenteren. Als zij met ons ontwerp verder gaan, kunnen we bij een steeds meer rendabel eindproduct komen.



Literatuur

Boeken

- Binas 5^e druk
- Baum, P. 'Tungsten Halogen Lamps', 1998

Websites

- <http://www.zonnekrachtcentrales.nl>
- <http://www.dezonisdetoekomst.nl>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Luminous_efficacy
- <http://www.engineeringtoolbox.com/>
- <http://www.digischool.nl/>
 - <http://moodle.slo.nl/mod/resource/view.php?id=1710>



Bijlagen

Foto's



Eerste en tweede proefdraai.





Boven: Bekijk bij de opdracht. Onder: De meting met een zwartgeverfde koperen buis.





*Meting met de zwarte koperen
buis met een perspex "dakje".*



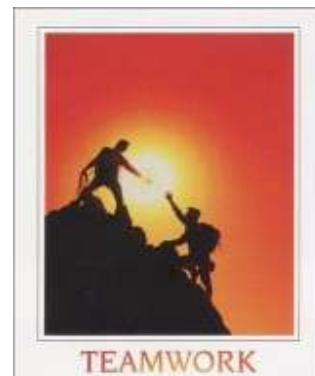


Meting met zwarte pijpisolatie.





Praktische Opdrachten Natuurkunde



Inleiding

In de tweede fase moet je voor het vak natuurkunde een aantal Praktische Opdrachten (PO's) uitvoeren. Het PO mag je uitvoeren in tweetallen. Dit document bevat aanwijzingen voor de voorbereiding, de uitvoering en de verslaglegging van deze PO's. We gaan ook in op de wijze van beoordeling.

Studielast

Per opdracht is de studielast is voor de N1 leerlingen minimaal 10 klokuren per opdracht, voor de N12 leerlingen minimaal 15 klokuren. Dit is inclusief voorbereiding en verslaglegging.

Logboek

In vorige jaren moesten leerlingen een logboek bijhouden. Dit hoeft NIET meer!

Onderwerp, onderzoeksvraag en hypothese

Je moet in eerste instantie twee onderwerpen kiezen. Je kan hierbij gebruik maken van de volgende lijst, maar je mag ook zelf wat verzinnen.

Parachute...	Schansspringen...	Bruggen...
Zeilboot...	Scheepsschroef...	Helikopter...
Vliegtuigvleugel...	Tennisballenkanon...	Luchtwrijving...
Zonnecel...	Pijl en boog...	Sportballen...
Remmen....	Bungee-jump...	Slinger...
Batterijen...	Lampen...	Kooktoestellen...
Waterraket...	Trampolinespringen...	Gitaarsnaren...
Gitaarfretjes...	Geluidsisolatie...	Vallende kegels...
Je favoriete sport...	Hovercraft...	Halfpipe...

De onderwerpen, de onderzoeksvragen en de hypothesen (zie bijlage) lever je in bij je docent op de in de klas afgesproken datum. In overleg met de docent kies je één onderwerp uit en na goedkeuring kan je verdergaan met het *werkplan*.



Werkplan

Je *werkplan* geeft zo gedetailleerd mogelijk aan *wat* je gaat meten en *hoe* je dat gaat doen. Je beschrijft je proefopstelling en de materialen die je daarvoor nodig hebt. Je geeft precies aan wat je wilt gaan meten en hoe. Verder geef je in een grafiek aan hoe je verwacht dat het door jou onderzochte verband eruit zal zien.

Je werkplan (zie bijlage) lever je in bij je docent op de in de klas afgesproken datum. Pas na goedkeuring kan je beginnen met de *uitvoering/metingen*.

Uitvoering/metingen

Je krijgt een aantal lessen (zie de studiewijzer) de gelegenheid om te werken aan je PO. De eerste lessen zal je gebruiken om je opstelling te bouwen en uit te testen met behulp van proefmetingen. Pas als je opstelling is getest begin je met de echte metingen! Noteer je metingen in overzichtelijke tabellen, vergeet niet de grootheden en de eenheden niet te noteren.



Het is ook mogelijk om buiten schooltijd en in tussenuren aan je PO te werken. De ervaring leert dat we dan meer tijd hebben om je te helpen. Je moet dan wel eerst een afspraak maken met de TOA.

