



MASTER THESIS

Het ontwerpproces en de implementatie van zelfstandig uitvoerbare practica in het voortgezet onderwijs

Annelotte Bex

FACULTY OF BEHAVIOURAL, MANAGEMENT AND SOCIAL SCIENCES
Master Educatie en Communicatie in de Bètawetenschappen

EXAMINATION COMMITTEE
dr. ir. H.J. Pol
dr. E. van den Berg

24-03-2022

UNIVERSITY OF TWENTE.

Het practicum uit de doos

Van ontwerpproces tot implementatie in de lespraktijk

Onderzoek van Onderwijs (10 EC)
Natuurkunde

24 maart 2022

Annelotte Bex
s1741489

Commissie:

dr. ir. H.J. Pol
dr. E. van den Berg

Master Educatie en Communicatie in de Bètawetenschappen
Faculty of Behavioural, Management and Social sciences
University of Twente
P.O. Box 217
7500 AE Enschede
The Netherlands

Voorwoord

Met dit onderzoek rond ik de lerarenopleiding af tot docent natuurkunde. Een interessant jaar in vele opzichten. Ik heb genoten van de uren op het Twents Carmel College waar ik een jaar lang binnen een hechte groep docenten ben opgenomen en veel heb mogen leren. De gehele bètasectie heeft hieraan bijgedragen en ik wil hen dan ook bedanken voor deze mooie en leerzame tijd, met in het bijzonder mijn begeleiders Frits Rabbering en Samuel Young. Zij hebben mij een jaar lang elk op hun eigen manier geholpen en hebben mij steeds weer weten uit te dagen om buiten mijn comfortzone te stappen waardoor ik met veel plezier kennis heb mogen maken met het vak. Daarnaast hebben zij mij kennis laten maken met de verschillende vormen van practica in de klas, van de standaard klassikale practica tot practica die thuis buiten in de sneeuw werden uitgevoerd, en kwamen zij met het idee van het 'practicum uit de doos' waaruit dit onderzoek is voortgekomen.

Verder wil ik mijn begeleiders vanuit de Universiteit Twente, Henk Pol en Ed van den Berg, bedanken voor hun begeleiding en enthousiasme. De brainstormsessies aan het begin van het onderzoek en de uitgebreide feedback op de verschillende onderdelen van het verslag waren erg nuttig en hebben mij geholpen tot het eindproduct te komen dat hier nu voor u ligt. Naast mijn begeleiders wil ik ook Ruzica Simic-Ristanovic, Jeroen Grijzen, Willem Wieriks en Ron Doub bedanken voor de tijd die zij hebben genomen om hun ervaringen met practica met mij te delen.

Verder kan ik mijn vrienden en familie natuurlijk niet vergeten. Zij hebben in meer en mindere mate alle fases van dit onderzoek meegekregen en hebben geduldig geluisterd naar al mijn ideeën, ervaringen en frustraties. Tot slot wil ik u als lezer bedanken voor het lezen van dit verslag. Ik hoop dat het lezen nieuwe inzichten oplevert over het gebruik van practica in het onderwijs en hoop u te motiveren eens te experimenteren met een nieuwe practicumvorm.

Samenvatting

In het voortgezet onderwijs hebben practica binnen het vakgebied natuurkunde een centrale rol. Practica worden ingezet ter ondersteuning van de theorie en als oefening voor het leren onderzoeken. Het uitvoeren van practica in de les neemt echter veel tijd in beslag, waardoor minder lestijd overblijft voor onderdelen als het geven van instructie, begeleiding en feedback. Door practica een plaats te geven buiten de klassikale lessen, kan de tijd in de les anders worden besteed en zou dit kunnen bijdragen aan een verhoging van de effectieve lestijd.

Practica vereisen doorgaans ondersteuning van een docent en/of technisch onderwijsassistent en kunnen hierdoor niet zonder toezicht worden uitgevoerd. Het is dan ook van belang om in kaart te brengen aan welke eisen een practicum moet voldoen om ingezet te kunnen worden buiten de klassikale les. Het doel van dit onderzoek is het ontwerpen van een practicum dat voldoet aan deze eisen. In samenwerking met het Twents Carmel College in Oldenzaal wordt het inzetten van een zelfstandig practicum onderzocht. Hierbij wordt getracht dit aan te laten sluiten op de veranderingen die plaatsvinden binnen de school. Het Twents Carmel College bevindt zich namelijk in de overgang naar een nieuw onderwijssysteem, Flexibilisering en Maatwerk, waarbij leerlingen meer keuzevrijheid krijgen om hun eigen rooster samen te stellen. Het verplaatsen van practica naar momenten buiten de klassikale les kan binnen dit nieuwe onderwijssysteem van grote meerwaarde zijn.

Het onderzoek bestaat uit twee delen met elk een eigen doelstelling. Het doel van het eerste deel van dit onderzoek is het bepalen van de eisen waaraan een zelfstandig inzetbaar practicum moet voldoen om ingezet te kunnen worden in het voortgezet onderwijs en het doel van het tweede deel van dit onderzoek is het schrijven van een aanbeveling voor het practicumbeleid binnen de sectie natuurkunde op het Twents Carmel College locatie Lyceumstraat passend bij het nieuwe onderwijssysteem Flexibilisering en Maatwerk.

Het practicum uit de doos blijkt een geschikte practicumvorm te zijn die gebruikt kan worden in het voortgezet onderwijs ter vervanging of aanvulling van het bestaande practicumaanbod. Het practicum uit de doos kan worden afgestemd op het gewenste practicumdoel, is flexibel inzetbaar en geeft voldoende inzicht in het begrip en de begripsontwikkeling van de leerling. Het vermoeden bestaat dat het practicum uit de doos bijdraagt aan de begripsontwikkeling van de leerling, maar er is nog onvoldoende bewijs om dit te ondersteunen. Een vervolgonderzoek is nodig om dit vermoeden te bevestigen.

Aanbevolen wordt om op het Twents Carmel College een pilot te draaien met het gebruik van vak-specifieke practicumuren en TOA-uren waarbij zelfstandige practica, zoals het practicum uit de doos, ingezet kunnen worden. Door gebruik te maken van zelfstandige practica zullen leerlingen meer op individuele basis bezig zijn met een practicum waardoor de technisch onderwijsassistent zich meer kan focussen op het houden van overzicht en het bieden van individuele ondersteuning en begeleiding aan leerlingen die hier behoefte aan hebben. Toezicht, kennis en begrip van het practicum en de bijbehorende gevaren blijven vereist, een technisch onderwijsassistent zal daarom vrijwel altijd in de ruimte aanwezig moeten zijn wanneer leerlingen bezig zijn met een practicum, dit is onafhankelijk van de vorm van het practicum of het type lesuur waarin het practicum wordt uitgevoerd.

Inhoudsopgave

Voorwoord	I
Samenvatting	II
1 Inleiding	1
1.1 Context	1
1.2 Onderzoeksvragen	1
2 Theoretisch kader	2
2.1 Practicumonderwijs	2
2.2 Practicum uit de doos	4
2.3 Begripsontwikkeling	7
2.3.1 Concept-cartoon	8
2.3.2 Conceptvragen	9
2.4 Materie en warmte	9
2.4.1 Leerdoelen	9
2.4.2 Misconcepten	10
3 Methode	11
3.1 Dataverzameling	11
3.1.1 Procedure	11
3.1.2 Respondenten	12
3.2 Ontwerpproces	13
3.2.1 Practicum doelstelling	13
3.2.2 Plan van eisen	14
3.2.3 Practicum ontwerp	14
3.2.4 Practicum uitvoering	15
3.3 Implementatie	16
3.3.1 Flexibilisering en Maatwerk	16
4 Resultaten	17
4.1 Practicum uit de doos	17
4.1.1 Practicum ontwerp	17
4.1.2 Practicum uitvoering	18
4.1.3 Reacties leerlingen	19
4.1.4 Conceptvragen	20
4.1.5 Werkbladen	22
4.1.6 Checklist practicum uit de doos	23
4.2 Implementatie	24
4.2.1 Flexibilisering en Maatwerk	24
4.2.2 Practicumuren en TOA-uren	24
4.2.3 Practicum uit de doos	25
5 Discussie	26
5.1 Practicum ontwerp	26
5.2 Practicum uitvoering	27
5.3 Ingeleverd leerlingmateriaal	30
5.4 Implementatie	31
6 Conclusie	33
6.1 Het practicum uit de doos	33
6.2 Practicumbeleid Twents Carmel College	34
7 Literatuur	35

Bijlage A	Leerdoelen en misconcepten	37
Bijlage B	Gesprekken met TOA's en docenten	39
B.1	Practica op het Montessori College Nijmegen	39
B.2	Practica op het Etty Hillesum Lyceum Deventer	41
B.3	Practica op het Twents Carmel College Oldenzaal	42
Bijlage C	Berichtgeving ouders	45
Bijlage D	Practicumhandleiding	46
Bijlage E	Werkblad	48
Bijlage F	Selectie conceptvragen	56
Bijlage G	Conceptvragen	60
Bijlage H	Getting Practical Fromulier	61
Bijlage I	Practicumopstellingen	62
Bijlage J	Werkblad uitwerkingen	63
Bijlage K	Checklist practicum uit de doos	69
K.1	Inge vulde checklist practicum uit de doos	71
Bijlage L	Implementatie	73
L.1	Flexibilisering en Maatwerk	73
L.1.1	Clusteruren en keuze-uren	73
L.1.2	Keuzevrijheid voor de leerling	74
L.1.3	Het takenpakket van de docent	75
L.1.4	Invulling van keuze-uren	75
L.2	Practicumuren en TOA-uren	77
L.2.1	Practicum uit de doos	78

1 Inleiding

In deze inleiding wordt in paragraaf 1.1 de context van het onderzoek beschreven en worden in paragraaf 1.2 de onderzoeksvragen geformuleerd.

1.1 Context

In het voortgezet onderwijs hebben practica binnen het vakgebied natuurkunde een centrale rol. Practica worden ingezet ter ondersteuning van de theorie en als oefening voor het leren onderzoeken. Het uitvoeren van practica in de les neemt echter veel tijd in beslag, waardoor minder lestijd overblijft voor onderdelen als het geven van instructie, begeleiding en feedback. Door practica een plaats te geven buiten de klassikale lessen, kan de tijd in de les anders worden besteed en zou dit kunnen bijdragen aan een verhoging van de effectieve lestijd.

Practica vereisen doorgaans ondersteuning van een docent en/of technisch onderwijsassistent (TOA) en kunnen hierdoor niet zonder toezicht worden uitgevoerd. Het is dan ook van belang om in kaart te brengen aan welke eisen een practicum moet voldoen om ingezet te kunnen worden buiten de klassikale les. Het uiteindelijke doel van dit onderzoek is het ontwerpen van een practicum dat voldoet aan deze eisen. In het ideale geval kan dit practicum worden bewaard in een doos, zodat dit 'practicum uit de doos' op elk gewenst tijdstip door een leerling kan worden opgehaald en uitgevoerd.

In samenwerking met het Twents Carmel College (TCC) in Oldenzaal wordt het inzetten van het practicum uit de doos onderzocht, waarbij getracht wordt dit aan te laten sluiten op de veranderingen die plaatsvinden binnen de school. Het TCC bevindt zich in de overgang naar een nieuw onderwijssysteem, Flexibilisering en Maatwerk (F&M), waarbij leerlingen meer keuzevrijheid krijgen om hun eigen rooster samen te stellen. Om voldoende keuzevrijheid aan te bieden neemt de vaste contacttijd van een docent met zijn klas af, waardoor het belangrijk is dat deze klassikale les efficiënt kan verlopen. Tegelijkertijd ontstaan er buiten de vaste klassikale lessen extra mogelijkheden om practica aan te bieden aan leerlingen die hier behoefte aan hebben. Het verplaatsen van practica naar momenten buiten de klassikale les kan hierdoor van grote meerwaarde zijn.

Het onderzoek bestaat uit twee delen met elk een eigen doelstelling. Het doel van het eerste deel van dit onderzoek is het bepalen van de eisen waaraan een zelfstandig inzetbaar practicum, het practicum uit de doos, moet voldoen om ingezet te kunnen worden in het voortgezet onderwijs, met als subdoel het ontwerpen en evalueren van een practicum uit de doos voor natuurkunde leerlingen uit het vierde leerjaar van de havo. Het doel van het tweede deel van dit onderzoek is het schrijven van een aanbeveling voor het practicumbeleid binnen de sectie natuurkunde op het Twents Carmel College locatie Lyceumstraat passend bij het nieuwe onderwijssysteem Flexibilisering en Maatwerk, met als subdoel het inventariseren van de veranderingen binnen het natuurkundeonderwijs voor leerlingen en docenten als gevolg van dit nieuwe onderwijssysteem.

1.2 Onderzoeksvragen

Om de in paragraaf 1.1 beschreven doelen te behalen, zijn een aantal onderzoeksvragen geformuleerd. Met dit onderzoek wordt geprobeerd de volgende vragen te beantwoorden:

1. Aan welke eisen moet een zelfstandig uitvoerbaar practicum voldoen?
2. Hoe kunnen de eisen voor een zelfstandig uitvoerbaar practicum worden vertaald naar het ontwerp van een practicum uit de doos?
3. Draagt het ontworpen practicum uit de doos bij aan de begripsontwikkeling van de leerling?
4. Verkrijgt de docent via het ingeleverde werk voldoende zicht op het begrip en de begripsontwikkeling van de leerling?
5. Hoe kunnen practica, met in het bijzonder het practicum uit de doos, binnen het natuurkundeonderwijs op het Twents Carmel College worden ingezet?

2 Theoretisch kader

In dit hoofdstuk wordt toegelicht wat de belangrijkste begrippen zijn binnen het onderzoek en hoe deze kunnen worden gedefinieerd of beschreven in combinatie met resultaten van eerdere relevante onderzoeken. Gestart wordt met een beschrijving van de plaats en functie van practica in het voortgezet onderwijs. Vervolgens wordt in meer detail gekeken naar aspecten die van belang zijn specifiek voor het ontwerp en de uitvoering van het practicum uit de doos. Dit wordt gevolgd door een paragraaf waarin gefocust wordt op de begripsontwikkeling. Tot slot wordt het onderwerp toegelicht dat centraal staat binnen het practicum uit de doos dat wordt ontworpen in het kader van dit onderzoek.

2.1 Practicumonderwijs

Het practicumonderwijs heeft een centrale rol binnen de bètawetenschappen in het voortgezet onderwijs, zo ook binnen het vakgebied natuurkunde. De overgrote meerderheid van docenten binnen de bètawetenschappen omschrijven practica als een onmisbaar onderdeel van het curriculum. Practica zouden veel leervoordelen opleveren en worden daarom al decennialang ingezet binnen het natuurkundeonderwijs (Tobin, 1990; Hodson, 1993; Hofstein & Lunetta, 2004). Er wordt over practica gesproken als een belangrijk medium voor het verbeteren van de werkhouding, het wekken van interesse en het motiveren van leerlingen voor het leren van de bètavakken (Hofstein & Lunetta, 2004; Çimer, 2007). Verder geven Hofstein en Lunetta (2004) aan dat practica het potentieel hebben om bij te dragen aan de ontwikkeling van sociale vaardigheden, een positieve houding tegenover de wetenschap en cognitieve groei.

Practica komen voor in veel verschillende vormen, uiteenlopend van bevestigend onderzoek van wetenschappelijke inhoud, zoals de theorie en concepten die in de les worden behandeld, tot het uitvoeren van open onderzoek (Hodson, 1993; Shepardson, 1997). Andere elementen waarmee gevarieerd wordt bij het gebruik van practica zijn de beoogde leerdoelen, groepsgrootte, tijdsduur, mate van instructie, etc. Zo worden practica zowel individueel als in groepen uitgevoerd binnen en buiten de klassikale les en is sinds de start van de COVID-19 pandemie ook het thuis uitvoeren van practica toegenomen. Practica komen dus voor in veel verschillende vormen en maten, maar berusten allemaal op de gedachte dat het uitvoeren van het practicum bijdraagt aan het bevorderen van het leerproces.

Hofstein en Lunetta (2004) stellen dat practica effectief zijn in het bevorderen van intellectuele ontwikkeling en onderzoeks- en probleemoplossende vaardigheden. Daarnaast stellen zij dat practica kunnen helpen bij de ontwikkeling van observatie- en manipulatieve vaardigheden en bij het begrijpen van wetenschappelijke concepten, mits de practica goed worden ingezet. In de loop van de jaren zijn er vanuit de onderzoekswereld echter ook steeds meer vraagtekens gezet bij de effectiviteit en de rol van practica (Bates, 1978; Hofstein, 1982; Hodson, 1993; Hofstein & Lunetta, 2004; van den Berg, 2013). Zo verscheen er al meer dan 40 jaar geleden een review waarin werd geconcludeerd dat er geen bewijs is dat practica bijdragen aan betere conceptuele vaardigheden dan wel procesvaardigheden (Bates, 1978).

Leerdoelen voor het practicumonderwijs worden vaak niet behaald en veel practica blijken ineffectief, terwijl ze erg prijzig zijn in termen van beschikbare faciliteiten en tijd van leerlingen en docenten (Hofstein & Lunetta, 2004; van den Berg, 2013; Kortland & Mooldijk, 2019). Toch zijn practica voor de bovenbouw havo en vwo een verplicht onderdeel. Onderzoeken is een eindterm in het vaardigheden domein van het examenprogramma (*Natuurkunde havo syllabus centraal examen 2021*, 2019; *Natuurkunde vwo syllabus centraal examen 2021*, 2019). Om een zelfstandig practicum te ontwikkelen dat effectief kan worden ingezet is het van belang om de practicum leerdoelen nog eens goed te bekijken en uit te zoeken hoe het practicum kan worden vormgegeven zodat het aan de geselecteerde leerdoelen voldoet.

Van den Berg (2013) beschrijft de verschillende doelen waarop de meeste practica zijn gebaseerd en vermeldt daarbij veelvoorkomende aannames die worden gemaakt. Practica worden ingezet met één of meer van de volgende doelen (van den Berg, 2013; Shulman & Tamir, 1973):

1. Het ondersteunen van de theorie en concepten uit de les.
Aanname: het zien en ervaren leidt tot een beter begrip.
2. Het leren onderzoeken (door middel van het formuleren van onderzoeksvragen, het ontwerpen van experimenten, het vertalen van variabelen naar meetbare grootheden, het interpreteren van data en het trekken van conclusies).
Aanname: het uitvoeren van practica bevordert automatisch deze vaardigheden en het vermogen van de leerling om een onderzoek uit te voeren.
3. Het leren uitvoeren van metingen en omgaan met meetinstrumenten.
Aanname: het doen leidt tot beheersing van de taak.
4. Het motiveren van leerlingen.
Aanname: practica zijn motiverend en deze motivatie leidt tot betere resultaten.
5. Het waarderen van de experimentele wetenschap.
Aanname: het uitvoeren van practica leidt automatisch tot waardering en begrip van de experimentele wetenschap.

Bovenstaande aannames blijken vaak onterecht (van den Berg, 2013). In veel gevallen vraagt het meer dan alleen de uitvoering van het practicum om het begrip, de onderzoeksvaardigheden en de beheersing van meetinstrumenten te verbeteren, leerlingen te motiveren en waardering te creëren voor de experimentele wetenschap (van den Berg, 2013; Hofstein & Lunetta, 2004).

Volgens van den Berg (2013) kan niet worden verwacht dat elk aspect en elke vaardigheid geoefend kan worden in ieder practicum. Alleen de basisvaardigheden, zoals het gebruik van materialen en het meten en verzamelen van data, komen in vrijwel ieder practicum aan bod. Deze vaardigheden zijn bepalend voor de resultaten die worden verkregen en kunnen daardoor ook beperkend werken. Bij een practicum dat gericht is op het ontwikkelen van onderzoeksvaardigheden mogen deze basisvaardigheden dan ook niet worden vergeten. Volgens Tobin (1990) is zinvol leren met practica alleen mogelijk wanneer leerlingen de kans krijgen om apparatuur en materialen te manipuleren in een omgeving die aansluit bij hun kennis. Het is dan ook van belang dat benodigde vaardigheden voorafgaand aan het practicum juist worden aangeleerd en dat een duidelijk onderscheid wordt gemaakt tussen de verschillende doelstellingen van het practicum.