Bij veel metingen zal je gebruik maken van de computer in combinatie met het programma COACH. Als je hiervan gebruik wilt maken, is er een korte beschrijving beschikbaar van dit programma. Lees dit goed door voordat je met computermetingen begint. Er is ook een beschrijving beschikbaar voor videometen.

Verslaglegging

Grafieken in het verslag maak je bij voorkeur met behulp van Excel. Op Fronter staat een handleiding hoe dit moet.

Een lastig onderdeel is de 'betrouwbaarheid van de resultaten'. Hierin besluit je meestal met het betrouwbaarheidsinterval van je resultaat. Bijvoorbeeld bij het meten van de gravitatieconstante schrijf je op: $g = 9,7 \pm 0,2 \text{ m/s}^2$.

Je verslag (zie bijlage) lever je in bij je docent op de in de klas afgesproken datum.

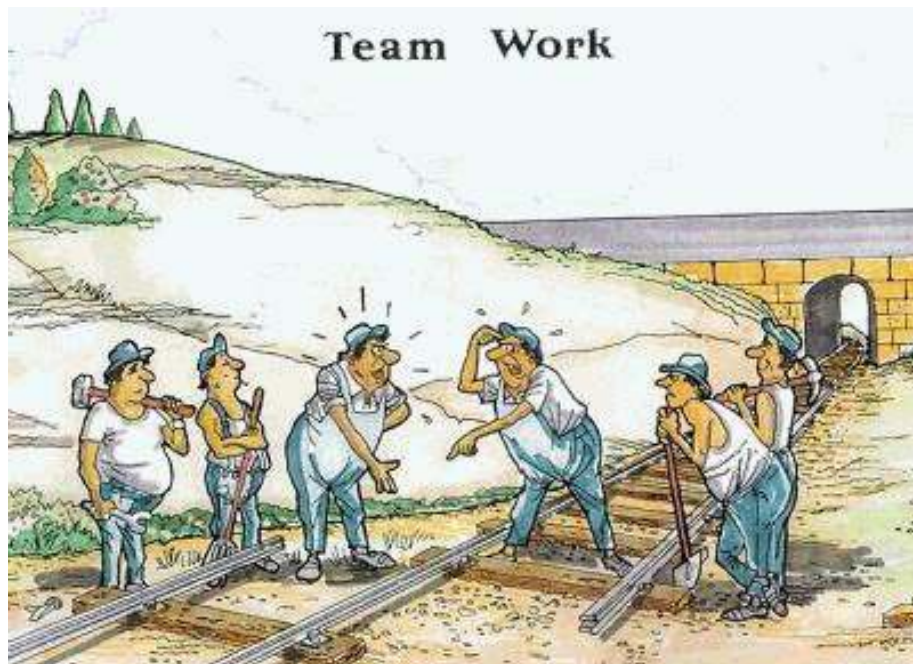


Beoordeling

Bij de beoordeling van het PO hanteren we de criteria die staan in de bijlage. Bestudeer deze goed voordat je wat inlevert. Let op: bij sommige onderdelen kan je negatief scoren als je te laat bent met inleveren. Algemeen geldt dat als je het eindverslag te laat inlevert er een heel punt van je eindcijfer afgaat per dag!



Succes!!!





Bijlage: onderwerp, onderzoeksvraag, hypothese

Je kiest twee onderwerpen en formuleert bij beide onderwerpen een onderzoeksvraag en een hypothese.

Namen:

Klas of cluster:

Onderwerp1:

Onderzoeksvraag1:

Hypothese1:

Onderwerp2:

Onderzoeksvraag2:

Hypothese2:

Toelichting: Bij beide onderwerpen formuleer je een onderzoeksvraag. Bij voorkeur onderzoek je het verband tussen twee grootheden, bijvoorbeeld hoe hangt de luchtweerstand af van de snelheid van een auto. Je onderzoeksvraag ziet er dus als volgt uit:

Hoe hangt af van

Vervolgens moet je voor beide onderzoeksvragen een *hypothese* opstellen. Dat is eigenlijk het antwoord dat je verwacht te gaan vinden op de onderzoeksvraag. Bij het voorbeeld van het onderzoek naar de auto zou de hypothese kunnen zijn: Ik verwacht dat als de snelheid van de auto twee keer zo groot wordt, dat daardoor de luchtweerstand vier keer zo groot wordt. Je hypothese ziet er dus als volgt uit:

Ik verwacht dat als.....keer zo groot wordt, dat daardoorzo groot/klein wordt.