Het nut van practica wordt vanuit verschillende kanten in twijfel getrokken, waarbij het voornamelijk mis lijkt te gaan bij het juist vormgeven van het practicum overeenkomstig de beoogde leerdoelen. Enkele tekortkomingen van practica en de bijbehorende mogelijke gevolgen zijn:

- Practica bevatten te veel details (Hofstein & Lunetta, 2004).
Gevolg: de overvloed aan details leidt leerlingen af van het hoofddoel van het practicum.
- Leerlingen en docenten hebben vaak een ander beeld van de practicum doelen (Hodson, 1993; Hofstein & Lunetta, 2004).
Gevolg: leerlingen focussen meer op de materialen en apparatuur en herkennen hierdoor niet de conceptuele of procedurele doelen waar de docent op focust.
- Practica nemen de vorm aan van een kookboek recept die leerlingen stap voor stap opvolgen (Hofstein & Lunetta, 2004; van den Berg, 2013; van den Berg, z. j.).
Gevolg: leerlingen zijn meer bezig met het uitvoeren van handelingen dan met het doel van het onderzoek.
- Leerlingen krijgen onvoldoende tijd en mogelijkheden om te reflecteren op hun eigen denken tijdens het uitvoeren van een practicum (Hofstein & Lunetta, 2004).
Gevolg: leerlingen krijgen te weinig ruimte voor conceptvorming waardoor misconcepten blijven bestaan.
- Na het verzamelen van resultaten worden leerlingen onvoldoende aan het denken gezet (Hodson, 1993; Shepardson, 1997).
Gevolg: leerlingen missen de relatie tussen het proces en de inhoud.
- Het uitvoeren van een practicum alleen is onvoldoende. Het practicum dient gecombineerd

te worden met andere leeractiviteiten om het leren te bevorderen, dit gebeurt te weinig (Tobin, 1990; Hofstein & Lunetta, 2004).

Gevolg: het practicum wordt niet volledig benut en draagt hierdoor minder bij aan het leerproces dan in potentie mogelijk is.

- De beoordeling van praktische kennis en vaardigheden van leerlingen en de beoordeling van de doeleinden van het practicum onderzoek worden niet goed uitgevoerd (Hofstein & Lunetta, 2004).

Gevolg: leerlingen zien practica als een onbelangrijk onderdeel van hun leerproces.

Veel van bovenstaande tekortkomingen hebben betrekking op de onvoldoende koppeling tussen de beoogde doelstellingen en de daadwerkelijke uitvoering van het practicum. De opzet van het practicum is direct van invloed op de mate waarin bepaalde leerdoelen wel of niet worden behaald en herkend door leerlingen. Verder valt op dat leerlingen vaak te weinig aan het denken worden gezet bij het uitvoeren van een practicum, terwijl dit een cruciaal onderdeel is van het leerproces. Leerlingen krijgen te weinig kansen om na te denken over hun eigen interpretaties en gedachten over de betekenis van een vraag of waarneming (Gunstone & Champagne, 1990). Het is dan ook belangrijk dat binnen een practicum voldoende gelegenheid wordt gecreëerd om na te denken. Dit nadenken moet echter ook worden afgedwongen, alleen het creëren van gelegenheid is onvoldoende.

Kritisch denken is een essentiële vaardigheid voor het onderzoeken en beoordelen van informatie. Het veronderstelt analytisch denken en een open, onderzoekende houding, wat belangrijk is voor het verwerven van zowel domeinkennis en -vaardigheden als persoonsvorming en burgerschap (SLO, 2021). Bij het uitvoeren van een practicum moeten leerlingen uitgedaagd worden om hun ideeën te toetsen en toe te passen. Practicum activiteiten zouden niet gelimiteerd moeten worden tot het leren van specifieke methoden of technieken, maar leerlingen zouden deze methodes en procedures juist moeten kunnen gebruiken om fenomenen te onderzoeken en problemen op te lossen (Hodson, 1993). Leerlingen moeten gestimuleerd worden zelf controle te nemen over hun leren (Gunstone & Champagne, 1990). Ze moeten gemotiveerd worden om vragen te stellen, hypothesen te bedenken en onderzoeksvragen te formuleren. Naast de handen van leerlingen moeten ook hun hoofden tijdens een practicum worden aangezet om bij te dragen aan het leerproces (Gunstone & Champagne, 1990; van den Berg, 2013). Wanneer leerlingen niet nadenken over hun resultaten, dan is het minder waarschijnlijk dat zij de betekenis van hun resultaten inzien, net als de betekenis van het practicum, waardoor ze de relatie tussen het proces en de inhoud niet meekrijgen (Shepardson, 1997). Afhankelijk van het practicum en de practicum doelen, kunnen kookboekachtige instructies geschikt zijn, zeker wanneer het practicum zonder aanwezigheid van een docent uitgevoerd dient te worden. Het inzetten van deze structuur mag het denkproces van de leerling echter niet afremmen. Er dient gezocht te worden naar een evenwicht tussen het bieden van duidelijkheid in instructie en het bieden van ruimte voor creativiteit, eigen interpretatie en inbreng.

De uitdaging bij het ontwerpen van een practicum, en daarmee ook het ontwerpen van het practicum uit de doos, is dan ook het maken van een juiste koppeling met de beoogde doelstellingen van het practicum en daarbij het voldoende stimuleren van het denkproces van de leerling.

2.2 Practicum uit de doos

Het practicum uit de doos moet zo worden ontworpen dat het aansluit bij de beoogde doelstellingen van het practicum en het denkproces van de leerling voldoende wordt gestimuleerd, ondanks de afwezigheid van de docent. In deze paragraaf wordt beschreven welke aspecten van belang zijn binnen het ontwerpproces van het practicum uit de doos.

Allereerst bekijken we nogmaals de verschillende practicum doelen. Om een practicum, in welke vorm dan ook, effectief in te kunnen zetten, moeten de practicum doelen voorafgaand aan het practicum goed worden geëvalueerd. Voor het practicum uit de doos gelden dezelfde mogelijke practicum doelen als voor het klassieke practicum, deze algemene practicum doelen worden

als volgt samengevat (Shulman & Tamir, 1973; Hodson, 1993; Hofstein & Lunetta, 2004; Çimer, 2007; van den Berg, 2013):

- Het ondersteunen van het begrip van de theorieën en concepten uit de les.
- Het motiveren van leerlingen en het wekken van interesse.
- Het ontwikkelen van praktische en probleemoplossende vaardigheden.
- Het leren uitvoeren van (wetenschappelijk) onderzoek.
- Het begrijpen en waarderen van de experimentele wetenschap.

Hodson (1993) beschrijft twee cruciale stappen bij het ontwikkelen van een practicum, deze gelden ook voor het ontwikkelen van het practicum uit de doos. De eerste stap die hij beschrijft is het formuleren van het doel van het practicum. Dit zijn vaak één of twee doelen uit de lijst met algemene practicum doelen. Vervolgens beschrijft hij het kiezen van een passende leeractiviteit. Wanneer een andere activiteit dan een practicum meer geschikt is voor het beoogde doel, dient hiervoor gekozen te worden. Van den Berg (2013) vult dit aan. Na het kiezen van het practicum of de verzameling practica dienen volgens hem de belangrijkste bijbehorende concepten, onderzoeksvaardigheden en instrument vaardigheden geanalyseerd te worden. Zijn er nieuwe of onvoldoende behandelde vaardigheden vereist voor het uitvoeren van het practicum, dan dienen deze voorafgaand aan het practicum geoefend en getoetst te worden. Verder beschrijft van den Berg (2013) het belang van het maken van een duidelijk onderscheid tussen de verschillende aspecten van het practicum, zowel tijdens de lessen voorafgaand aan als na afloop van het practicum. Voor zowel de conceptuele, procesmatige en materiaalaspecten adviseert hij een aantal doelen en aandachtspunten te formuleren en deze met de leerlingen te bespreken. Anders dan bij het klassieke practicum, kan de docent de practicum doelen tijdens het uitvoeren van het practicum uit de doos niet mondeling toelichten. Ook bij afwezigheid van de docent moeten de practicum doelen daarom duidelijk zijn en aansluiten bij het practicum en de overige leeractiviteiten.

Veel practica worden herhaald of uitgevoerd zonder de keuze van het practicum eerst goed te overwegen. Vaak worden misconcepties genegeerd, wordt gefocust op het bewijs van formules die leerlingen al bereid zijn om aan te nemen en worden materialen gebruikt die de vrijheid in het experimenteren beperken of te ingewikkeld zijn om goed te begrijpen (van den Berg, 2013). In plaats hiervan kan bij een practicum, en het practicum uit de doos, beter gefocust worden op de bestaande misconcepties bij leerlingen waarbij simpele en transparante materialen worden gebruikt met duidelijke resultaten.

Voor het analyseren van de doelstellingen en het selecteren van een geschikt bestaand of nieuw ontwikkeld practicum, kan gebruik gemaakt worden van het groene Getting Practical formulier ("Overzicht praktische activiteiten", z. j.). Dit formulier is ontwikkeld naar aanleiding van de resultaten van een onderzoek naar het gebruik van klassikale practica binnen het voortgezet onderwijs in Engeland, dat bekend staat onder de naam 'Getting Practical' (Millar, 2010).

Voor het stimuleren van het denkproces bij leerlingen en daarmee het ontwikkelen van practicumvaardigheden en onderzoeksvaardigheden, het verankeren van concepten en het ontwikkelen van begrip, is volgens Van den Berg (2013) het heen-en-weer denken tussen de wereld van ideeën en waarnemingen van belang. Leerlingen ervaren een practicum vaak als enkel het manipuleren van materialen, zij zien het gebruik van materialen en apparatuur als een opzichzelfstaand doel, net als het verzamelen van resultaten. De conceptuele en procedurele doelen worden vaak niet herkend (Hofstein & Lunetta, 2004) en worden hierdoor meestal niet bereikt. Een manier om discussies tussen leerlingen te stimuleren en daarmee het heen-en-weer denken op gang te brengen, is het inzetten van concept-cartoons waarin misconcepties en alternatieve uitspraken aan de leerling worden aangereikt (van den Berg & Wal, 2021). Daarnaast stellen Van den Berg en Wal dat concept-cartoons geschikt zijn om leerlingen zelf experimenten te laten ontwerpen voor het bewijzen of ontkrachten van cartoon uitspraken. Het inzetten van concept-cartoons kan bijvoorbeeld gecombineerd worden met het stellen van gerichte vragen die worden

opgenomen in het werkblad van het practicum. Verder kunnen conceptvragen voorafgaand aan het practicum helpen om de leerlingen zich meer bewust te maken van het practicum doel.

Volgens Shepardson (1997) is de rol van de docent in open onderzoek het laten focussen van leerlingen om na te denken over de vragen van het practicum. In bevestigend onderzoek is deze rol meer het benadrukken van het analyseren en generaliseren van het onderzoek. Bij afwezigheid van de docent en/of TOA moet deze ondersteuning worden opgevangen door het beschikbare practicummateriaal, waarbij de invulling uiteen kan lopen tussen geschreven vragen en instructies tot het gebruik van concept-cartoons en conceptvragen. Een andere rol van de docent is het voorzien van leerlingen met feedback en het uitdagen van leerlingen tot zelfreflectie over de uitvoering van het practicum en de eigen ideeën (Hofstein & Lunetta, 2004). Bij een practicum zonder directe begeleiding zal nagedacht moeten worden over een alternatieve aanpak om reflectie bij leerlingen te stimuleren en leerlingen te voorzien van voldoende feedback.

Bij het gebruik van geschreven vragen in het practicummateriaal kunnen verschillende vraagstellingen worden gebruikt. Gesloten vragen zijn vaak meer gericht op het bevestigen van stellingen of het weergeven van waarnemingen en kunnen leerlingen helpen bij het ordenen en aanpassen van resultaten en bestaande (mis)concepties. Open vragen verplichten leerlingen wetenschappelijke concepten of principes te gebruiken om de vraag te beantwoorden, te interpreteren en uit te leggen (Shepardson, 1997). Welke vraagstelling het meest geschikt is, is afhankelijk van het practicum doel. Naast het type vraagstellingen is ook het type onderzoek van belang. Zo gedijt een deel van de leerlingen beter binnen een sterk afgekaderde leeromgeving, die vaak te vinden is binnen bevestigend onderzoek, terwijl een ander deel meer behoefte heeft aan open situaties, open onderzoek (Hofstein & Lunetta, 2004). Ook bij het practicum uit de doos is het van belang dat de docent zich hier bewust van is.

Verder speelt de groepsgrootte een rol wanneer gekeken wordt naar de effectiviteit van een practicum. Groepswerk is vaak ineffectief, meestal voert slechts één leerling het praktische deel uit en noteert een tweede leerling de waarnemingen en resultaten (van den Berg, 2013). Volgens van den Berg (2013) ziet dit er op het oog uit als een actieve samenwerking, maar beide leerlingen zouden meer leren als ze hun taken zouden combineren. Om effectief in een groep te werken hebben leerlingen begeleiding nodig, maar directe begeleiding is niet mogelijk zonder aanwezigheid van een docent. Daarentegen kan het samenwerken in een groep leerlingen ook juist stimuleren om hun ideeën te bespreken en te bediscussiëren waardoor ze samen tot een beter begrip komen. Leerlingen kunnen elkaar op weg helpen, zeker wanneer de ondersteuning vanuit een docent ontbreekt. Leerling-leerling interacties in open onderzoek benadrukken het denkproces van het focussen, verzamelen en delen van informatie en data, en helpen met het samenvatten en het met elkaar in verband brengen van verschillende onderwerpen (Shepardson, 1997). Kleine groepen leerlingen lijken dan ook vaak beter te werken dan grote groepen leerlingen of leerlingen alleen (Hofstein & Lunetta, 2004). Bij het uitvoeren van het practicum uit de doos heeft een groepsgrootte van twee tot drie leerlingen daarom de voorkeur.

In het optimale geval wordt voor elk practicum uit de doos een kort overzicht gemaakt met daarin de practicum doelen, belangrijkste concepten en de vereiste voorkennis en vaardigheden. Dit overzicht wordt aan de voorkant van de doos bevestigd. Wanneer een leerling bepaalde vaardigheden onvoldoende beheerst kan de leerling voorafgaand aan het practicum aan de hand van dit overzicht op de doos een ander practicum uit de doos selecteren om de benodigde vaardigheden te oefenen.

Om de uitvoering van een practicum uit de doos te beoordelen moet worden geïnventariseerd welke informatie de docent terug wil krijgen van de leerlingen. De docent is niet bij het practicum aanwezig en is hierdoor afhankelijk van het ingeleverde werk van de leerling. Bij practica die gericht zijn op conceptuele begripsvorming kan het voldoende zijn om een aantal conceptvragen door leerlingen in te laten vullen en bij een practicum gericht op het ontwikkelen van onderzoeksvaardigheden is het evalueren van het werkblad of verslag vaak voldoende, maar voor het evalueren van lab technieken en meetvaardigheden is meer informatie vereist. Lab technieken en meetvaardigheden zijn lastig te beoordelen wanneer de docent niet aanwezig is bij het practicum. Het kan nuttig zijn om beeldmateriaal in te laten leveren waarop te zien is hoe een bepaalde

handeling door de leerling wordt uitgevoerd.

Tot slot is het van groot belang dat de veiligheid van de leerlingen te allen tijde tijdens het practicum kan worden gewaarborgd. De natuurwetenschappelijke vakken zijn vakken met een verhoogd risico, omdat er wordt gewerkt met en in aanwezigheid van chemicaliën en/of apparatuur. Het toezicht op leerlingen in het vaklokaal draagt het bestuur van de school in de praktijk over aan de betrokken docent en/of TOA. Om te voorkomen dat ongelukken gebeuren, mogen leerlingen uitsluitend een practicum uitvoeren onder deskundig toezicht en onder de verantwoordelijkheid van de docent en/of TOA (*Norm: Begeleiding en toezicht leerlingen*, z. j.). Hoewel de risico's bij practica sterk afhangen van het soort practicum, wordt geadviseerd om één toezichthouder per maximaal 15 leerlingen te hanteren (*Veilig werken binnen natuurwetenschappen*, z. j.). Deze toezichthouder moet over de vereiste vakinhoudelijke kennis en kennis ter attentie van de risico's beschikken. Hiermee wordt het toezicht door een niet (of onvoldoende) gekwalificeerd persoon, of een situatie zonder toezicht, uitgesloten. Practica die overduidelijk op een veilige manier zelfstandig door leerlingen kunnen worden uitgevoerd, zouden ook zonder aanwezigheid van een TOA ingezet kunnen worden. Denk bijvoorbeeld aan het naar huis meenemen van een practicum uit de doos. In dergelijke gevallen moeten de risico's voorafgaand aan het beschikbaar stellen van het practicum goed worden doorgesproken. Is toezicht vereist, dan mag dit practicum niet worden uitgevoerd zonder toezicht.

Samengevat is het voor het ontwerpen van een practicum uit de doos belangrijk dat wordt gestart met het opstellen van de practicum doelen en het analyseren van de belangrijkste concepten, onderzoeksvaardigheden en instrument vaardigheden. Het Getting Practical Formulier kan worden gebruikt voor het analyseren van de koppeling tussen de practicum doelen en het practicum. Vervolgens is het van belang een onderscheid te maken tussen de doelstellingen van het practicum en de benodigde basisvaardigheden. Voorafgaand aan het practicum moeten deze basisvaardigheden juist worden aangeleerd. Verder wordt de voorkeur gegeven aan het focussen op bestaande misconcepties, het gebruik van simpele en transparante materialen met duidelijke resultaten en een groepsgrootte van twee tot drie leerlingen. Daarnaast is het van belang dat het practicum bijdraagt aan de ontwikkeling van de conceptuele en/of procedurele vaardigheden van de leerling, hierbij kan gebruik gemaakt worden van concept-cartoons en conceptvragen. Tot slot moet ook bij het practicum uit de doos de veiligheid van de leerlingen te allen tijde tijdens het practicum kunnen worden gewaarborgd. Ondanks dat het practicum uit de doos zelfstandig uitvoerbaar is, zal in vrijwel alle gevallen een TOA om deze reden toezicht moeten houden.

Door bovenstaande inzichten te combineren met de ervaringen van docenten en TOA's met zelfstandige en klassikale practica, kan een start worden gemaakt met het ontwerpen van het practicum uit de doos, waarbij het heen-en-weer denken bij leerlingen wordt gestimuleerd en begripsontwikkeling kan plaatsvinden zonder aanwezigheid van een docent.

2.3 Begripsontwikkeling

Practica worden vaak ingezet ter ondersteuning van de conceptuele begripsvorming. De betekenis van concepten is immers contextafhankelijk (*Nieuwe natuurkunde, advies-examenprogramma's voor havo en vwo*, 2010). Om ook het practicum uit de doos voor dit doel geschikt te maken, dient de rol van docent in het proces van begripsontwikkeling, tijdens de uitvoering van het practicum, vervangen te worden. In deze paragraaf wordt beschreven hoe het gebruik van concept-cartoons en conceptvragen bij zou kunnen dragen aan de begripsontwikkeling van de leerling.

Onderwijs heeft als doel het ontwikkelen van het denkvermogen van de leerling (Shepardson, 1997). Dit denken kan volgens Shepardson (1997) alleen worden ontwikkeld door leerlingen te betrekken in relevante leeractiviteiten. Activiteiten voor het ondersteunen van conceptvorming, zoals practica, vereisen zorgvuldige integratie met overige leeractiviteiten binnen de klas (van den Berg, 2013). Leerlingen kunnen geholpen worden door de leeromgeving die wordt aangeboden. De aansluiting op leerlingdenkbeelden is hierbij van groot belang. De leerling heeft al meerdere ideeën over een onderwerp of begrip voordat het in de klas wordt behandeld, deze ideeën zijn de preconcepties van de leerling (Kortland & Mooldijk, 2019). Preconcepties kunnen verder worden

uitgewerkt en verstevigd met behulp van een practicum en zo bijdragen aan de begripsvorming, maar kunnen ook worden omgevormd tot misconcepties, of alternatieve concepties, waarbij de theorie misvormd wordt opgeslagen in het hoofd van de leerling (Pathare & Pradhan, 2010; Kortland & Mooldijk, 2019). Misconcepties zijn begripsproblemen die voortkomen uit opgedane ervaringen vanuit de leefomgeving, kennisoverdracht en kennisaanbod.

Het is dan ook van belang dat een practicum aansluit en anticipeert op de verschillende leerlingdenkbeelden over het onderwerp of begrip en de vorming van misconcepties tegengaat, waarbij onjuiste preconcepties of eerder gevormde misconcepties worden weggenomen. Om in te kunnen spelen op de verschillende leerlingdenkbeelden dienen deze in beeld te worden gebracht. Een goede interpretatie van leerlinguitspraken is hierbij van belang. Misinterpretaties moeten worden voorkomen, de docent moet ervoor zorgen dat de leerling begrijpt wat er wordt gevraagd en dat hij zelf ook begrijpt wat de leerling bedoelt (Kortland & Mooldijk, 2019).

Volgens Shepardson (1997) is de rol van de docent in open onderzoek het focussen van leerlingen om na te denken over de vragen van het practicum. In bevestigend onderzoek is deze rol meer het benadrukken van het analyseren en generaliseren van het onderzoek. Wanneer dit goed wordt uitgevoerd stimuleert de docent de leerlingen hiermee tot nadenken. Leerlingen worden gevraagd verder te denken dan enkel het uitvoeren van de practicum handelingen en het noteren van de waarnemingen, ze worden uitgedaagd hun bevindingen te bediscussiëren, te testen en te verklaren. Bij afwezigheid van een docent zal deze rol op een andere manier opgevangen moeten worden, een optie is het gebruik van concept-cartoons en conceptvragen.

2.3.1 Concept-cartoon

Een manier om in de klas een concept bespreekbaar te maken is een concept-cartoon (Keogh et al., 1998; Kortland & Mooldijk, 2019). In een concept-cartoon worden in alledaagse situaties verschillende uitspraken over een concept (grafisch) in beeld gebracht (Reyes-Roncancio, J.D. et al., 2019; Keogh et al., 1998; Keogh & Naylor, 2012). De uitspraken in concept-cartoons zijn geschreven in leerlingentaal en bestaan zowel uit misconcepties als alternatieve uitspraken (Keogh & Naylor, 2012; van den Berg & Wal, 2021). Verder wordt regelmatig een lege tekstballon toegevoegd aan de uitspraken om aan te geven dat er meer ideeën mogelijk zijn dan in de cartoon worden vermeld (Keogh & Naylor, 2012). Naar aanleiding van een concept-cartoon wordt leerlingen gevraagd een standpunt in te nemen of de eigen gedachten over het onderwerp te formuleren. Door middel van discussies over de verschillende uitspraken worden leerlingen gestimuleerd hun ideeën te verwoorden, deze te toetsen aan die van anderen en zo hun beeld over het besproken onderwerp verder te ontwikkelen (Kortland & Mooldijk, 2019).

Een concept-cartoon kan als onderdeel van een practicum worden ingezet, bijvoorbeeld ter introductie of afronding van het onderwerp, maar ook als startpunt om leerlingen zelf experimenten te laten ontwerpen voor het bewijzen of ontkrachten van cartoon uitspraken. Door het gebruik van concept-cartoons wordt een context en doel aangedragen voor het onderzoeken van de situatie, het draagt bij aan het zichtbaar maken van de koppeling tussen het practicum en de bijbehorende leerdoelen (Keogh et al., 1998). Het practicum wordt gekoppeld aan de bestaande ideeën van de leerling, discussies tussen leerlingen worden gestimuleerd en het heen-en-weer denken tussen de waarnemingen en eigen ideeën wordt op gang gebracht (Keogh et al., 1998; van den Berg & Wal, 2021). Ook bij afwezigheid van een docent, kan met behulp van concept-cartoons de discussie tussen leerlingen worden gestimuleerd en worden leerlingen aan het denken gezet.

Voor het samenstellen van een concept-cartoon wordt gestart met het maken van een overzicht van de conceptuele problemen die naar voren komen in het onderwerp. Samen met een inventarisatie van de verschillende leerling uitspraken en (mis)concepties leidt dit tot de verschillende stellingen en/of uitspraken die kunnen worden weergegeven in de concept-cartoon. De stellingen en uitspraken over het onderwerp worden omgeschreven naar korte herkenbare teksten in leerlingentaal en weergegeven in tekstballonnen bij een relevante en duidelijke afbeelding van de situatie.

2.3.2 Conceptvragen

Op een gelijke manier kunnen conceptvragen worden ingezet, eventueel gekoppeld aan een concept-cartoon. Bij het beantwoorden van een conceptvraag worden leerlingen gedwongen na te denken over de situatie en hun antwoord te baseren op hun huidige kennis over het onderwerp. Conceptvragen kunnen worden gebruikt voor het inzichtelijk maken van de begripsontwikkeling en aanwezige (mis)concepties van leerlingen.

Bij het practicum uit de doos is de docent niet bij het practicum aanwezig en is de docent volledig afhankelijk van het ingeleverde practicummateriaal om een inschatting te maken van het begrip en de ontwikkeling van de leerling. Het inzetten van conceptvragen maakt het mogelijk om hier meer informatie over te verzamelen en eventuele veranderingen door het uitvoeren van het practicum zichtbaar te maken. Net als bij het gebruik van concept-cartoons, maken conceptvragen het eenvoudiger om na afloop van het practicum een inschatting te maken van het begrip van de leerling en, met overige leeractiviteiten, in te spelen op aanwezige (mis)concepties (Keogh & Naylor, 2012).

2.4 Materie en warmte

Het practicum uit de doos, dat in het kader van dit onderzoek wordt ontworpen, sluit aan bij het onderwerp 'Materie en warmte' uit het lesboek 'Systematische Natuurkunde' en maakt onderdeel uit van subdomein D1 'Eigenschappen van stoffen en materialen' uit het havo examenprogramma (van den Broeck et al., 2018; *Natuurkunde havo syllabus centraal examen 2021*, 2019). In deze paragraaf worden de bijbehorende leerdoelen en veelvoorkomende misconcepties besproken.

Een natuurkundedocent is gewend om bij gasen snel te schakelen tussen macroscopische eigenschappen en het microscopische model van deeltjes, het heen-en-weer denken tussen verschijnselen en modellen of representaties. Voor leerlingen is dit lastiger. Het omgaan met materie kan worden ingedeeld in drie modellen: het macroscopische waarin gesproken wordt over de fenomenen die kunnen worden waargenomen, het microscopische waarbij het denken in deeltjes en hun interacties centraal staan en het symbolische waar de eigenschappen in formules, de deeltjes in symbolen en de deeltjesinteracties in vergelijkingen worden weergegeven (Kortland & Mooldijk, 2019). De docent is gewend aan het snel heen-en-weer denken tussen deze verschijnselen, modellen en representaties. Leerlingen moeten daarentegen nog leren om met deze drie modellen om te gaan en ze onderling te verbinden. Bij het micro-macro-denken verander je regelmatig van model. Voor de begripsontwikkeling van de leerling is het van belang dat duidelijk wordt aangegeven wanneer dit gebeurt (Kortland & Mooldijk, 2019).

Subdomein D1 Eigenschappen van stoffen en materialen behandelt de fysische eigenschappen van stoffen en materialen met behulp van atomaire en moleculaire modellen waarbij de nadruk wordt gelegd op de materiaaleigenschappen (*Nieuwe natuurkunde, advies-examenprogramma's voor havo en vwo*, 2010). In het adviesrapport voor de vernieuwing van het Natuurkundeonderwijs in Nederland wordt het advies uitgesproken dat leerlingen de eigenschappen van materialen onderzoeken met behulp van practicumexperimenten, het practicum uit de doos zal deel uitmaken van zo'n serie practicumexperimenten.

2.4.1 Leerdoelen

Het practicum uit de doos zal aansluiten op één of meerdere leerdoelen uit subdomein D1, deze leerdoelen worden weergegeven in bijlage A. Een selectie van leerdoelen die bij het ontwerp van het practicum uit de doos wordt meegenomen is (SLO, 2020):

1. Het kunnen uitleggen van het verband tussen de warmtestroom en thermische geleidbaarheid.
2. Het kunnen uitvoeren van eenvoudige berekeningen aan de warmtestroom, minimaal in context van energiebesparing door isolatie.

3. Het concept warmtetransport (geleiding, stroming en straling) kunnen toepassen op een praktische situatie.
4. Het kunnen toepassen en combineren van de formules $Q = mc\Delta T$, $P = Q/t$ en $P = (\lambda A \Delta T)/d$.
5. Het kunnen onderscheiden van de betekenis van de symbolen t , T , Δt en ΔT .
6. Het kunnen beschrijven van temperatuur(veranderingen) van een stof als gevolg van het toe- of afvoeren van warmte.
7. Het kunnen omrekenen van Celsius naar Kelvin en omgekeerd.
8. Materiaaleigenschappen kunnen koppelen aan warmtestroom.

2.4.2 Misconcepten

Een overzicht van mogelijke misconcepties bij leerlingen binnen subdomein D1 wordt weergegeven in bijlage A. Enkele misconcepties die gekoppeld kunnen worden aan bovenstaande leerdoelen zijn (Yeo & Zadnik, 2001; Pathare & Pradhan, 2010; Kortland & Mooldijk, 2019):

- Warmte is proportioneel aan de temperatuur.
- Warmte is geen meetbaar, kwantificeerbaar concept.
- Temperatuur kan worden overgedragen.
- Temperatuur wordt vaak gezien als extensieve grootheid (afhankelijk van de hoeveelheid materie) in plaats van als intensieve grootheid (onafhankelijk van de hoeveelheid materie).
- Warmte is een substantie.
- Waarnemingen van warmte en koude zijn niet gerelateerd aan energieoverdracht.
- Warmte en koude vloeien zoals vloeistoffen.
- Materialen zoals wol hebben het vermogen om dingen op te warmen.
- Δt en ΔT hebben altijd dezelfde betekenis.
- Vermogen en warmtestroom zijn twee verschillende concepten.
- De warmtestroom is onafhankelijk van de keuze van het materiaal

3 Methode

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe het onderzoek zal worden vormgegeven. Het onderzoek is opgebouwd uit twee fases. In de eerste fase ligt de focus op het ontwerpen van een flexibel inzetbaar practicum, practicum uit de doos, waarbij eisen worden bepaald waaraan een zelfstandig practicum moet voldoen en een ontwerpproces wordt doorlopen. In de tweede fase wordt vervolgens gekeken naar de mogelijkheden voor het toepassen van deze practica binnen de sectie natuurkunde op het TCC. In beide fases wordt data verzameld, de wijze waarop data wordt verzameld en wordt omgegaan met persoonsgegevens, wordt beschreven in paragraaf 3.1. Het ontwerpproces van het practicum uit de doos wordt besproken in paragraaf 3.2. En de implementatie van het practicum uit de doos in paragraaf 3.3.

3.1 Dataverzameling

Voor het uitvoeren van het onderzoek wordt nieuwe data verzameld van individuen die optreden als respondenten, geïnterviewden, deelnemers of informanten. De procedure voor het verzamelen van deze data wordt beschreven in 3.1.1 en een omschrijving van de beoogde onderzoekspopulatie wordt gegeven in 3.1.2.

Voorafgaand aan de uitvoering van het onderzoek is de onderzoeksaanpak voorgelegd aan de ethische commissie van de Universiteit Twente. De ethiekaanvraag, request number 210951, is goedgekeurd.

3.1.1 Procedure

Zowel binnen als buiten het TCC wordt data verzameld voor het uitvoeren van dit onderzoek. De verschillende stappen die worden ondernomen om de gewenste data te verzamelen worden beschreven.

Voor het verzamelen van de benodigde data wordt gestart met het voeren van gesprekken met twee natuurkundeleraars van het TCC. Deze gesprekken worden gebruikt voor het inventariseren van de schoolspecifieke eisen voor het ontwerp van het practicum uit de doos. Deze eisen worden gecombineerd met de algemene practicumeisen. Aan de hand van het plan van eisen en een selectie van de onderwerp specifieke leerdoelen wordt vervolgens een practicum ontworpen. Dit practicum wordt geëvalueerd door het observeren van leerlingen tijdens het uitvoeren van het practicum, het na afloop bespreken van het practicum met leerlingen en het analyseren van de ingeleverde werkbladen en conceptvragen. Verder wordt de mate van gegeven instructie bij het zelfstandig practicum vergeleken met de instructie van een meer gesloten en stap voor stap omschreven practicum door dezelfde groep leerlingen te observeren tijdens een praktisch schoolexamen. Alle bevindingen worden na afloop van deze observaties genoteerd. De bevindingen met betrekking tot het inzetten van zelfstandige practica worden vervolgens besproken en geëvalueerd met de TOA's van het TCC, een TOA en een oud-docent natuurkunde van het Montessori College Nijmegen en een docent natuurkunde van het Etty Hillesum Lyceum in Deventer. Verder wordt het Montessori College Nijmegen bezocht, waar practica al meerdere jaren op een vergelijkbare manier worden ingezet. Tot slot vinden twee gesprekken plaats met een lid van de ontwikkelgroep F&M waarbij gekeken wordt naar de mogelijkheden voor het implementeren van zelfstandige practica binnen het TCC.

Er zijn vijf verschillende activiteiten waarbij data wordt verzameld op het TCC. De verschillende activiteiten waarbij data wordt verzameld worden hieronder toegelicht.

Concept test

De leerlingen worden voorafgaand aan het practicum gevraagd een concept test te maken. Dit is een vragenlijst met zes meerkeuzevragen die gaan over het begrip van het onderwerp waar het practicum bij aansluit. De vragen zijn zo opgesteld dat mogelijke misconcepten over het onderwerp naar voren komen. De leerlingen zijn op de hoogte gebracht van het onderzoek en weten waar de vragen voor zullen worden gebruikt.

Observatie practicum

De leerlingen hebben het practicum voorbereid en voeren het practicum op het vooraf afgesproken tijdstip uit. Tijdens het practicum worden de handelingen van de leerlingen geobserveerd die betrekking hebben op de uitvoering van het practicum. Verder worden de uitspraken van leerlingen onderling genoteerd waaruit de denkstappen tijdens het uitvoeren van het practicum zichtbaar worden. Bij een aantal groepen zullen tussentijds vragen worden gesteld om meer zicht te krijgen op deze denkstappen. Na afloop van het practicum worden de leerlingen gevraagd feedback te geven op het practicum, hierbij worden vragen gesteld als: is het practicum duidelijk, komt het practicum overeen met de verwachtingen en wat zijn mogelijke verbeterpunten. Verder is er geen interactie tussen de leerlingen en de observant, leerlingen zijn hier voorafgaand aan het practicum van op de hoogte gebracht.

Analyse ingeleverd materiaal

Na het uitvoeren van het practicum gaan de leerlingen thuis aan de slag met het uitwerken van de bijbehorende practicumvragen. Het ingeleverde werk wordt nagekeken zoals gebruikelijk is bij practica die worden uitgevoerd. Het resultaat hiervan wordt geanalyseerd waarbij geprobeerd wordt een beeld te vormen van de denkstappen en voortgang van de leerlingen. Er wordt getracht te achterhalen of het practicum heeft bijgedragen aan de conceptuele ontwikkeling van de leerling en of de practicum uitwerking dit in voldoende mate weergeeft via het ingeleverde materiaal.

Vergelijking concept test

De leerlingen maken na het uitwerken van het practicum nogmaals de concept test. De resultaten van deze concept test worden vergeleken met de eerder verkregen resultaten. Hieruit zal blijken of het practicum heeft geholpen mogelijke misconcepten weg te nemen of aan te passen.

Interview docenten

Tijdens en na uitvoering van het practicum worden de betrokken docenten gevraagd inhoudelijke feedback te geven. Dit vindt voornamelijk plaats op informele basis. De betrokken docenten zijn hiervan op de hoogte en hebben hiervoor toestemming gegeven.

Voor het onderzoek zullen leerlingen gemiddeld 15 minuten langer bezig zijn met het uitvoeren en plannen van het practicum dan zij bij een practicum gewend zijn. In totaal bedraagt het uitvoeren van het practicum en de bijbehorende taken, zoals het plannen van het practicum en het beantwoorden van de conceptvragen, ongeveer 150 minuten.

3.1.2 Respondenten

Voor het onderzoek wordt data verzameld bij medewerkers en leerlingen van het TCC op de locatie De Thij. De populatie bedraagt 2 docenten, 2 TOA's en 44 leerlingen (34 man en 10 vrouw), waarvan 14 leerlingen nog geen 16 jaar zijn. De overige leerlingen zijn 16 jaar en ouder, waarbij geen leerling ouder is dan 18 jaar. Alle leerlingen die deelnemen aan het onderzoek volgen natuurkunde op het TCC De Thij en bevinden zich in het vierde leerjaar van de havo. De docenten en TOA's die deelnemen aan het onderzoek zijn betrokken bij de klassen van de deelnemende leerlingen. De twee docenten zijn de initiële opdrachtgevers van het onderzoek. Ze zijn als respondent betrokken bij de dataverzameling en houden zich verder buiten de verwerking van het onderzoek.

Voorafgaand aan het onderzoek is contact opgenomen met de directie van het TCC, zij hebben toestemming gegeven voor het uitvoeren van het onderzoek bij de natuurkunde klassen in het vierde leerjaar van de havo. De leerlingen die geselecteerd zijn voor het onderzoek worden aan het begin van het practicum gevraagd toestemming te geven voor het verzamelen van de data. Wanneer geen toestemming wordt gegeven kan de leerling het practicum uitvoeren zonder meegenomen te worden in het onderzoek. Ouders van leerlingen die nog geen 16 jaar zijn worden via een brief vanuit de school over het onderzoek op de hoogte gebracht, deze brief is opgenomen in bijlage C.

De verzamelde data wordt geanonimiseerd voor het wordt opgeslagen en geanalyseerd, met uitzondering van de resultaten van interviews met docenten en TOA's.

3.2 Ontwerpproces

In deze paragraaf wordt beschreven hoe het practicum uit de doos in het kader van dit onderzoek wordt ontworpen en uitgevoerd. Een onderdeel van het ontwerp van het practicum is het ontwerp van een concept-cartoon en de selectie van conceptvragen.

Het practicum wordt ontworpen op basis van een plan van eisen en is gericht op het wegwerken van misconcepten binnen het leerdomein van de leerlingen, in dit geval leerlingen uit de clusters havo 4 natuurkunde van het TCC De Thij. Gestart wordt met het opstellen van de practicum doelen en het analyseren van de belangrijkste concepten, onderzoeksvaardigheden en instrument vaardigheden waarmee het plan van eisen wordt aangevuld. Op basis van het plan van eisen wordt het practicum ontwikkeld, waarna het wordt geanalyseerd met behulp van het Getting Practical Formulier. De benodigde basisvaardigheden worden geanalyseerd, maar worden in tegenstelling tot de aanbeveling niet voorafgaand aan het practicum behandeld. Verder wordt aandacht besteed aan het in kaart brengen van het begrip en denken van leerlingen voor zowel het toetsen van het practicum ontwerp, als het verkrijgen van inzicht in het leerproces van leerlingen wanneer het practicum zonder begeleiding van een docent wordt uitgevoerd. In het kader hiervan wordt een concept-cartoon ontworpen en worden conceptvragen geselecteerd. Als laatste wordt besproken hoe het practicum zal worden uitgevoerd.