Een hypothese is niet zomaar een gokje maar is altijd ergens op gebaseerd. Dat kan de theorie zijn of een logische redenering soms een vergelijkbaar proefje wat je ooit eens gezien hebt.



Bijlage: werkplan

Het werkplan bevat de volgende onderdelen (onderwerp, onderzoeksvraag en hypothese had je al opgesteld, maar moet je ook opnemen in het werkplan):

Titel

Namen

Klas of cluster

Onderwerp

Onderzoeksvraag

Hypothese

Geef in je werkplan ook aan hoe je verwacht dat de grafiek er uit zou kunnen zien.

Proefopstelling

Je beschrijft hier de proefopstelling. Maak ook een tekening!

Benodigde materialen

Maak een zo gedetailleerd mogelijke lijst van *alle* materialen die je denkt nodig te hebben (in grootte en aantal).

Werkwijze

Geef zo gedetailleerd mogelijk aan wat je wilt gaan meten en hoe je dat wilt gaan doen. Geef ook aan wat je constant houdt. Neem hierbij ook een aantal (lege) tabellen op waarin je je metingen gaat noteren.



Bijlage: Indeling practicumverslagen na, sk & bio

Titel: Gebruik in principe de titel van de practicuminstructie, verzin anders een korte titel die de essentie van de proef beschrijft.

Auteurs: Vermeld de naam van alle leerlingen die aan de proef hebben meegewerkt

Klas of Cluster: Vermeld de klas of het cluster van de leerlingen die aan de proef hebben meegewerkt

Datum: Vermeld de inleverdatum

Samenvatting

Geef een korte samenvatting van de proef en het resultaat. Op basis van de samenvatting besluit iemand om het hele verslag te lezen (of niet).

Onderzoeksvraag

Beschrijf hier de onderzoeksvraag of het doel van de proef. Als er deelvragen zijn dan worden die hier ook vermeld.

Natuurkunde geeft de voorkeur aan een formulering in de trant van

“Wat is het verband tussen A (natuurkundige grootheid) en B (natuurkundige grootheid)”

Theorie

Beschrijf hier duidelijk de theorie behorend bij het practicum. Beschrijf ook de formules die je gaat gebruiken bij het onderdeel 'uitwerking'. Het is de bedoeling dat je uitsluitend die theorie beschrijft die noodzakelijk is voor de proef.

Hypothese

Wat verwacht je op grond van deze theorie als (voorlopig) antwoord op je onderzoeksvraag?

(Niet altijd geeft de theorie een antwoord op je onderzoeksvraag, maar dan zijn er andere gronden waarop je je hypothese baseert b.v. op grond van een andere situatie waarin je het verloop wel kent, het is niet een blinde gok!)

Uitvoering

Materialen: Geef een volledige opsomming van alle materialen die je nodig hebt. Als het om meetinstrumenten gaat geef precies aan welke: grootte, nauwkeurigheid; als het om andere materialen gaat geef de hoeveelheid en concentratie aan.

Werkwijze: Geef een volledige beschrijving van de manier waarop je de proef hebt uitgevoerd. Hierbij hoort ook een beschrijving van de proefopstelling aan de hand van een figuur. Geef daarbij zo mogelijk de gemeten variabelen aan en waar je op gelet hebt tijdens het meten.

Waarnemingen/metingen

Presenteer je waarnemingen zo overzichtelijk mogelijk: metingen in tabelvorm, noteer ook (indien van toepassing) de meetonzekerheden.

Uitwerking

Aan de hand van je tabellen kun je verbanden weergeven in diagramvorm. Teken diagrammen altijd op ruitjes- of grafiekenpapier of maak ze met Excel. Uit de diagrammen (samen met de meetonzekerheid) blijkt hoe je tot de de beantwoording van je onderzoeksvraag komt. Vaak zal je hierbij formules toepassen die je eerder bij het kopje 'theorie' hebt beschreven.

Betrouwbaarheid van de resultaten (voor zover van toepassing)

Hier beschrijf je de invloed van de meetonzekerheden op de betrouwbaarheid van de resultaten. Je geeft een schatting van de onnauwkeurigheid van je resultaten. Natuurkunde verwacht hier altijd een kwantitatieve beschouwing.