3.2.1 Practicum doelstelling

Het doel van het practicum is het bieden van ondersteuning bij de conceptuele begripsvorming binnen subdomein D1 'Eigenschappen van stoffen en materialen'. Het juist hanteren van meet-instrumenten en het gebruik van onderzoeksvaardigheden is hierbij van ondergeschikt belang.

Concepten

De belangrijkste concepten die met het practicum behandeld worden zijn de concepten warmte, temperatuur, soortelijke warmte en warmtestroom. Het doel van het practicum is dan ook het ondersteunen van leerlingen bij de begripsvorming op het gebied van deze concepten.

Vaardigheden

Instrument vaardigheden die van belang zijn voor het uitvoeren van het practicum zijn het juist gebruik van een thermometer, weegschaal en stopwatch. De benodigde onderzoeksvaardigheden zijn het bedenken en vervaardigen van een opstelling, het formuleren van een hypothese, het noteren van de waarnemingen, het omzetten van een tabel naar een grafiek, het aflezen van een grafiek, het gebruik van formules, het analyseren en evalueren van het proces en de resultaten en het formuleren van een conclusie. De instrument vaardigheden zijn basisvaardigheden waarvan verwacht mag worden dat de leerling deze op een voldoende niveau beheerst. Dit is anders bij een deel van de onderzoeksvaardigheden. Het practicum wordt zo ontworpen dat de leerling hierbij ondersteund wordt, er wordt een duidelijke opzet aangedragen.

Leerdoelen

Zoals ook in 2.4.1 is besproken, komen onderstaande leerdoelen in meer en mindere mate terug in het practicum uit de doos. Een deel van deze leerdoelen is afkomstig van de SLO-leerdoelenkaart natuurkunde bovenbouw havo/vwo. De overige leerdoelen zijn opgesteld na overleg met natuurkundeleraars van het TCC zodat het practicum aansluit bij het lesprogramma. De leerdoelen van het practicum zijn:

1. De leerlingen kunnen het concept warmtetransport (geleiding, straling en convectie) toepassen op een praktische situatie.
2. De leerlingen kunnen de formules $Q = mc\Delta T$, $P = Q/t$ en $P = (\lambda A \Delta T)/d$ toepassen en combineren.
3. De leerlingen kunnen de verschillende betekenissen van t , T , Δt en ΔT onderscheiden en gebruiken in eenvoudige berekeningen.

4. De leerlingen kunnen materiaaleigenschappen koppelen aan warmtestroom.
5. De leerlingen kunnen hun ontwerp evalueren op basis van verkregen resultaten.
6. De leerlingen kunnen waarden omrekenen van Celsius naar Kelvin en omgekeerd.

3.2.2 Plan van eisen

De eisen waaraan het ontwerp van het practicum uit de doos moet voldoen kunnen worden onderverdeeld in algemene practicumeisen, school specifieke eisen en eisen specifiek voor een zelfstandig practicum.

Eisen algemeen

- Het practicum is veilig, er is geen kans op letsel bij leerlingen en/of omstanders.
- Het practicummateriaal is duidelijk, na het lezen van het practicummateriaal is het doel en de werkwijze van het practicum helder.
- Het practicum ondersteunt het practicumdoel.
- Het practicum draagt bij aan het behalen van de geselecteerde leerdoelen.
- De conceptuele vaardigheden van de leerling worden met het practicum getoetst.
- De uitvoering van het practicum wordt niet beïnvloed door de beheersing van instrument vaardigheden.

Eisen school specifiek

- De voorbereidingstijd van de TOA bedraagt niet meer dan vijf minuten.
- De opstelling is direct herbruikbaar voor een volgende groep leerlingen.
- Het practicum kan worden uitgevoerd in 40 minuten.
- Er zijn ten minste vier opstellingen beschikbaar.
- Het practicum kan worden uitgevoerd in het leerlingenlab.

Eisen zelfstandig practicum

- Het practicum kan zonder directe begeleiding worden uitgevoerd.
- Alleen basistoezicht is nodig, een TOA kan het practicum op afstand veilig laten verlopen.
- De opstelling kan zelfstandig door leerlingen worden opgeruimd.
- Het materiaal dat wordt ingeleverd geeft de docent voldoende inzicht in de kennis en het begrip van de leerling.
- Het materiaal dat wordt ingeleverd geeft de docent voldoende inzicht in de gemaakte denkstappen van de leerling.

3.2.3 Practicum ontwerp

Het practicum wordt ontworpen aan de hand van het plan van eisen. In het practicum staat de conceptuele begripsvorming van de beschreven concepten centraal en wordt toegewerkt naar het behalen van de geselecteerde leerdoelen.

Het practicum wordt zo ontworpen dat de leerling wordt uitgedaagd een probleem op te lossen, namelijk het isoleren van een bekglas zodat deze het water zo lang mogelijk warm kan houden. De leerling bouwt in het practicum zijn eigen isolatielaag waarbij gekozen kan worden uit verschillende materialen. De leerling test vervolgens deze aangebrachte isolatielaag.

Concept-cartoon

Voor het introduceren van de concepten warmte, temperatuur, soortelijke warmte en warmtestroom wordt een concept-cartoon samengesteld. Het doel van deze concept-cartoon is het op weg helpen van de leerlingen bij het inventariseren van mogelijke methodes voor het isoleren van het bekglas en daarbij het stimuleren van het nadenken over de voor- en nadelen van de verschillende mogelijkheden. De concept-cartoon wordt opgenomen in de practicumhandleiding.

Conceptvragen

Voor het in kaart brengen van de begripsontwikkeling van de leerling worden conceptvragen geselecteerd die zowel voorafgaand als na afloop van het practicum worden beantwoord. Deze conceptvragen zijn specifiek gericht op het in kaart brengen van het begrip en het denken van de leerling. De conceptvragen sluiten aan bij de geselecteerde leerdoelen en bijbehorende misconcepten.

3.2.4 Practicum uitvoering

Het practicum wordt uitgevoerd door leerlingen van de havo 4 clusters natuurkunde van het TCC De Thij. De voorkennis van deze leerlingen, de methode van uitvoering van het practicum en de observaties van het praktisch schoolexamen worden hieronder toegelicht.

Voorkennis leerlingen

De leerlingen maken voorafgaand aan het practicum, als onderdeel van een lessenserie in het teken van subdomein D1, twee andere practica. Bij het eerste practicum wordt gekeken naar warmtestroming en de relatie tussen temperatuur en dichtheid. Bij het tweede practicum wordt het temperatuurverloop van een koude metalen cilinder in water gemeten en wordt hiermee de massa en dichtheid van de cilinder bepaald en daarmee het bijbehorende materiaal. Het practicum uit de doos zal aansluiten op deze practica en de klassikale lessenserie.

De leerlingen maken tijdens de lessenserie opdrachten uit het hoofdstuk 'Materie en warmte' van het lesboek Systematische Natuurkunde (van den Broeck et al., 2018), dit wordt vervolgens getoetst voorafgaand aan het uitvoeren van het practicum. Zeven van de zeventien te behalen punten in de toets sluiten aan bij de geselecteerde leerdoelen 1 tot en met 4 die zijn weergegeven in 3.2.1.

De leerlingen hebben een beperkt aantal uren les en werken de stof voornamelijk zelfstandig door. In het verleden is gebleken dat een deel van de leerlingen dit goed kan, deze leerlingen zullen relatief sterk in de stof staan. Een groot deel van de leerlingen heeft hier echter meer moeite mee en zal naar verwachting zich de stof nauwelijks eigen kunnen maken. Verder hebben de leerlingen bij natuurkunde nog niet eerder zonder begeleiding een practicum uitgevoerd. Bij het practicum ontwerp wordt ervan uitgegaan dat de leerlingen geen tot weinig kennis hebben van de conceptuele begrippen, maar wel in staat zijn de vereiste formules en begrippen op te zoeken in het lesboek Systematische Natuurkunde.

Practicum uitvoering

Het practicum wordt door leerlingen uitgevoerd op een door de leerling ingepland moment op school. De leerling voert het practicum individueel uit of in tweetallen. De leerling kan zich inschrijven voor een moment naar keuze via de link <https://forms.gle/XLpoBU5tb2EUMBWX6>. Zodra het maximumaantal leerlingen op een moment in het rooster is bereikt, verdwijnt het moment uit de opties in het inschrijfformulier om overbezetting te voorkomen.

Bij binnenkomst in de practicumruimte staat een practicumdoos klaar voor de leerlingen met daarin alle materialen die zij nodig hebben om het practicum uit te voeren. Niet alle materialen in de doos zijn nodig, de leerlingen moeten zelf een beargumenteerde keuze maken. Voor het uitvoeren van het practicum staat een tijdslot van 40 minuten. Tijdens het practicum is een TOA of docent aanwezig die de leerling helpt met het opwarmen van het water in een stoof voor in de bekglazen. Alle overige stappen voert de leerling zelfstandig uit.

De verwachting is dat leerlingen goed voorbereid de practicumruimte binnenkomen, maar dat ze nog een aantal vragen hebben over de exacte uitvoering van het practicum. Het is immers de eerste keer dat de leerlingen met dit nieuwe practicumconcept werken. Ook wordt verwacht dat de leerlingen de benodigde instrument vaardigheden, zoals het aflezen van een thermometer, beheersen. Verder is de verwachting dat de opstellingen van de leerlingen aan het begin van de week redelijk van elkaar verschillen, maar dat ze aan het einde van de week steeds meer op elkaar gaan lijken doordat leerlingen aan elkaar doorgeven wat wel en wat niet werkt.

Wanneer leerlingen vastlopen bij het uitvoeren van het practicum worden de eerste groepen die het practicum uitvoeren geholpen en wanneer nodig verder ondersteund. De onderdelen in de practicumhandleiding die onduidelijk blijken te zijn worden vervolgens aangepast. Na afloop van het practicum worden de leerlingen gevraagd wat ze van het practicumconcept vonden en hoe ze het practicum hebben ervaren. De leerlingen werken het practicum thuis uit en leveren het werkblad in bij de docent.

Observatie praktisch schoolexamen

Voor het analyseren van de invloed van de mate van instructie op de houding en het gedrag van leerlingen, wordt de houding en het gedrag van leerlingen geobserveerd bij het uitvoeren van het practicum uit de doos en bij een praktisch schoolexamen (PSE). Deze observaties worden vervolgens met elkaar vergeleken.

Het practicum uit de doos is een practicum waarbij de essentiële stappen duidelijk staan vermeld in het practicummateriaal, maar waarbij de leerling ook enige vrijheid krijgt in de uitvoering van het practicum, zoals het ontwerp van de opstelling en de keuze uit materialen. Het PSE is een meer gesloten en stap voor stap omschreven practicum waarbij de leerlingen individueel het practicum uitvoeren voor een cijfer.

3.3 Implementatie

Het toepassen van een flexibel practicum, practicum uit de doos, kan van meerwaarde zijn binnen het lessysteem wanneer dit aansluit op het onderwijssysteem en de behoeften van zowel leerlingen, docenten als TOA's. Verder moet de school beschikken over de benodigde ruimte, ondersteuning en materialen. In deze fase van het onderzoek wordt gekeken naar de mogelijkheden voor het inzetten van deze practica binnen de natuurkundesectie van het TCC.

3.3.1 Flexibilisering en Maatwerk

Het TCC zal overgaan op een nieuw onderwijsscenario waarbij niet alleen de roosters zullen veranderen, maar ook de indeling van de lessen en de mate van keuzevrijheid voor leerlingen en docenten. Dit nieuwe onderwijsscenario is bekend onder de naam Flexibilisering en Maatwerk (F&M) en zal worden ingevoerd na de meivakantie van het schooljaar 2021-2022. De invoering van F&M zal een grote impact hebben op de leerlingen en medewerkers van het TCC, maar geeft ook mogelijkheden voor het introduceren van nieuwe onderwijsvormen zoals het inzetten van het eerder besproken practicum uit de doos.

Om zicht te krijgen op de veranderingen die plaats zullen vinden binnen het TCC door invoering van F&M en daaruit voortkomend de mogelijkheden die binnen dit nieuwe scenario ontstaan voor het inzetten van het practicum uit de doos, wordt contact opgenomen met de ontwikkelgroep F&M, de vaksectie natuurkunde en de betrokken TOA's. In eerste instantie ligt de focus op het vormen van een concreet beeld over de effecten van F&M op het huidige onderwijsscenario van het TCC. Vervolgens wordt gekeken naar de mogelijkheden om practica, met in het bijzonder het practicum uit de doos, een plaats te geven binnen dit nieuwe scenario, waarbij extra aandacht wordt gegeven aan de indeling en verdeling van lesuren en practicum-uren voor docenten en TOA's. Een aanbeveling wordt geschreven voor het practicumbeleid op het TCC.

4 Resultaten

Aan de hand van de methode zoals beschreven in 3.2 is het zelfstandig practicum ontworpen en uitgevoerd. In dit hoofdstuk worden de observaties bij het practicum uit de doos beschreven en worden de resultaten van de conceptvragen en toetscijfers geanalyseerd. Verder wordt een overzicht gegeven van de aandachtspunten die naar voren kwamen tijdens het uitvoeren van het practicum. Bevindingen afkomstig uit de gesprekken met TOA's en docenten van verschillende scholen, worden niet besproken in dit hoofdstuk. Een overzicht van een deel van deze gesprekken kan worden teruggevonden in bijlage B.

4.1 Practicum uit de doos

44 leerlingen hebben het practicum uitgevoerd verspreid over zes lesdagen. Tien leerlingen hebben geen toestemming gegeven voor het verwerken van hun gegevens of hebben het werkblad met bijbehorend toestemmingsformulier niet ingeleverd. Deze tien leerlingen zijn daarom buiten de verwerking gehouden, de analyse van het practicum is volledig gebaseerd op de uitvoering en het ingeleverde materiaal van 34 leerlingen (26 man en 8 vrouw) die actief toestemming hebben gegeven voor het verwerken van hun gegevens.

4.1.1 Practicum ontwerp

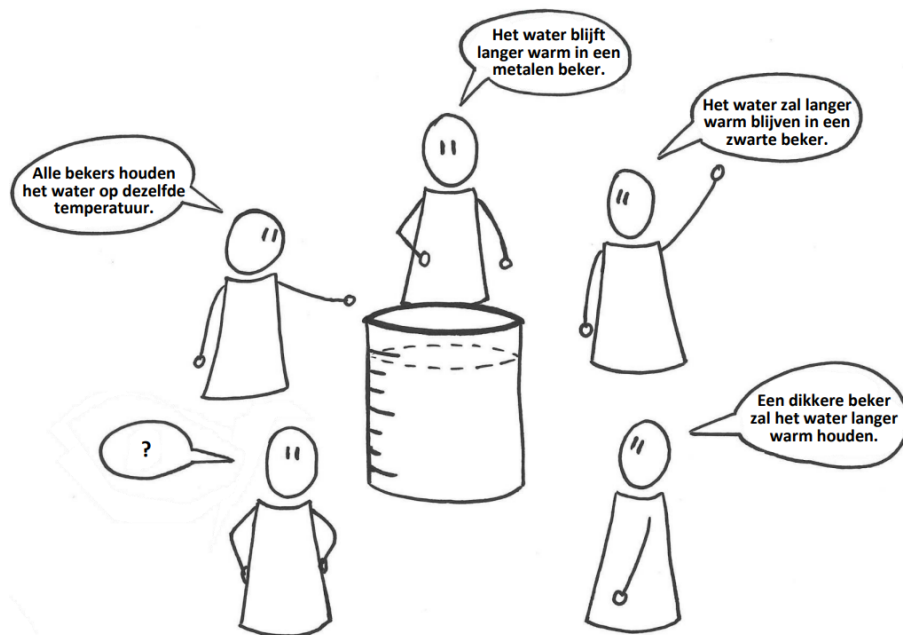
Het ontworpen practicum uit de doos bestaat uit een practicumhandleiding, weergegeven in bijlage D, en een werkblad, weergegeven in bijlage E. In de practicumhandleiding worden het doel en de achtergrond van het practicum beschreven en staan de stappen voor het uitvoeren van het practicum. In het werkblad staan alle vragen die van belang zijn bij de voorbereiding en uitwerking van het practicum.

De practicumhandleiding en het werkblad zorgen samen voor een strakke opzet van het practicum. De practicumopstelling en benodigde materialen staan echter niet vast, de leerling wordt hierdoor gedwongen zelf na te denken. Het practicum bestaat uit vier delen. Het eerste deel maakt de leerling voorafgaand aan het practicum, het tweede deel wordt uitgevoerd op een door de leerling ingepland moment op school en het derde en vierde deel werkt de leerling op een later moment verder uit.

In het practicum zoekt de leerling uit hoe een bekerglas het best kan worden geïsoleerd. De leerling bouwt zijn eigen isolatielaag en gaat deze vervolgens testen. De materialen die de leerling kan gebruiken voor de isolatielaag bevinden zich in de practicum doos. In deze doos bevinden zich materialen die zeer geschikt zijn voor het gebruik als isolatielaag, maar bevinden zich ook materialen die minder geschikt zijn. Het wordt aan de leerling overgelaten om een keuze te maken uit de verzameling practicummaterialen voor het isoleren van het bekerglas. Voor het testen van de isolatielaag kijkt de leerling de verandering van de temperatuur van het water in het bekerglas en berekent de leerling aan de hand van deze temperatuursverandering de warmtestroom door de wand van de beker.

Concept-cartoon

De concept-cartoon die is samengesteld voor het introduceren van de concepten warmte, temperatuur, soortelijke warmte en warmtestroom wordt weergegeven in figuur 1. Het doel van deze concept-cartoon is het op weg helpen van leerlingen bij het inventariseren van de mogelijke opties voor het isoleren van het bekerglas en daarbij het stimuleren van het denkproces, zodat leerlingen een overwogen keuze maken bij het selecteren en aanbrengen van de materialen. De concept-cartoon is opgenomen in de practicumhandleiding, weergegeven in bijlage D.



Figuur 1 – Concept-cartoon: het isoleren van een beker, afgeleid van de concept-cartoon 'Teapot' van Millgate House (Moules et al., 2010).

Conceptvragen

Voorafgaand en na afloop van het practicum uit de doos worden leerlingen gevraagd een zestal conceptvragen te beantwoorden die betrekking hebben op subdomein D1 'Eigenschappen van stoffen en materialen'. Deze conceptvragen zijn afkomstig uit een diagnostische test over warmte en temperatuur en zijn gebaseerd op een onderzoek van Yeo en Zadnik (Yeo & Zadnik, 2001; Stoop, 2013). De conceptvragen, bijbehorende misconcepten en mogelijke verklaringen voor de verschillende antwoordopties worden weergegeven in bijlage F. De conceptvragen zoals deze zijn opgenomen in het werkblad zijn weergegeven in bijlage G.

Getting Practical Formulier

Voor het analyseren van het ontworpen practicum is zowel tijdens als na afloop van het ontwerpproces van het practicum uit de doos een groen Getting Practical Formulier ingevuld. Tijdens het ontwerpproces om te analyseren waar het practicum verbeterd kon worden en na afloop ter controle van het ontworpen practicum als geschikt middel voor het inzetten in de lespraktijk. Het ingevulde Getting Practical Formulier van het uiteindelijke practicum ontwerp is opgenomen in bijlage H.

4.1.2 Practicum uitvoering

Het practicum is zonder problemen zelfstandig uitgevoerd door de leerlingen van havo 4. De helft van de leerlingen had het practicum voorafgaand aan het geplande tijdslot voorbereid, de overige leerlingen hadden alleen de practicumhandleiding doorgelezen of enkel een afspraak gemaakt voor het uitvoeren van het practicum. Leerlingen die het practicum niet hadden voorbereid moesten in het geplande tijdslot ook hun voorbereiding maken, dit bleek mogelijk binnen de 40 minuten. De leerlingen zonder gedegen voorbereiding hadden echter niet de mogelijkheid om tijdens het practicum iets te veranderen aan hun ontwerp en konden een meting dan ook niet opnieuw uitvoeren wanneer dit wel was gewenst.

Opvallend was dat leerlingen zonder een gedegen voorbereiding veel vrijer met de opdracht aan de slag gingen dan leerlingen met een voorbereiding. De leerlingen met een voorbereiding leken deze voorbereiding zo nauwkeurig mogelijk aan te houden en probeerden aanpassingen te voor-

komen, terwijl de leerlingen zonder voorbereiding van alles uit de doos pakten en discussieerden over wat wel of niet handig was om te gebruiken. Dit resulteerde vaak in uitgebreide opstellingen waarbij meerdere lagen van verschillende materialen werden gecombineerd.

Verder viel het op dat er twee verschillende typen leerlingen lijken te bestaan, leerlingen die direct aan de slag gaan met de opdracht en overal materialen vandaan halen die ze willen gebruiken, en leerlingen die onzekerder overkomen, de practicumhandleiding zorgvuldig doorlezen en bij onduidelijke beschrijvingen in deze practicumhandleiding direct een vraag willen stellen om te controleren of het goed gaat.

Algemene vragen die tijdens het practicum vaak werden gesteld hadden betrekking op kleine onderdelen die leerlingen nog niet goed hadden gelezen of op practicumvaardigheden die waren weggezakt, zoals het aflezen van de thermometer of het gebruik van de weegschaal. Onderdelen die bij de eerste groepen leerlingen onduidelijk waren in de practicumhandleiding zijn direct aangepast. Leerlingen uit deze eerste groepen hebben een mondelinge toelichting gekregen om de onduidelijkheid weg te nemen. Dit is gedaan om deze eerste groepen van gelijke informatie te voorzien als de groepen die later een aangepaste practicumhandleiding ontvingen.

In bijlage I zijn de verschillende opstellingen te zien die leerlingen hebben gebouwd tijdens het practicum.

Aandachtspunten

Na het observeren van de uitvoering van het practicum uit de doos zijn een aantal aandachtspunten geformuleerd. Een deel van deze aandachtspunten kan gezien worden als algemeen aandachtspunt voor een practicum uit de doos, het overige deel is specifiek voor de uitvoering van het ontworpen practicum. De aandachtspunten zijn:

- Plaats de doos met materialen op een zichtbare plek in het practicumlokaal, zodat leerlingen hem altijd weten te vinden.
- Controleer de inhoud van de doos met materialen regelmatig op ontbrekende materialen.
- Stel het waterbad in op $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ zodat het water bij het overschenken naar het bekeerglas niet onder de $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ zakt.
- Leg de basisvaardigheden, zoals het aflezen van een thermometer en het gebruik van een weegschaal, voorafgaand aan het practicum nog een keer duidelijk uit, bijvoorbeeld in een klassikale les.
- Leg in de les voorafgaand aan de practica duidelijk uit wat er van de leerlingen wordt verwacht qua inschrijving, uitvoering en uitwerking.

Observatie praktisch schoolexamen

De houding en het gedrag van leerlingen is geobserveerd bij het practicum uit de doos en vergeleken met de houding en het gedrag van leerlingen bij het PSE. De leerlingen die onzeker oogden bij het practicum uit de doos, oogden bij het PSE veel zekerder. Ze namen ruim de tijd om de instructies door te lezen en gingen vervolgens stapsgewijs aan de slag met het practicum. Ze oogden daadkrachtiger dan bij het practicum uit de doos en werkten sneller. Twee van hen waren zelfs als eerste klaar van hun groep, terwijl ze eerder bij het practicum uit de doos meer tijd namen dan gemiddeld en lang aan het twijfelen waren voor ze verder gingen met een volgende stap.

4.1.3 Reacties leerlingen

De leerlingen reageerden overwegend positief op het ontworpen practicum uit de doos. Veel leerlingen geven aan dat ze het practicum leuk vonden om uit te voeren, vooral door de vrijheid die ze kregen om iets te testen dat ze zelf hebben gemaakt. Leerlingen kregen het gevoel dat ze veel zelf mochten bepalen en hebben deze vrijheid gebruikt om meer hun eigen leerproces

vorm te geven. Leerlingen reageren enthousiast op dit stukje vrijheid dat ze ervoeren bij het practicum.

Verder vonden veel leerlingen het fijn om het practicum te kunnen plannen op een moment dat voor hen uitkwam. Een aantal leerlingen spreekt dit echter ook tegen, zij vinden het juist fijner wanneer het practicum gewoon in de les plaatsvindt en ze verder niets hoeven te regelen en/of voor te bereiden.

Reacties van leerlingen waren:

- “Duidelijke handleiding en een logisch practicum, ook zonder de handleiding was het practicum duidelijk en wist je ongeveer wat je moest doen.”
- “Leuk om te doen, zou prima zijn om vaker zo een practicum te maken.”
- “Het was leuk dat we veel zelf mochten kiezen.”
- “Dit lijkt mij een goed idee om vaker te doen.”
- “Het zou fijn zijn om zelf vaker te kunnen kiezen wanneer je een practicum wilt doen, het werkt wel goed.”
- “Het was duidelijk en leuk om te doen.”
- “In de klas is een practicum wel leuker, minder werken.”

4.1.4 Conceptvragen

In dit deel worden de resultaten besproken van de ingevulde conceptvragen voorafgaand aan het practicum en worden deze vergeleken met de resultaten van de ingevulde conceptvragen na afloop van het practicum. Een overzicht van de conceptvragen zoals de leerlingen deze hebben ontvangen is weergegeven in bijlage G. In bijlage F worden de verschillende antwoordopties bij de conceptvragen gekoppeld aan mogelijke misconcepten. De conceptvragen zijn zowel voorafgaand aan als na afloop van het practicum individueel beantwoord door alle deelnemende leerlingen. Een overzicht van de antwoorden per leerling is opgenomen in tabel 1 en een overzicht van de antwoorden gesorteerd per vraag voorafgaand aan het practicum en na afloop van het practicum zijn opgenomen in respectievelijk tabel 2 en 3. In tabel 1 zijn per leerling ook de cijfers van de toets voorafgaand aan het practicum opgenomen. In deze toets stonden dezelfde concepten centraal als bij de geselecteerde conceptvragen, maar werden ook andere concepten getoetst. Zeven van de zeventien te behalen punten hadden betrekking op dezelfde leerdoelen.

Voorafgaand aan het practicum

In veel gevallen was het antwoord dat het vaakst door leerlingen werd gegeven op de conceptvragen ook het juiste antwoord, behalve bij vraag 1 en vraag 4. Voorafgaand aan het practicum gaf 38% van de leerlingen het juiste antwoord bij vraag 1 en bij vraag 4 gaf 24% van de leerlingen het juiste antwoord. Bij vraag 1 was 56% ervan overtuigd dat antwoord B het juiste antwoord moest zijn en bij vraag 4 koos 65% van de leerlingen voor antwoord C. De bijbehorende misconcepten zijn dat temperatuur kan worden overgedragen en dat materialen zoals wol het vermogen hebben om dingen op te warmen.

Bij vraag 2 en vraag 3 waren de antwoorden van de leerlingen meer verspreid. Bij vraag 2 koos 56% van de leerlingen voor het juiste antwoord, antwoord C, en 35% voor antwoord A. Bij vraag 3 koos 41% van de leerlingen voor het juiste antwoord, antwoord D, en 32% voor antwoord A. Mogelijke misconcepten die hieraan ten grondslag liggen zijn dat warmte en koude vloeien als vloeistoffen en dat temperatuur kan worden overgedragen. Het eerste misconception komt zowel bij vraag 2 als vraag 3 naar voren. Verder kwam het tweede misconception ook bij vraag 1 naar voren. Daarnaast hebben vier leerlingen die antwoord A hebben gegeven bij vraag 2, antwoord B gegeven bij vraag 3, dit wekt het vermoeden op het misconception dat warmte en koude verschillend zijn.

Tabel 1 – Antwoorden van leerlingen op de conceptvragen voorafgaand (1.1 t/m 1.6) en na afloop (2.1 t/m 2.6) van het practicum. De cijfers van de toets voorafgaand aan het practicum zijn zichtbaar in de laatste kolom en de incorrect gegeven antwoorden zijn rood gemarkeerd.

Leerling	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	Cijfer pre-toets
1	C	C	A	A	D	B	C	C	D	A	C	B	5,2
2	B	C	D	C	D	B	B	A	B	C	D	B	7,4
3	C	C	A	C	C	B	C	C	D	C	C	B	5,2
4	B	C	D	C	C	C	B	A	D	C	D	B	5,8
5	B	C	A	C	B	B	B	C	D	C	C	B	5,8
6	B	B	A	C	C	B	C	D	D	C	C	B	5,2
7	B	C	A	C	C	B	C	D	D	C	C	B	7,4
8	B	C	B	C	D	B	B	C	A	D	D	B	7,4
9	B	C	A	A	D	B	B	C	A	A	C	B	7,9
10	C	C	B	B	D	B	C	C	A	C	D	B	9,5
11	C	A	D	C	C	B	B	D	B	C	C	B	3,1
12	C	A	B	C	C	B	C	A	D	C	C	B	6,3
13	B	A	D	C	C	B	B	B	D	B	C	B	7,9
14	C	A	B	D	C	B	C	A	B	C	C	B	5,8
15	B	A	B	C	C	B	B	B	D	B	C	B	8,4
16	B	C	D	C	C	C	B	C	D	C	C	B	6,3
17	B	C	B	A	C	B	B	C	B	A	C	C	4,7
18	C	A	B	C	C	B	C	C	D	C	C	B	5,2
19	C	C	A	C	C	B	C	C	D	C	C	B	5,2
20	A	C	A	A	C	B	B	C	A	D	C	B	6,8
21	B	A	C	C	C	B	C	D	D	C	C	B	6,3
22	C	D	D	A	C	B	C	D	D	A	C	B	5,2
23	B	C	D	C	D	B	C	C	D	C	C	B	4,7
24	B	D	D	A	C	B	B	D	D	A	D	B	6,3
25	C	C	D	D	D	B	C	D	D	C	C	B	4,2
26	C	C	D	C	D	B	C	A	D	A	B	B	3,6
27	C	C	D	B	C	B	C	D	D	A	C	B	6,8
28	A	C	B	C	C	B	C	D	B	A	C	B	5,2
29	B	A	A	C	D	B	C	D	B	A	D	B	6,8
30	B	A	D	C	C	B	B	A	D	C	C	B	3,6
31	B	C	A	A	C	B	B	A	D	A	C	B	8,4
32	B	A	D	C	C	B	B	A	D	C	C	B	3,6
33	C	A	A	A	A	A	C	A	A	A	D	B	6,8
34	B	A	D	C	C	B	B	A	D	C	C	B	4,2

Tabel 2 – Overzicht van de antwoorden van leerlingen op de conceptvragen voorafgaand aan het practicum. Het vaakst gekozen antwoord is dik gedrukt en het correcte antwoord is onderstreept. In de laatste twee kolommen zijn de percentages van het vaakst gekozen correcte en incorrecte antwoord zichtbaar.

Vraag	A	B	C	D	Correct	Incorrect
1.1	2	19	<u>13</u>	0	38 %	56 %
1.2	12	1	<u>19</u>	2	56 %	35 %
1.3	11	8	1	<u>14</u>	41 %	32 %
1.4	<u>8</u>	2	22	2	24 %	65 %
1.5	1	1	<u>23</u>	9	68 %	26 %
1.6	1	31	2	0	91 %	6 %

Tabel 3 – Overzicht van de antwoorden van leerlingen op de conceptvragen na afloop aan het practicum. Het vaakst gekozen antwoord is dik gedrukt en het correcte antwoord is onderstreept. In de laatste twee kolommen zijn de percentages van het vaakst gekozen correcte en incorrecte antwoord zichtbaar.

Vraag	A	B	C	D	Correct	Incorrect
2.1	0	16	18	0	53 %	47 %
2.2	10	2	12	10	35 %	29 %
2.3	5	6	0	23	68 %	18 %
2.4	<u>11</u>	2	19	2	32 %	56 %
2.5	0	1	26	7	76 %	21 %
2.6	0	33	1	0	97 %	3 %

Bij vraag 5 en vraag 6 zijn de antwoorden van de leerlingen minder verspreid. Een meerderheid van 68% van de leerlingen koos bij vraag 5 voor het juiste antwoord en bij vraag 6 was dit zelfs 91%. Een misconcept dat bij vraag 5 naar voren komt is dat materialen zoals wol het vermogen hebben om dingen op te warmen, net als bij vraag 4.

Vergelijking voor en na het practicum

Na afloop van het practicum zijn de antwoorden van de leerlingen bij vraag 1, 2 en 4 sterk verdeeld. Bij vraag 1 geeft een kleine meerderheid van 53% van de leerlingen het juiste antwoord C, maar kiest nog steeds 47% van de leerlingen voor antwoord B. Het misconcept dat temperatuur kan worden overgedragen lijkt nog steeds aanwezig te zijn. Bij vraag 4 is het percentage leerlingen dat het juiste antwoord geeft licht gestegen naar 32%, de meeste leerlingen hebben hun antwoord echter niet veranderd. Een mogelijke conclusie die hieruit getrokken kan worden is dat het practicum niet bijdraagt aan het wegnemen van het misconcept dat materialen zoals wol het vermogen hebben om dingen op te warmen. Bij vraag 2 is het aantal leerlingen dat het juiste antwoord kiest afgenomen, opvallend is dat veel leerlingen hun antwoord hebben veranderd naar antwoord D. Deze leerlingen lijken zich bewust te zijn van het gegeven dat koude niet kan overgaan naar het aanrecht, maar koppelen de waarneming nu aan de verkeerde richting van het warmtetransport. Het practicum lijkt hierdoor niet bij te dragen aan het wegnemen van het misconcept dat warmte en koude vloeien als vloeistoffen.

Bij vraag 3 is het aantal leerlingen dat het juiste antwoord geeft sterk toegenomen. Hieruit zou de conclusie getrokken kunnen worden dat het practicum heeft geholpen de misconcepten weg te nemen waarbij leerlingen denken dat temperatuur kan worden overgedragen en warmte en koude vloeien als vloeistoffen. De resultaten van vraag 1 en vraag 2 spreken dit echter tegen. Omdat nul leerlingen bij vraag 6 gekozen hebben voor antwoord A en het aantal leerlingen dat bij vraag 3 voor antwoord A kiest is gehalveerd ten opzichte van de situatie voorafgaand aan het practicum, zou een mogelijke oorzaak voor het verschil in interpretatie over het aanwezige misconcept kunnen zijn dat leerlingen bij vraag 1 niet goed lezen dat er twee bekers zijn met een temperatuur van 40 °C in plaats van één beker en dat het practicum wel degelijk heeft bijgedragen aan het wegnemen van het misconcept dat temperatuur kan worden overgedragen. Deze mogelijke verklaring kan echter niet worden onderbouwd met de verkregen resultaten.

4.1.5 Werkbladen

Na afloop van het practicum hebben de leerlingen deel 3 en 4 van het werkblad gemaakt en dit werkblad vervolgens ingeleverd bij de docent. Een selectie van de antwoorden van leerlingen is opgenomen in bijlage J.

De ingeleverde werkbladen geven inzicht in de gemaakte keuzes van leerlingen bij het kiezen van de isolatiematerialen en de opstelling. Een grote meerderheid van de leerlingen legt uit hoe de verschillende vormen van warmtetransport met een isolatielaag kunnen worden verminderd, waarom er voor bepaalde materialen wordt gekozen en hoe de opstelling bijdraagt aan het verminderen van de verschillende vormen van warmtetransport. Leerlingen maken hierbij vaak een

keuze gebaseerd op alledaagse ervaringen, zoals het gebruik van een thermoskan of de isolatie in huis, en benoemen deze relatie ook in hun toelichting. Een deel van de leerlingen is echter korter van stof waardoor het minder duidelijk wordt hoe zij denken over de verschillende vormen van warmtetransport en waarom er gekozen wordt voor bepaalde materialen als isolatielaag.

De schets van het verwachte (T,t)-diagram is bij vrijwel elke leerling van toegevoegde waarde voor de docent om een inschatting te maken van het begrip van de leerling. Het geeft inzicht in de gedachte van de leerling over de invloed van de isolatielaag, maar ook over de verwachte begin- en eindtemperatuur van het water in beide bekken. De meetresultaten in deel 2 maken het vervolgens mogelijk om een inschatting te maken van de werkwijze van de leerling en uitvoering van het practicum, de instrument vaardigheden en onderzoeksvaardigheden kunnen zo deels worden getoetst.

Wanneer gekeken wordt naar de verwerking van het practicum valt op dat leerlingen de juiste formules weten te vinden, maar veel leerlingen moeite hebben met het uitvoeren van de berekeningen en daardoor vastlopen bij vraag 3.5 en 3.6. Omdat het practicum zonder begeleiding wordt uitgevoerd, heeft de docent de leerling hier niet op weg kunnen helpen. Het zou kunnen zijn dat de leerling bepaalde onderdelen goed begrijpt, maar dit nu niet in het werkblad heeft kunnen laten zien.

Waar de meerderheid van de leerlingen bij de voorbereiding van het practicum, deel 1, uitgebreid te werk ging, zijn de leerlingen bij de conclusie van het practicum, deel 4, veel korter van stof. Deze antwoorden geven op zichzelf niet veel informatie, maar zijn voldoende wanneer ze in de algehele lijn van het werkblad van de leerling worden bekeken.

Het werkblad geeft andere informatie dan de conceptvragen, maar beide geven meer inzicht over het begrip, de denkwijze en de ontwikkeling van de leerling. De conceptvragen focussen op het conceptuele begrip. Het werkblad geeft hier minder concrete informatie over, maar voorziet de docent weer van informatie over de instrument vaardigheden, onderzoeksvaardigheden en gemaakte denkstappen.

Leerdoelen

Wanneer het practicum wordt geëvalueerd op basis van de ingeleverde werkbladen, wordt zichtbaar dat maar een deel van de practicum leerdoelen is behaald. De leerdoelen 1, 5 en 6 zijn behaald, leerlingen gebruiken de verschillende vormen van warmtetransport bij het ontwerpen en evalueren van hun isolatielaag en leerlingen komen met goede suggesties voor verbeteringen van hun ontwerp. Verder rekenen alle leerlingen de temperatuur in graden Celsius juist om naar Kelvin. Leerdoel 4 is gedeeltelijk behaald. Alle leerlingen maken de koppeling tussen materiaaleigenschappen en warmtestroom, waardoor dit leerdoel is behaald, maar het verband dat zij zien is niet altijd correct.

Leerdoel 2 is niet behaald door alle leerlingen. De meeste leerlingen weten de juiste formules op te schrijven, maar het toepassen blijkt bij de meerderheid nog een stap te ver. Ook leerdoel 3 is door de meeste leerlingen niet behaald. Leerlingen blijven het lastig vinden om te bepalen met welke constante ze te maken hebben. Hoe vaker ze dit tegenkomen en hiermee oefenen, hoe meer dit duidelijk zal worden.

4.1.6 Checklist practicum uit de doos

Naar aanleiding van de ervaringen die zijn opgedaan met het ontwerpen, uitvoeren en analyseren van het practicum uit de doos, is een checklist samengesteld als hulpmiddel voor het ontwerpen van een practicum uit de doos. Wanneer een nieuw of bestaand practicum geschikt lijkt om toe te passen als practicum uit de doos kan de checklist worden ingevuld om de hoofdzaken van het practicum vast te stellen en om inzichtelijk te maken waar eventuele verbetering mogelijk is. De checklist is opgenomen in bijlage K. In deze bijlage is ook een ingevuld exemplaar opgenomen van het ontworpen practicum uit de doos.

4.2 Implementatie

In paragraaf 3.3 is beschreven hoe gekeken zal worden naar de mogelijkheden voor het inzetten van practica binnen de sectie natuurkunde van het TCC. In deze paragraaf worden de resultaten van dit onderzoek kort besproken. De focus ligt hierbij op het inventariseren van de veranderingen en mogelijkheden die ontstaan door invoering van het nieuwe onderwijs scenario Flexibilisering en Maatwerk (F&M). Vanuit dit nieuwe scenario wordt gekeken naar het inzetten van practica, met in het bijzonder het practicum uit de doos. Een meer gedetailleerde weergave van de resultaten is opgenomen in bijlage L.