Conclusie

Herhaal in het kort wat de proef heeft opgeleverd. In een conclusie horen geen *nieuwe* feiten te staan.

Discussie

Suggesties voor uitbreiding en/of verbetering van de proef en/of wat er misgegaan is.

Literatuur

Vermeld hier verwijzingen naar eventueel gebruikte literatuur.



Bijlage: beoordelingscriteria

A. Informatie- en onderzoeksvaardigheden (opstartfase)		sl	ov	v	g	z
1. Heb je twee mogelijke onderwerpen zelfstandig gekozen en bij allebei de onderzoeksvraag en de hypothese kwantitatief geformuleerd en deze onderzoeksvoorstellen op tijd ingeleverd?	-1 ...	0	1	2	3	4
2. Heb je een deugdelijk werkplan ingeleverd (netjes getypt) en aangegeven wat en hoe je gaat meten en wat je constant houdt? Heb je een heldere tekening gemaakt van je proefopstelling?		0	1	2	3	4
3. Heb je aangegeven hoe je verwacht dat de grafiek (netjes!) er uit zou kunnen zien en kun je dit motiveren...? (Stijgend/dalend... recht/krom...)		0	1	2	3	4
4. Heb je in goede samenwerking en in het juiste tempo (!) het onderzoek in voldoende mate zelfstandig uitgevoerd? Ben je de afspraken steeds nagekomen en was je steeds op tijd met inleveren van gevraagde documenten?	-1 ...	0	1	2	3	4

B. Algemene vaardigheden (verslag)						
1. Is het verslag netjes getypt zonder kromme zinnen en taalfouten? Hoe is de layout? Heb je zinvolle illustraties gebruikt en gezorgd voor een pakkende voorkant?		0	1	2	3	4
2. Hoe is de kwaliteit van de "samenvatting" en "conclusie"?		0	1	2	3	4
3. Heb je je gehouden aan de indeling voor het verslag zoals aangegeven in de bijlage?		0	1	2	3	4



C. Vakinhoudelijke vaardigheden (in verslag)					
1. Heb je de onderzoeksvraag en de hypothese helder en scherp geformuleerd?	0	1	2	3	4
2. Heb je in het verslag de theoretische achtergronden helder belicht en op grond van de theorie de hypothese afgeleid?	0	1	2	3	4
3. Stijgt het theoretisch niveau uit boven de stof van 5 vwo?	0	1	2	3	4
4. Heb je een compleet overzicht van alle materialen gegeven en een heldere tekening van de proefopstelling gemaakt?	0	1	2	3	4
5. Heb je de werkwijze helder beschreven, zodat duidelijk is hoe de proef werd uitgevoerd?	0	1	2	3	4
6. Heb je voldoende meetwaarden gevonden met de juiste spreiding en nauwkeurigheid en in goede tabellen verwerkt?	0	1	2	3	4
7. Heb je de metingen op correcte wijze in heldere grafieken (geen scheurlijnen) verwerkt?	0	1	2	3	4
8. Heb je inzicht getoond bij het bij het verwerken van de meetwaarden en (bijvoorbeeld met Excel) goede extra grafieken gemaakt, bijv. met behulp van een "coördinatentransformatie"?	0	1	2	3	4
9. Heb je de onderzoeksvraag beantwoord en een formule kunnen opstellen voor het gezochte verband? Heb je de hypothese becommentarieerd?	0	1	2	3	4
10. Heb je de invloed van de meetonzekerheden op de betrouwbaarheid van de resultaten beoordeeld? Heb je een deugdelijke schatting gegeven van de onnauwkeurigheid van je resultaten?	0	1	2	3	4
11. Hoe is de kwaliteit van de "discussie"? Heb je suggesties voor uitbreiding en/of verbetering van de proef? Heb je aangegeven wat er is misgegaan en wat je van je fouten geleerd hebt?	0	1	2	3	4
12. Wat was de praktische moeilijkheidsgraad van de proef? Heb je instanties buiten de school bij je onderzoek betrokken? (Bewijzen met foto's, mailtjes..)	0	1	2	3	4
13. Hoe is de kwaliteit van de literatuurlijst? Heb je bij de theorie verwezen naar de literatuur? Heb je nagegaan of het gevonden resultaat in de literatuur vermeld wordt?	0	1	2	3	4