4.2.1 Flexibilisering en Maatwerk

F&M is in hoofdzaak gebaseerd op het vergroten van keuzemogelijkheden voor leerlingen. De invoering van F&M zal plaatsvinden na de meivakantie van het schooljaar 2021-2022 en zal naar verwachting een grote impact hebben op zowel leerlingen als medewerkers. Informatie over F&M is verkregen via twee gesprekken met een lid van de ontwikkelgroep F&M op 30 augustus 2021 en 3 november 2021.

Door de invoering van F&M krijgen leerlingen van het TCC de mogelijkheid om hun lesrooster voor een deel zelf samen te stellen. Leerlingen volgen een vastgesteld rooster met klassikale lesuren en kiezen tweewekelijks hoe zij de overige lesuren indelen.

De clusteruren, klassikale lesuren, zijn bedoeld voor het behandelen van de kern van een vak, in de clusteruren wordt dan ook het basisprogramma aangeboden. Extra ondersteuning of verdieping wordt aangeboden in de keuze-uren. De keuze-uren zijn lesuren die geen deel uitmaken van het standaard lesprogramma. Bij het aanbieden van keuze-uren bepaalt de vaksectie uit welk type keuze-uren de leerlingen bij dit vak kunnen kiezen en hoe vaak een bepaald type keuze-uur in de week wordt aangeboden. Zo kan de vaksectie ervoor kiezen om een aantal keer per week practicumuren als keuze-uur aan te bieden.

4.2.2 Practicumuren en TOA-uren

Om meer ruimte te creëren in de clusteruren kan het bij een vak als natuurkunde wenselijk zijn om een deel van de practica te verplaatsen naar de keuze-uren in de vorm van speciale practicumuren. Een deel van de practica zal dan nog steeds in de clusteruren worden uitgevoerd, maar een andere deel kan, mits het practicum hiervoor geschikt is, onder begeleiding van een docent en/of TOA worden uitgevoerd in het practicumuur.

Een voordeel van het aanbieden van practica in de keuze-uren is dat leerlingen zelf kunnen bepalen op welk moment zij klaar zijn voor het uitvoeren van het practicum. Verder kunnen leerlingen extra ondersteuning vragen van een docent en/of TOA wanneer dit gewenst is. Naast de vakspecifieke practicumuren binnen de keuze-uren van een vak als natuurkunde, kan er ook gekeken worden naar het inzetten van algemene TOA-uren. Dit zijn uren in het bètalab waar leerlingen onder begeleiding van een TOA kunnen werken aan een practicum.

TOA-uren kunnen zowel vakspecifiek als bètabreed worden ingezet en zijn uren die extra worden aangeboden naast de vakspecifieke keuze-uren. Het is aan de groep docenten en TOA's van de verschillende bètavakken om uit te zoeken aan welke invulling van de TOA-uren de voorkeur wordt gegeven. Zo kan gekozen worden om de TOA-uren elke dag aan te bieden voor alle verschillende vakken tegelijkertijd, of juist voor het verdelen van de vakken over de dagen van de week zodat elke dag tijdens het TOA-uur een ander vakgebied centraal staat. Verder kan er gekeken worden naar het aanbieden van TOA-uren aan leerlingen van verschillende jaarlagen en niveaus door elkaar, of juist het verdelen van de leerlingen over de dagen van de week.

4.2.3 Practicum uit de doos

In het nieuwe onderwijs scenario kunnen practica binnen verschillende uren worden aangeboden. Zo kan een practicum worden aangeboden in een clusteruur, maar ook in een keuze-uur als onderdeel van een basisuur, verdiepingsuur of specifiek practicumuur. Bij al deze uren wordt een practicum uitgevoerd onder begeleiding van een docent en/of TOA, net als in de huidige situatie. Naast deze uren kan een practicum ook worden aangeboden in een TOA-uur. Hierbij is geen docent aanwezig en voeren de leerlingen het practicum in het ideale geval zelfstandig uit onder het toezicht van de TOA.

Practica die worden ingezet tijdens uren waarin geen docent aanwezig is of minder ondersteuning mogelijk is, moeten voldoen aan de eisen die beschreven zijn in bijlage K voor zelfstandige practica. Practica zoals het practicum uit de doos kunnen dan ook goed worden ingezet tijdens deze TOA-uren. Het practicum uit de doos kan worden ingezet tijdens alle verschillende practicum momenten en is vooral van meerwaarde wanneer het wordt ingezet op momenten waarop slechts weinig ondersteuning mogelijk is, maar het uitvoeren van een practicum wel wenselijk is. Leerlingen kunnen dan zelfstandig met het practicum aan de slag dat voor hen is klaargezet in een doos in het bètalab terwijl alleen toezicht van een TOA vereist is. Na afloop van het practicum levert de leerling het gemaakt werk in bij zijn docent. Dit werk wordt nagekeken en op een later moment teruggekoppeld.

Door het inzetten van een practicum uit de doos kan in de meeste gevallen de mate van begeleiding en voorbereiding per practicum naar beneden worden gebracht, waardoor het eenvoudiger wordt om tegelijkertijd meerdere practica aan te bieden. Leerlingen zullen meer op individuele basis bezig zijn met een practicum waardoor de TOA zich meer kan focussen op het houden van overzicht en het bieden van individuele ondersteuning en begeleiding aan leerlingen die hier behoefte aan hebben. Toezicht, kennis en begrip van het practicum en de bijbehorende gevaren blijven vereist, een TOA zal daarom altijd in de ruimte aanwezig moeten zijn wanneer leerlingen bezig zijn met het practicum.

5 Discussie

Naar aanleiding van de resultaten en methode worden in dit hoofdstuk een aantal discussiepunten besproken. Hierbij wordt ingegaan op het practicum ontwerp, de practicum uitvoering, het ingeleverde materiaal van leerlingen en de implementatie van het practicum uit de doos op het TCC.

5.1 Practicum ontwerp

In deze paragraaf worden de discussiepunten besproken naar aanleiding van het practicum ontwerp van het practicum uit de doos.

Practicum structuur

Het ontwerp van het practicum uit de doos is in hoofdlijnen gelijk aan de practica waar leerlingen mee bekend zijn, met uitzondering van de uitvoering van het practicum en de mate van vrijheid die tijdens het practicum aan de leerlingen wordt geboden. Enerzijds is de opzet van het practicum uit de doos strakker dan leerlingen gewend zijn, maar het practicum biedt daarentegen ook weer meer vrijheid in het maken van bepaalde keuzes. Zo is de practicumhandleiding kookboekachtig geschreven om het aantal vragen rondom de werkwijze en structuur van het practicum tot het minimum te beperken, maar mochten leerlingen ook zelf een deel van de opstelling ontwerpen waardoor weer werd afgeweken van dit principe. De leerlingen ervaarden de strakke opzet vooral als prettig en duidelijk en zagen het practicum uit de doos als een practicum waarin ze veel vrijheid kregen. Dit gevoel van vrijheid resulteerde bij een meerderheid van de leerlingen in een zichtbaar enthousiasme. De leerlingen waren druk in de weer met het optimaliseren van hun ontwerp en vonden het practicum uit de doos leuk om uit te voeren en gaven aan vaker met een dergelijke opzet te willen werken. De keuze voor het inbouwen van een afgebakend maar ogenschijnlijk vrij in te vullen element, waardoor bij leerlingen het gevoel van autonomie wordt versterkt, lijkt dan ook zeer geschikt voor het aanbieden van een duidelijk en gestructureerd practicum zonder het gevoel te creëren dat enkel een stappenplan wordt uitgevoerd.

Het gevoel van autonomie bij leerlingen is door de opzet van het practicum uit de doos op twee vlakken bevorderd, zowel op het gebied van procedurele als cognitieve autonomie. Leerlingen mochten keuzes maken over bepaalde procedures, het bouwen van de opstelling en het kiezen van de materialen. Dit bevordert de procedurele autonomie en stimuleert daarmee de initiële betrokkenheid bij leeractiviteiten. Verder werden leerlingen gevraagd hun eigen werk te beoordelen. Dit bevordert de cognitieve autonomie en daarmee ook het denken van leerlingen (Stefanou et al., 2004).

Tot slot gaf de opzet van het practicum leerlingen voldoende tijd en mogelijkheden om te reflecteren op hun eigen denken, wat zichtbaar werd bij de discussies tijdens het ontwerpen van de opstelling, maar ook tijdens het verzamelen van de resultaten en het beantwoorden van de vragen in het werkblad. Vooral bij onverwachte resultaten, zoals het sneller afkoelen van het water bij het gebruik van Play-Doh, werden leerlingen aan het denken gezet over de relatie tussen het proces en de inhoud.

Leerdoelen

Een minpunt van het practicum is echter het grote aantal leerdoelen dat wordt behandeld. Uit de evaluatie van het practicum uit de doos met behulp van de checklist, bijlage K, komt naar voren dat de leerdoelen 1, 4 en 5 gezien worden als de belangrijkste leerdoelen van het practicum. Ook uit de analyse met het Getting Practical formulier in bijlage H, werd duidelijk dat bij het ontwerp geprobeerd is veel in één practicum te behandelen. Door dit totaal aantal leerdoelen terug te brengen zouden de resterende leerdoelen beter tot hun recht kunnen komen, wat weer bij kan dragen aan een betere ondersteuning van de begripsontwikkeling van de leerling.

Het practicum uit de doos bevatte nog te veel details. Naar verwachting was het effectiever geweest om na deel 1 en 2 van het werkblad over te gaan op de evaluatie van het ontwerp zoals

in deel 4 van het werkblad gebeurt. Deel 3, waarbij gefocust wordt op het berekenen van de warmtestroom door de wand van de isolatielaag, had beter achterwege gelaten kunnen worden en eventueel in een vervolg practicum aan bod kunnen komen. Zo zouden leerlingen in een tweede practicum uit de doos hun verbeterde ontwerp kunnen bouwen waarbij ze dezelfde, dan al bekende, meting uitvoeren, om vervolgens de warmtestroom door de wand van de beker te berekenen. Het eerste practicum uit de doos staat dan in het teken van het bekend raken met het concept warmtestroom, de verschillende materiaaleigenschappen, het ontwerpen en bouwen van een opstelling en het verzamelen van de data. Het tweede practicum uit de doos zal hier vervolgens op doorgaan en daarbij meer focussen op de bijbehorende berekeningen.

Concept-cartoon

Om leerlingen meer te betrekken bij het concept dat centraal staat in het practicum en om het denkproces te stimuleren, is gekozen om een concept-cartoon toe te voegen aan de practicum handleiding. Deze concept-cartoon beeldt de situatie uit waar de leerlingen zich tijdens het uitvoeren van het practicum in bevinden, toch heeft een groot deel van de leerlingen tijdens het uitvoeren van het practicum niet naar de concept-cartoon gekeken of deze besproken. Ook zonder de concept-cartoon bespraken leerlingen aan de hand van de vragen op het werkblad de verschillende opties om het bekeerglas te isoleren waarbij ze ingingen op de in de les behandelde theorie. De concept-cartoon was bijgevoegd als toevoeging om leerlingen op weg te helpen, niet als een opzichzelfstaand onderdeel van het practicum. Het aantal leerlingen dat de concept-cartoon daadwerkelijk heeft gebruikt ligt dan ook in overeenstemming met het beoogde doel.

Wanneer gewenst is om de concept-cartoon een meer centrale positie in te laten nemen, zou de concept-cartoon opgenomen kunnen worden in het werkblad van het practicum in combinatie met een aantal bijbehorende vragen. Verder kan in plaats van een enkele concept-cartoon ook gekozen worden voor een serie cartoon afbeeldingen waarin zich een verhaal afspeelt. Een concept-cartoon is vaak een afbeelding van een statische situatie, het behandelt de verschillende (mis)concepten en alternatieve uitspraken, maar laat de ontwikkeling van de situatie over aan de leerling (Reyes-Roncancio, J.D. et al., 2019). Een serie afbeeldingen toont hoe de situatie zich verder ontwikkelt en kan de leerling helpen bij het begrijpen van de situatie en de leerling eventueel al in de juiste denkrichting sturen. Bij het ontwerpen van een practicum uit de doos is het belangrijk dat goed wordt nagedacht over zowel de inhoud als functie van de concept-cartoon.

Verzamelde feedback

Een laatste discussiepunt dat betrekking heeft op het ontwerp van het practicum heeft te maken met de verzamelde feedback van leerlingen. Op basis van deze feedback wordt namelijk het standpunt van leerlingen ten opzichte van het ontworpen practicum geëvalueerd. De leerlingen waren overwegend positief over het practicum ontwerp, de vraag is echter in welke mate de aanwezigheid van de observant deze mening heeft beïnvloed. De meeste leerlingen zijn eerder geneigd om positieve feedback te leveren dan negatieve feedback, zeker wanneer de feedback niet anoniem wordt verzameld. De observant heeft zoveel mogelijk geprobeerd om een situatie te creëren waarin leerlingen zich veilig voelden om hun mening uit te spreken naar de observant of medeleerling, maar dit neemt de kans niet weg dat de verzamelde informatie beïnvloed is en daardoor een vertekend beeld schetst of incompleet is. Om deze onzekerheid in het vervolg weg te nemen is het aan te bevelen alle deelnemers aan het onderzoek ook anoniem de mogelijkheid te geven hun ervaringen te delen.

5.2 Practicum uitvoering

In deze paragraaf worden de discussiepunten besproken naar aanleiding van de uitvoering van het practicum uit de doos.

Planning en organisatie

Zodra de leerlingen bezig waren met het practicum uit de doos verliep het practicum zonder problemen. Het rond krijgen van de planning voorafgaand aan het practicum was echter een

uitdaging. Twee derde van de leerlingen schreef zich na het openen van de inschrijving direct in, maar een derde had herhaaldelijk een herinnering nodig voordat een afspraak werd gemaakt. Daarnaast kwamen twee groepen op het moment van de afspraak niet opdagen. Wanneer het practicum uit de doos als verplicht onderdeel wordt ingevoerd, maar geen consequenties worden gekoppeld aan het niet maken van een afspraak of niet uitvoeren van het practicum, kan dit zorgen voor een hogere belasting van de docent. De verwachting is dat dit vooral voor zal komen tijdens de eerste fase waarin een dergelijk practicum systeem wordt opgestart. Het is belangrijk om het geheel duidelijk af te kaderen en leerlingen te informeren over hun verantwoordelijkheden en bijbehorende consequenties.

Om te voorkomen dat docenten belast worden met het controleren van de afspraken die wel of niet door leerlingen zijn gemaakt is het een mogelijkheid om het practicum vrijwillig te maken en leerlingen bijvoorbeeld een bonuspunt te geven wanneer zij het practicum hebben uitgevoerd en ingeleverd. Mocht het practicum toch als een verplicht onderdeel worden opgenomen, dan zou gekozen kunnen worden voor het beoordelen van het practicum met een onvoldoende als consequentie van het niet uitvoeren van het practicum. Docenten kunnen in de eerste fase leerlingen helpen met het plannen van de practica, maar het is niet mogelijk om dit het hele jaar door vol te houden. In het ideale geval nemen leerlingen zelf het heft in handen en leren ze hiermee vooruitdenken en ervaren ze de extra vrijheid die hen wordt gegeven door het zelfstandig in kunnen plannen en uit kunnen voeren van de practica.

De planning en organisatie is dus een uitdaging, maar wanneer dit eenmaal loopt en leerlingen, docenten en TOA's aan het systeem gewend zijn en de practica zorgvuldig worden uitgedacht en vormgegeven, kan het practicum uit de doos voor alle betrokken partijen prettig werken en meer vrijheid opleveren. Leerlingen kunnen met het practicum aan de slag op een moment dat ze er zelf klaar voor zijn en het uitkomt in hun rooster. Daarnaast kunnen leerlingen gebruik maken van extra ondersteuning of begeleiding wanneer dit gewenst is en dit voorafgaand aan het practicum met de TOA of docent wordt afgesproken. Het voordeel voor docenten is verder dat zij meer tijd overhouden in de klassikale les en deze tijd kunnen gebruiken voor het beter verankeren van de basis, het bieden van extra verdieping en/of het leveren van maatwerk. Het voordeel voor TOA's is dat zij meer mogelijkheden krijgen om leerlingen intensief te begeleiden, er is meer maatwerk mogelijk en er is meer contact met leerlingen. Deze begeleiding is echter niet noodzakelijk, omdat het practicum uit de doos zelfstandig uitvoerbaar is. De TOA is verplicht om toezicht te houden op de veiligheid, maar kan wanneer dit gewenst is ook een grotere rol spelen. Tot slot kunnen meerdere verschillende practica tegelijk worden uitgevoerd, doordat het practicum zelfstandig uitvoerbaar is. Hierdoor zal er meer bedrijvigheid zijn in de practicumruimte, wat vaak wordt gezien als een prettige en motiverende leeromgeving.

Het resultaat van het zelf plannen en uitvoeren van een practicum uit de doos is dat er meer ruimte ontstaat voor de individuele leerling, TOA's worden meer betrokken bij de ontwikkeling en voortgang van de leerlingen, docenten worden gedeeltelijk ontlast en er kan volop gebruik gemaakt worden van de practicumruimte. De rol van de TOA verandert hierbij het meest, maar ook de docent moet practica op een andere manier voorbereiden en introduceren in de klas dan hij gewend is. Voor leerlingen ligt het verschil in het stukje zelfstandigheid en eigen verantwoordelijkheid dat van hen wordt gevraagd. Niet elke leerling vindt dit prettig en voor sommige leerlingen zal dit een flinke uitdaging vormen, maar een mogelijk positieve uitkomst is dat dit zich uiteindelijk terugbetaalt in het aanleren van vaardigheden die leerlingen gedurende hun hele loopbaan goed kunnen benutten.

Verschillende typen leerlingen

Wanneer het organisatorische element van het practicum uit de doos wordt losgelaten en wordt gekeken naar de overige observaties tijdens de uitvoering van het practicum uit de doos, dan is er één observatie die sterk naar voren komt. Bij de uitvoering van het practicum valt namelijk op dat er twee verschillende typen leerlingen lijken te bestaan. Leerlingen die direct aan de slag gaan met de opdracht en overal materialen vandaan halen die ze willen gebruiken, en leerlingen die onzekerder overkomen, de practicumhandleiding zorgvuldig doorlezen en bij twijfel direct een vraag willen stellen om te controleren of het goed gaat. Deze eerste groep gaat erg vrij met het

practicum om, improviseert veel, test verschillende mogelijkheden en begint af en toe opnieuw. Deze groep lijkt goed te functioneren binnen een minder afgebakende practicumssituatie. De tweede groep lijkt vooral geen fouten te willen maken en denkt veel na, de verschillende opties worden overwogen, maar worden pas uitgevoerd zodra de leerling hier volledig achterstaat. Deze groep lijkt weer beter te functioneren binnen een meer afgebakende practicumssituatie. Beide typen leerlingen pakken het practicum op een andere manier aan, wat ook andere resultaten oplevert. De eerste groep komt uit op meer gevarieerde en alternatieve isolatie methodes en de tweede groep focust juist meer op het onderzoeken van isolatie methodes die in de praktijk veel worden toegepast, beide manieren zijn even geschikt voor het uitvoeren van het practicum.

Om de observatie van het bestaan van deze twee verschillende typen leerlingen, wat betreft de omgang met practica, verder te onderzoeken zijn de leerlingen ook geobserveerd tijdens een PSE. Bij het PSE oogden de tweede groep daadkrachtiger dan bij het practicum uit de doos. Deze groep werkte nu een stuk sneller en oogde meer comfortabel met het practicum dan de eerste groep die zich bij het practicum uit de doos het meest op zijn gemak leek te voelen. Hierdoor lijkt het alsof een vrijere opzet van een zelfstandig practicum beter aansluit bij de eerste groep leerlingen en een meer afgebakende opzet, zoals het geval is bij een PSE, beter bij de tweede groep leerlingen. Omdat het PSE wordt becijferd en er geen cijfer wordt gegeven voor het practicum uit de doos, dat hooguit een bonuspunt op kan leveren, zijn de verschillende waarnemingen qua houding en gedrag van leerlingen echter niet rechtstreeks te koppelen aan de mate van instructie. De situaties zijn onvoldoende vergelijkbaar, maar het zichtbare verschil in houding en gedrag van leerlingen is wel opvallend te noemen.

Voorbereiding

Een andere observatie tijdens de uitvoering van het practicum uit de doos is dat leerlingen zonder (gedegen) voorbereiding veel vrijer met de opdracht aan de slag gingen dan leerling met een voorbereiding. Leerlingen met een voorbereiding waren geneigd zich vast te houden aan hun eerdere ontwerp waardoor ze minder gebruik maakte van de overige mogelijkheden die bij het practicum werden aangeboden. Bij het ontworpen practicum uit de doos kan dan ook de vraag worden gesteld of het wel of niet gewenst is om het practicum voor te bereiden. Deze keuze is afhankelijk van het beoogde doel. Wanneer het gewenst is om leerlingen vrij te laten nadenken over de mogelijkheden tijdens het practicum, dan is het wellicht beter om de opstelling niet voor te bereiden. Wanneer echter gewenst is dat leerlingen voorafgaand aan het practicum meer theoretisch onderzoek uitvoeren, dan is een voorbereiding juist wel gewenst. Het is belangrijk dat voorafgaand aan het practicum duidelijk wordt aangegeven wat van de leerlingen wordt verwacht qua voorbereiding.

Invloed waarnemer

De observaties zijn afkomstig van één waarnemer. Deze waarnemer heeft de leerlingen zo objectief mogelijk geobserveerd, maar het blijven waarnemingen van één persoon en zijn daardoor minder betrouwbaar. Om conclusies te koppelen aan bovenstaande waarnemingen is dan ook verder onderzoek vereist. Mogelijke limitaties van de waarnemingen zijn verder het 'halo effect' van de aanwezigheid van een observant op het gedrag van leerlingen en de aanname dat het gedrag en de verschillende denkprocessen bij leerlingen in gelijke mate te observeren zijn. Door aanwezigheid van een observant kunnen leerlingen zich anders gedragen dan het geval zou zijn zonder aanwezigheid van deze observant. Om dit te omzeilen zou gebruik gemaakt kunnen worden van filmmateriaal, maar ook dan kan het gedrag van leerlingen beïnvloed worden door de aanwezigheid van een camera. Verder is elke leerling verschillend en is het lastig om hier rekening mee te houden bij het observeren van deze leerling. Het kan zijn dat hierdoor bepaalde denkstappen en handelingen worden gemist, terwijl deze er wel zijn. Ook hier dient rekening mee gehouden te worden.

5.3 Ingeleverd leerlingmateriaal

In deze paragraaf worden de discussiepunten besproken naar aanleiding van het practicum materiaal dat door leerlingen is ingeleverd.

Leerlingpopulatie

Het eerste discussiepunt dat wordt besproken is van invloed op zowel de analyse van het leerlingmateriaal als de eerder besproken waarnemingen. Alle havo 4 leerlingen hebben het practicum uit de doos uitgevoerd, maar tien leerlingen hebben geen toestemming gegeven voor het verwerken van hun gegevens of hebben het werkblad met bijbehorend toestemmingsformulier niet ingeleverd. De eerdere waarnemingen en de analyse van het ingeleverde leerlingmateriaal beslaan daarom niet de volledige populatie leerlingen. Vooral minder gemotiveerde leerlingen hebben hun werkbladen met het toestemmingsformulier niet ingeleverd, waardoor een vertekend beeld kan zijn ontstaan. Bij de bespreking van de analyse van het ingeleverde leerlingmateriaal dient hier rekening mee gehouden te worden.

Conceptvragen

Wanneer de cijfers van de toets worden vergeleken met de resultaten van de conceptvragen voorafgaand aan het practicum, lijkt hier geen verband tussen te bestaan. Ook wanneer wordt gekeken naar het toetscijfer gebaseerd op enkel de vragen gekoppeld aan dezelfde achterliggende concepten, is geen verband te herkennen. Het aantal juiste antwoorden op de conceptvragen lijkt onafhankelijk van het behaalde cijfer op de toets. Hieruit zou geconcludeerd kunnen worden dat de concepten in de toets op een andere manier terugkomen en/of getest worden dan in de conceptvragen. Een andere interpretatie zou kunnen zijn dat de toets en/of conceptvragen niet geschikt zijn voor het inventariseren van het conceptuele begrip van de leerling. Omdat het belang bij het beantwoorden van de vragen bij de toets en de conceptvragen voor de leerlingen verschillend was, kan daarnaast worden afgevraagd of de leerlingen de conceptvragen serieus hebben ingevuld. Zo telde de toets mee voor het rapport en telde de conceptvragen verder niet mee.

Gebaseerd op de resultaten van de conceptvragen waren bij een deel van de leerlingen vier misconcepten voorafgaand aan het practicum aanwezig, namelijk de misconcepten: temperatuur kan worden overgedragen, materialen zoals wol hebben het vermogen om dingen op te warmen, warmte en koude zijn verschillend en warmte en koude vloeien als vloeistoffen. Na afloop van het practicum zijn slechts kleine verschillen zichtbaar in de antwoorden van de leerlingen. Het practicum lijkt te hebben bijgedragen aan het wegnemen van het misconception dat temperatuur kan worden overgedragen. De meerderheid van de leerlingen is zich er na het uitvoeren van het practicum van bewust dat ze te maken hebben met een overdracht van energie in plaats van temperatuur. De overige veranderingen lijken te klein om een uitspraak te doen over de aanwezige misconcepten en de invloed van het practicum op deze misconcepten. Daarnaast spreken de bevindingen bij conceptvraag 1, 2 en 3 elkaar tegen. De conceptvragen lijken dan ook onvoldoende bewijs te leveren om aan te tonen dat het practicum uit de doos heeft bijgedragen aan het wegnemen van bepaalde misconcepten.

Begripsontwikkeling

Wanneer verder wordt gekeken naar de begripsontwikkeling van de leerling als gevolg van het uitvoeren van het practicum uit de doos, bestaat het vermoeden dat het practicum uit de doos inderdaad heeft bijgedragen aan deze begripsontwikkeling. Dit vermoeden is gebaseerd op de observaties van gesprekken tussen leerlingen tijdens het uitvoeren van het practicum en de antwoorden die leerlingen hebben gegeven in de werkbladen. Zoals eerder is beschreven is uit de resultaten van de conceptvragen echter niet af te leiden of het practicum heeft bijgedragen aan de begripsontwikkeling van de leerling. De betrouwbaarheid van de resultaten van de conceptvragen wordt in twijfel getrokken. De kans is aanwezig dat leerlingen de conceptvragen minder serieus hebben ingevuld. De conceptvragen telden niet meer mee voor de afronding, terwijl dit

wel het geval was bij andere onderdelen waar de leerlingen op hetzelfde moment mee bezig waren. Op basis van de conceptvragen kan geen conclusie worden getrokken over de mate waarin het practicum bijdraagt aan de begripsontwikkeling van de leerling.

Werkbladen

Op basis van deel 1 en 4 van het werkblad krijgt een docent meer informatie over alle individuele leerlingen dan gemiddeld het geval is bij een klassikaal practicum. De docent krijgt echter minder informatie over leerlingen die hun antwoorden minder beschrijvend formuleren of enkel een antwoord geven op de vraag zonder verdere toelichting. Tijdens een klassikaal practicum kan de docent bij deze leerlingen doorvragen en zo meer informatie verkrijgen, wat niet mogelijk is bij het practicum uit de doos. De informatie die de docent verkrijgt op basis van deel 2 en 3 van het werkblad is vergelijkbaar met de informatie die een docent verkrijgt bij een klassikaal practicum, waarbij een leerling een werkblad inlevert met daarop de meetresultaten en berekeningen. De leg-uit- en beschrijfvragen op het werkblad zijn vergelijkbaar met de eerste vragen die een docent zou kunnen stellen tijdens het practicum. Verder kan de docent door het analyseren van de berekeningen een voldoende beeld vormen van de mate waarin leerlingen in staat zijn de juiste formules te selecteren en te gebruiken. De docent kan hier vervolgens in een les op terugkomen.

Het laatste deel van het practicum is bij veel leerlingen afgeraffeld. De leerlingen lijken vaak niet in staat te zijn de juiste berekeningen uit te voeren en lichten hun antwoorden in deel 4 van het werkblad nauwelijks toe. Dit zou echter ook het gevolg kunnen zijn van de toetsweek die dicht op de deadline van het practicum stond gepland en de naderende zomervakantie. De werkbladen telden niet mee voor een cijfer en er waren geen grote consequenties voor het niet inleveren van het werkblad. Leerlingen die het werkblad niet inleverden verloren alleen het recht op het behalen van een bonuspunt.

5.4 Implementatie

In deze paragraaf worden de discussiepunten besproken die betrekking hebben op de implementatie van zelfstandige practica, zoals het practicum uit de doos, binnen het onderwijs op het TCC.

Zelfstandig practicum

Uiteindelijk moet elk practicum dat wordt ingezet in het onderwijs nuttig zijn en bijdragen aan de ontwikkeling van de leerling, dan wel op het gebied van verwondering, verankering of verdieping. Dit geldt ook voor het practicum uit de doos. Wanneer een docent en/of TOA een practicum uitvoert met een klas mist de docent veel van wat er gebeurt in zijn klas. De docent en TOA kunnen niet met alle leerlingen een gesprek aangaan en meekijken met wat er gebeurt, alleen wanneer bepaalde onderdelen terugkomen bij meerdere leerlingen heeft de docent of TOA bij een klassikaal practicum de mogelijkheid om de gehele klas tot orde te roepen of iets toe te lichten.

Bij een zelfstandig practicum, zoals het practicum uit de doos, zal de docent niet tot nauwelijks betrokken zijn bij de uitvoering van het practicum. De docent introduceert het practicum bij de leerlingen, maar daarna is het aan de TOA en leerlingen zelf. Het is daarom belangrijk dat er een goede communicatie is tussen de TOA en de docent en het is van belang dat het practicum zo ingericht is dat leerlingen na afloop een werkblad, verslag of ander resultaat bij de docent kunnen inleveren waaruit blijkt hoe het practicum is verlopen en wat de leerling heeft geleerd. Om een goede terugkoppeling te kunnen maken naar het practicum in de vervollessen en daarmee het practicum optimaal te benutten, is een gedegen practicumopzet en beoordelingsmateriaal noodzakelijk. De leerdoelen moeten duidelijk zijn, net als de eisen die gesteld worden aan het werk van de leerlingen.

In tegenstelling tot een klassikaal practicum heeft de TOA bij een zelfstandig practicum juist meer mogelijkheden om de voortgang van de leerlingen in de gaten te houden en in te springen waar nodig. Maar de TOA heeft meer taken en zal niet altijd beschikbaar zijn om bij alle

leerlingen evenveel aanwezig te zijn. Goede communicatie en planning zijn hierbij de sleutelwoorden. Wanneer de TOA tijdig weet hoe het practicum zal verlopen en wanneer de leerlingen langskomen om het practicum uit te voeren, kan de TOA zijn planning afstemmen op basis van de ondersteuningsbehoefte van de leerlingen bij de verschillende practica. De TOA kan bij de zwakkere leerlingen zorgen voor een intensieve begeleiding en bij de sterkere leerlingen meer op de achtergrond aanwezig zijn. De veiligheidseisen zijn hierbij erg belangrijk. Een practicum met gevaarlijke stoffen, scherpe materialen of andere gevaren vereist intensieve begeleiding van de TOA. Wanneer elk zelfstandig practicum intensieve begeleiding vereist is het niet haalbaar om met dit systeem van zelfstandige practica te werken, de TOA kan niet bij elke leerling gedurende het gehele practicum aanwezig zijn, dit kost te veel tijd.

Om het systeem haalbaar te maken is het dan ook van belang dat het merendeel van de practica kan worden uitgevoerd zonder directe (intensieve) begeleiding van de TOA. Een enkele keer kan een practicum worden uitgevoerd waarbij meer ondersteuning en/of toezicht vereist is, maar in de basis moet elk practicum uitvoerbaar zijn zonder directe begeleiding. Bij zwakkere leerlingen kan er dan altijd nog gekozen worden voor het inzetten van intensievere begeleiding. Een zelfstandig practicum uitvoeren geheel zonder toezicht van een docent en/of TOA is in de meeste gevallen niet toegestaan. De veiligheid van de leerling mag niet in het geding komen terwijl bij practica vaak wordt gewerkt met materialen en stoffen die gevaarlijk kunnen zijn wanneer ze verkeerd worden gebruikt. Het is dan ook belangrijk dat de practica voorafgaand aan het uitvoeren goed worden gecontroleerd. De mate van toezicht is afhankelijk van het soort practicum, zo zal er bij scheikunde vaak gevraagd worden om intensiever toezicht dan bij natuurkunde, maar enige mate van toezicht is altijd noodzakelijk.

Het practicum uit de doos dat als testopstelling is gebruikt is een voorbeeld van een practicum dat een minimaal risico met zich meebrengt, toch werken de leerlingen ook hier met een stanleymes of schaar voor het snijden van piepschuim en halen de leerlingen water uit een stoof op 80 °C. Om de veiligheid te garanderen is het dus belangrijk dat een TOA met kennis van het practicum en de mogelijke gevaren ook bij dit practicum rondloopt in de ruimte waar de leerlingen bezig zijn.

Twents Carmel College

Het concept van het practicum uit de doos lijkt goed aan te sluiten bij het nieuwe onderwijssysteem op het TCC zoals dit onderwijssysteem op het moment van schrijven wordt geformuleerd. De mogelijkheid is echter aanwezig dat er nog (grote) wijzigingen plaats zullen vinden in de denkwijze achter het nieuwe onderwijssysteem en de daadwerkelijke uitvoering. Doordat het nieuwe systeem nog niet vastligt en ook het TCC hier nog niet op is overgestapt, is het practicum uit de doos nog niet binnen de nieuwe situatie onderzocht, enkel binnen een vergelijkbare practicumsituatie. Zodra de overgang naar het nieuwe systeem heeft plaatsgevonden is het aan te bevelen om zo snel mogelijk te starten met het testen van het concept van het practicum uit de doos. De school kan hierbij gebruik maken van TOA-uren zoals deze zijn beschreven in paragraaf 4.2 en bijlage L.

Welke practicum toepassing uiteindelijk het meest geschikt is voor het TCC zal moeten blijken uit testen met onder andere het practicum uit de doos, na invoering van het nieuwe onderwijssysteem. Het practicum uit de doos kan een waardevolle aanvulling zijn op het practicum assortiment, maar ook andere werkvormen zullen geschikt zijn en moeten worden onderzocht. Docenten en TOA's zullen zelf een opzet moeten kiezen die aansluit bij hun behoeften en die van hun leerlingen. Hierbij is het belangrijk dat docenten en TOA's onderling goed met elkaar communiceren en waar mogelijk ook bëtabreed de verschillende mogelijkheden bekijken en op elkaar afstemmen.

6 Conclusie

Het onderzoek bestaat uit twee delen met elk een eigen doelstelling. Het doel van het eerste deel van dit onderzoek is het bepalen van de eisen waaraan een zelfstandig uitvoerbaar practicum moet voldoen om ingezet te kunnen worden in het voortgezet onderwijs en het doel van het tweede deel van dit onderzoek is het schrijven van een aanbeveling voor het practicumbeleid binnen de sectie natuurkunde op het Twents Carmel College locatie Lyceumstraat passend bij het nieuwe onderwijssysteem Flexibilisering en Maatwerk. Voor het behalen van deze doelen zijn een vijftal onderzoeksvragen geformuleerd die in dit hoofdstuk worden beantwoord.

6.1 Het practicum uit de doos

Deze paragraaf beantwoordt de onderzoeksvragen van het eerste deel van het onderzoek.

Het practicum uit de doos is een geschikte practicumvorm die gebruikt kan worden in het voortgezet onderwijs ter vervanging of aanvulling van het bestaande practicumaanbod. Het practicum uit de doos kan worden afgestemd op het gewenste practicumdoel, is flexibel inzetbaar en geeft in combinatie met het gebruik van begripsvragen en/of concept-cartoons voldoende inzicht in het begrip en de begripsontwikkeling van de leerling.

De eisen waaraan het practicum uit de doos moet voldoen om als zelfstandig uitvoerbaar practicum ingezet te kunnen worden in het voortgezet onderwijs zijn:

- Het practicum is veilig, er is geen kans op letsel bij leerlingen en/of omstanders.
- Alleen basistoezicht is vereist, een TOA kan het practicum op afstand veilig laten verlopen.
- Het practicummateriaal is duidelijk, na het lezen van het practicummateriaal is het doel en de werkwijze van het practicum helder voor zowel leerlingen, docenten als TOA's.
- Het practicum kan zonder directe begeleiding worden uitgevoerd.
- Het practicum draagt bij aan het behalen van het practicumdoel en de leerdoelen.
- Uit het ingeleverde materiaal blijkt of het practicumdoel en de leerdoelen zijn behaald.
- De resultaten van het practicum worden niet beïnvloed door vaardigheden anders dan de vereiste vaardigheden voor het practicum.
- De practicum opstelling kan zelfstandig door leerlingen worden opgeruimd.
- Het practicum kan worden uitgevoerd binnen de tijd van één lesuur.
- De benodigde practicummaterialen zijn beschikbaar.
- Het practicum kan binnen tien minuten door de TOA worden voorbereid.

Bovenstaande eisen voor een zelfstandig uitvoerbaar practicum kunnen worden vertaald naar het ontwerp van een practicum uit de doos door gebruik te maken van het groene getting practical formulier en de opgestelde checklist voor het practicum uit de doos, weergegeven in bijlage K. Het getting practical formulier helpt met het analyseren van de practicum leerdoelen en de checklist forceert de ontwerper van het practicum uit de doos om rekening te houden met het practicumdoel, de leerdoelen, de practicum-eisen en de gestelde randvoorwaarden. Het is belangrijk dat de docent en TOA tijdens dit ontwerpproces goed communiceren, beide hebben andere eisen die van toepassing zijn op het practicum ontwerp, maar ondersteunen uiteindelijk hetzelfde doel.

Bij het ontwerpen van een practicum uit de doos wordt gestart met het analyseren van het practicumdoel en de leerdoelen. Vervolgens wordt een bestaand practicum of practicum idee geselecteerd en geanalyseerd aan de hand van het groene getting practical formulier en de checklist voor het practicum uit de doos. Waar nodig wordt het practicum aangepast en vervolgens in de praktijk getoetst. Nadat deze stappen zijn uitgevoerd kunnen de practicumdozen worden gevuld en wordt het geheel nog een laatste keer gecontroleerd. Hierna kan het practicum uit de doos worden uitgevoerd.

Tijdens het practicum houdt een TOA toezicht op de veiligheid in de practicumruimte en kan de TOA wanneer gewenst leerlingen individueel ondersteunen. Na afloop van het practicum wordt het practicummateriaal bij de TOA of docent ingeleverd. De verslaglegging kan in veel gevallen beperkt worden tot een ingevuld werkblad met zorgvuldig gekozen vragen die meer inzicht geven in het begrip, de denkwijze en de ontwikkeling van de leerling. Conceptvragen focussen hierbij op het conceptuele begrip en meer algemene vragen over de uitvoering van het practicum en de gemaakte keuzes voorzien de docent van informatie over de instrument vaardigheden, onderzoeksvaardigheden en gemaakte denkstappen tijdens het uitvoeren van het practicum. Na afloop van een begripspracticum is nazorg mogelijk in de vorm van een klassikale bespreking.

Op basis van gesprekken tussen leerlingen, die tijdens het uitvoeren van het practicum uit de doos zijn geobserveerd, en de antwoorden die zijn gegeven in de werkbladen, bestaat het vermoeden dat het practicum uit de doos bijdraagt aan de begripsontwikkeling van de leerling. De resultaten van de conceptvragen zijn echter onvoldoende om dit vermoeden te bevestigen of te ontkrachten. Een vervolgonderzoek is nodig om deze vraag te beantwoorden.

6.2 Practicumbeleid Twents Carmel College

In deze paragraaf wordt de onderzoeksvraag naar aanleiding van het tweede deel van het onderzoek beantwoord.

Na invoering van het nieuwe onderwijssysteem, Flexibilisering en Maatwerk, zal er voor leerlingen en medewerkers van het TCC veel veranderen. Deze verandering betekent het loslaten van een bekende en vertrouwde onderwijsstructuur die vele jaren succesvol is gebleken, maar biedt ook mogelijkheden voor vernieuwing en verbetering. Zo ontstaat er ruimte om binnen de bètavakken te onderzoeken welke mogelijkheden er nog meer zijn voor het inzetten van practica, waaronder het inzetten van practica zoals het practicum uit de doos. Binnen de verschillende bètavakken is het van belang dat wordt gekeken naar de verschillende mogelijkheden, maar ook bètabreed liggen er kansen. Aanbevolen wordt om op het TCC een pilot te draaien met het gebruik van vakspecifieke practicumuren en TOA-uren.

Om meer ruimte te creëren in de clusteruren kan het bij een vak als natuurkunde wenselijk zijn om een deel van de practica te verplaatsen naar de keuze-uren in de vorm van speciale practicumuren. Een voordeel van het aanbieden van practica in deze keuze-uren is dat leerlingen zelf kunnen bepalen op welk moment zij klaar zijn voor het uitvoeren van het practicum. Verder kunnen leerlingen extra ondersteuning vragen van een docent en/of TOA wanneer dit is gewenst. Naast de vakspecifieke practicumuren binnen de keuze-uren van een vak als natuurkunde, kan er ook gekeken worden naar het bètabreed inzetten van algemene TOA-uren. Dit zijn uren in het bètalab waar leerlingen onder begeleiding van een TOA kunnen werken aan een practicum, onafhankelijk van het vak.

Wanneer leerlingen een practicum uitvoeren tijdens uren waarin geen docent aanwezig is of minder ondersteuning mogelijk is, zoals tijdens een deel van de keuze-uren en TOA-uren, is het belangrijk dat het practicum voldoet aan de eisen die worden gesteld aan zelfstandig uitvoerbare practica. Practica zoals het practicum uit de doos kunnen dan ook goed worden ingezet tijdens deze uren. Leerlingen kunnen dan zelfstandig met het practicum aan de slag, dat voor hen is klaargezet in een doos in het bètalab, terwijl alleen toezicht van een TOA is vereist.

Door het inzetten van een practicum uit de doos kan in de meeste gevallen de mate van begeleiding en voorbereiding per practicum naar beneden worden gebracht, waardoor het eenvoudiger wordt om tegelijkertijd meerdere practica aan te bieden. Leerlingen zullen meer op individuele basis bezig zijn met een practicum waardoor de TOA zich meer kan focussen op het houden van overzicht en het bieden van individuele ondersteuning en begeleiding aan leerlingen die hier behoefte aan hebben. Toezicht, kennis en begrip van het practicum en de bijbehorende gevaren blijven vereist, een TOA zal daarom vrijwel altijd in de ruimte aanwezig moeten zijn wanneer leerlingen bezig zijn met een practicum, dit is onafhankelijk van de vorm van het practicum of het type lesuur waarin het practicum wordt uitgevoerd.

7 Literatuur

- Bates, G. (1978). The Role of the Laboratory in Secondary School Science Programs. *What research says to the science teacher*, 1, 55–82. Verkregen van <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.870.4496&rep=rep1&type=pdf#page=63>
- Gunstone, R. F. & Champagne, A. B. (1990). Promoting conceptual change in the laboratory. *The student laboratory and the science curriculum*, 159–182.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22, 85–142. Verkregen van <http://dx.doi.org/10.1080/03057269308560022> doi: 10.1080/03057269308560022
- Hofstein, A. (1982). The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201–217.
- Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (2004, jan). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28–54. Verkregen van <https://onlinelibrary-wiley-com.ezproxy2.utwente.nl/doi/full/10.1002/sce.10106> doi: 10.1002/SCE.10106
- Keogh, B. & Naylor, S. (2012). Concept cartoons: what have we learnt? *Millgate House Education*. Op 2021-10-11 verkregen van www.millgatehouse.co.uk
- Keogh, B., Naylor, S. & Wilson, C. (1998). Concept cartoons: a new perspective on physics education. *Physics Education*, 33(4), 219–224.
- Kortland, K. & Mooldijk, A. (2019). *Handboek natuurkundedidactiek* (3e dr.; H. Poorthuis, red.). Amsterdam: Epsilon Uitgaven.
- Millar, R. (2010). *Analysing practical science activities to assess and improve their effectiveness* (1e dr.). The Association for Science Education.
- Montessori college. (z. j.). Op 2021-10-15 verkregen van <https://montessoricollege.nl/>
- Moules, J., Horlock, J., Naylor, S. & Keogh, B. (2010). *Physics concept cartoons*. Millgate House.
- Natuurkunde havo syllabus centraal examen 2021. (2019). Verkregen van https://www.examenblad.nl/examenstof/syllabus-2021-natuurkunde-havo/2021/f=/natuurkunde_havo_2_versie_2021.pdf
- Natuurkunde vwo syllabus centraal examen 2021. (2019). Verkregen van https://www.examenblad.nl/examenstof/syllabus-2021-natuurkunde-vwo/2021/vwo/f=/natuurkunde_3_versie_vwo_2021.pdf
- Nieuwe natuurkunde, advies-examenprogramma's voor havo en vwo. (2010). Nederlandse Natuurkundige Vereniging.
- Norm: Begeleiding en toezicht leerlingen. (z. j.). Op 2021-11-15 verkregen van <https://www.arbocatalogus-vo.nl/arbobeleid/begeleiding-en-toezicht-leerlingen/#linkNorm>
- Overzicht praktische activiteiten. (z. j.). Verkregen van <https://canvas.utwente.nl/courses/7371/pages/college-1-getting-practical>
- Pathare, S. R. & Pradhan, H. C. (2010). Students' misconceptions about heat transfer mechanisms and elementary kinetic theory. *Physics Education*, 45(6), 629–634. Verkregen van https://www.researchgate.net/publication/231075821_Students doi: 10.1088/0031-9120/45/6/008
- Reyes-Roncancio, J.D., Romero-Osma, G.P. & Bustos-Velazco, E.H. (2019). Teaching physics through contextualized concept cartoons. *Revista Científica*, 3(36), 381–395. doi: 10.14483/23448350.15156
- Shepardson, D. P. (1997, jan). The Nature of Student Thinking in Life Science Laboratories. *School Science and Mathematics*, 97(1), 37–44. Verkregen van <https://onlinelibrary>

- wiley-com.ezproxy2.utwente.nl/doi/full/10.1111/j.1949-8594.1997.tb17338.x doi: 10.1111/J.1949-8594.1997.TB17338.X
- Shulman, L. & Tamir, P. (1973). *Research on teaching in the natural sciences*. (R. Travers, red.). Chicago: Rand McNally.
- SLO. (2020). Leerdoelenkaart beheersingsniveaus natuurkunde bovenbouw havo/-vwo. Op 2021-06-05 verkregen van <https://www.slo.nl/thema/meer/10-14-onderwijs/leerdoelenkaarten/leerdoelenkaarten/>
- SLO. (2021, 10). *Kritisch denken*. Verkregen van <https://www.slo.nl/thema/meer/21e-eeuwsevaardigheden/kritisch-denken/>
- Stefanou, C., Perencevich, K., DiCintio, M. & Turner, J. (2004, 06). Supporting autonomy in the classroom: Ways teachers encourage student decision making and ownership. *Educational Psychologist - EDUC PSYCHOL*, 39, 97-110. doi: 10.1207/s15326985ep3902_2
- Stoop, P. (2013). Diagnostische test warmte en temperatuur - PST-201309.
- Tobin, K. (1990). Research on science laboratory activities: In pursuit of better questions and answers to improve learning. *School Science and Mathematics*, 90, 403-418. Verkregen van https://www.academia.edu/1183362/Research_on_science_laboratory_activities.In_pursuit_of_better_questions_and_answers_to_improve_learning
- van den Berg, E. (2013). The pck of laboratory teaching: Turning manipulation of equipment into manipulation of ideas. *Scientia in Education*, 4(2), 45-64.
- van den Berg, E. (z. j.). Simple "recipes" to turn cookbook laboratory activities into minds-on physics.
- van den Berg, E. & Wal, M. (2021, 10). Geen kookboek. *NVOX*, 46, 18-20.
- van den Broeck, T., de Jong, R., Keurentjes, A., Bosman, M., Duijnstee, M., ten Broeke, N., ... Nijhof, E.-J. (2018). *Systematische natuurkunde havo 4* (9e dr.). ThiemeMeulenhoff.
- Veilig werken binnen natuurwetenschappen*. (z. j.). Op 2021-11-15 verkregen van <https://veiligpracticum.nl>
- Yeo, S. & Zadnik, M. (2001, 11). Introductory thermal concept evaluation: Assessing students' understanding. *The Physics Teacher*, 39, 496-504. doi: 10.1119/1.1424603
- Çimer, A. (2007, 01). Effective teaching in science: A review of literature. *Journal of Turkish Science Education*.

A Leerdoelen en misconcepten

Het practicum uit de doos sluit aan op één of meerdere leerdoelen uit subdomein D1 'Eigenschappen van stoffen en materialen'. Subdomein D1 omvat volgens het SLO de volgende leerdoelen (SLO, 2020):

- Het kunnen gebruiken van het moleculaire model van materie bij het verklaren van fasen en faseovergangen.
- Het kunnen verklaren van warmtetransport met behulp van materiemodellen.
- Het kunnen uitleggen van het verband tussen de warmtestroom en thermische geleidbaarheid.
- Het kunnen uitvoeren van eenvoudige berekeningen aan de warmtestroom, minimaal in context van energiebesparing door isolatie.
- Het kunnen beschrijven van temperatuur(veranderingen) van een stof als gevolg van het toe- of afvoeren van warmte.
- Het kennen van soortelijke warmte als stofeigenschap.
- Het kunnen omrekenen van Celcius naar Kelvin en omgekeerd.
- Het kunnen beschrijven en verklaren van het verband tussen de dichtheid en de soortelijke warmte bij metalen.
- Het kunnen beschrijven en verklaren van het verband tussen de warmtegeleiding en elektrische geleiding bij metalen.
- Het kunnen interpreteren van spanningrekdiagrammen in termen van elastische en plastische vervorming.
- Het kunnen uitvoeren van berekeningen aan elastische vervormingen.

In overleg met natuurkundedocenten van het TCC wordt het practicum uit de doos ontworpen aan de hand van een selectie van bovenstaande leerdoelen. Vanuit deze docenten werd gevraagd ook de volgende leerdoelen in overweging te nemen:

- Het kunnen onderscheiden van de betekenis van de symbolen t , T , Δt en ΔT .
- Het concept warmtetransport (geleiding, stroming en straling) kunnen toepassen op een praktische situatie.
- Materiaaleigenschappen kunnen koppelen aan warmtestroom.
- Het kunnen toepassen en combineren van de formules $Q = mc\Delta T$, $P = Q/t$ en $P = (\lambda A \Delta T)/d$.

Enkele mogelijke misconcepties bij leerlingen binnen subdomein D1 zijn (Kortland & Mooldijk, 2019; Yeo & Zadnik, 2001):

- Warmte is proportioneel aan de temperatuur.
- Warmte is geen meetbaar, kwantificeerbaar concept.
- Warmte is een substantie.
- Een koud voorwerp bevat geen warmte.
- Temperatuur en warmte zijn hetzelfde.
- Temperatuur kan worden overgedragen.

- Temperatuur wordt vaak gezien als extensieve grootheid (afhankelijk van de hoeveelheid materie) in plaats van als intensieve grootheid (onafhankelijk van de hoeveelheid materie).
- Temperatuur is een mengsel van warmte en koude.
- Warmte en koude zijn verschillend, in plaats van tegengestelde einden van een continuüm.
- Warmte en koude vloeien zoals vloeistoffen.
- Zowel warmte als koude worden met lucht geassocieerd.
- Waarnemingen van warmte en koude zijn niet gerelateerd aan energieoverdracht.
- Warme voorwerpen koelen van naturen af en koude voorwerpen warmen van naturen op.
- Bij voorwerpen met een verschillende temperatuur die in contact staan met elkaar, of in contact staan met lucht met een andere temperatuur, is het niet noodzakelijk dat de eindtemperatuur overeenkomt.
- Verwarmen betekent altijd dat de temperatuur stijgt, ook bij het verwarmen van kokend water blijft de temperatuur stijgen.
- Temperatuur is een stofeigenschap: sommige materialen zijn kouder dan andere.
- Materialen zoals wol hebben het vermogen om dingen op te warmen.
- Δt en ΔT hebben altijd dezelfde betekenis.
- Vermogen en warmtestroom zijn twee verschillende concepten.
- De warmtestroom is onafhankelijk van de keuze van het materiaal.

De misconcepten die nader worden onderzocht met behulp van conceptvragen voorafgaand en na afloop van het practicum uit de doos zijn:

- Warmte is proportioneel aan de temperatuur.
- Warmte is geen meetbaar, kwantificeerbaar concept.
- Temperatuur kan worden overgedragen.
- Warmte is een substantie.
- Waarnemingen van warmte en koude zijn niet gerelateerd aan energieoverdracht.
- Warmte en koude vloeien zoals vloeistoffen.
- Materialen zoals wol hebben het vermogen om dingen op te warmen.

B Gesprekken met TOA's en docenten

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van verschillende gesprekken die in het kader van dit onderzoek hebben plaatsgevonden. Dit betreft gesprekken met TOA's en docenten over practica, met in het bijzonder practica die door leerlingen zelfstandig kunnen worden uitgevoerd, en gesprekken over de onderwijsstructuur op de betreffende school.

B.1 Practica op het Montessori College Nijmegen

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van mijn bevindingen naar aanleiding van het gesprek met Ruzica Simic-Ristanovic op 21 juni 2021 en mijn bezoek aan het Montessori College Nijmegen op 11 oktober 2021. Ruzica is op het Montessori College Nijmegen werkzaam als TOA bij het vak biologie, en was in het verleden ook als TOA betrokken bij het vak scheikunde. Ik heb Ruzica op 21 juni 2021 gesproken over de werkwijze en haar ervaringen met het uitvoeren van (zelfstandige) practica op het Montessori College Nijmegen en heb haar en een aantal van haar collega's op 11 oktober 2021 opnieuw gesproken over dit onderwerp.

Op het Montessori College Nijmegen (*Montessori College, z. j.*) wordt gewerkt met een flexibel 60-minutenrooster waarbij leerlingen uit de bovenbouw havo en vwo zelf tot 50% van hun rooster samenstellen, binnen de kaders die de school hen daarvoor aanreikt. Het gaat hierbij om de begeleidingslessen en keuzewerktijd-uren. De keuze in begeleidingslessen is onderdeel van het standaardprogramma en staat vast voor een periode van circa 10 lesweken. De keuzewerktijd-uren, het 3e en/of 6e lesuur van de dag, worden door zowel onderbouw- als bovenbouwleerlingen wekelijks gekozen en kunnen daardoor per week verschillen. Bij een keuzewerktijd-uur kiest een leerling voor een vak bij een vakdocent voor bijvoorbeeld extra uitleg of verdieping. De leerlingen werken per vak met planners waarin beschreven staat wanneer bepaalde onderdelen van de stof behandeld moeten worden. Aan de hand van deze planners deelt de leerling zelf zijn les in tijdens de begeleidingsuren en keuzewerktijd-uren. De keuzewerktijd-uren worden breed ingezet voor zowel vakinhoudelijke als vakoverstijgende onderwerpen. Zo kan het keuzewerktijd-uur gebruikt worden voor het werken aan opdrachten, het verkrijgen van extra uitleg, het uitvoeren van een practicum, maar ook het schrijven van artikelen voor de schoolkrant of een cursus breien.

Op het Montessori College Nijmegen werken leerlingen op verschillende manieren met practica. Een deel van de practica wordt klassikaal uitgevoerd en een deel zelfstandig onder begeleiding op een moment naar keuze, waarbij de practicumvorm afhankelijk is van het type practicum. De klassikale practica worden ingepland door de docent en de zelfstandige practica worden ingepland door de leerling, in beide gevallen gaat dit in overleg met de TOA. Voorafgaand aan een zelfstandig practicum krijgen de leerlingen in de les een practicumhandleiding met daarbij een korte uitleg van de docent over het practicum. Na deze introductie mogen de leerlingen het practicum inplannen bij de TOA. De leerlingen zoeken de TOA op en in overleg wordt het tijdstip naar keuze voor hen gereserveerd.

De mate van ondersteuning bij een zelfstandig practicum is verschillend per vakgebied. Bij scheikunde practica wordt er vaker gewerkt met materialen die schadelijk kunnen zijn voor de leerling en zijn omgeving, de TOA is daarom constant bij deze practica aanwezig. Bij practica vanuit biologie is minder toezicht vereist en bij natuurkunde zijn de practica het meest zelfstandig. De TOA kent de leerlingen en heeft de voorbereiding van de leerlingen voorafgaand aan het practicum bekeken. Op basis van deze gegevens bepaalt de TOA in welke mate de leerlingen ondersteuning nodig hebben. Aan het begin van de bovenbouw krijgen de leerlingen een instructie over de practicumruimte en is de ondersteuning tijdens de eerste practica vrij intensief, de TOA leert de leerlingen dan beter kennen en de leerlingen ontdekken de spelregels en werkwijze rondom de practicumruimte. Richting het einde van de bovenbouw neemt de begeleiding vanuit de TOA's af, maar dit verschilt per leerling. Zo zijn er leerlingen die minder zeker zijn van zichzelf of een speciale reden hebben waardoor intensieve begeleiding gewenst of vereist is, in sommige gevallen voert de leerling het practicum dan samen met de TOA uit in plaats van individueel of in samenwerking met een andere leerling.

Vooraf in de hogere jaren is de TOA niet altijd meer aanwezig in de practicumruimte. Wel is de TOA in ieder geval aanwezig aan het begin en aan het einde van een practicum, zodat de voorbereiding kan worden bekeken, eventuele vragen van de leerlingen kunnen worden beantwoord en aan het eind van het practicum kan worden gecontroleerd of de practicumruimte netjes wordt achtergelaten. Terwijl de leerlingen bezig zijn met het uitvoeren van het practicum kan de TOA de ruimte eventueel verlaten om verder te gaan met zijn/haar overige taken. Ook wanneer de TOA niet aanwezig is in dezelfde practicumruimte weten de leerlingen waar ze de TOA kunnen vinden, de TOA is altijd snel bereikbaar tijdens het uitvoeren van het practicum. In praktijk worden vaak meerdere practica naast elkaar uitgevoerd waardoor de TOA vaak aanwezig zal zijn in de ruimte, maar wisselt tussen de verschillende groepen. De TOA maakt voorafgaand aan het practicum een inschatting van de ondersteuning die de verschillende leerlingen nodig hebben en past hier de beschikbaarheid van de practicumruimte op aan.

Ruzica geeft aan dat zij deze manier van werken met practica als erg prettig ervaart. Ze heeft veel contact met de leerlingen en kan een betekenisvolle rol spelen in hun leerproces. Verder worden de docenten hierdoor ontlast en is er meer maatwerk mogelijk. Ruzica geeft aan dat zelfstandige practica prettiger werken dan klassikale practica, maar dat een klassikaal practicum op sommige momenten efficiënter is. Wanneer dit het geval is wordt het practicum klassikaal uitgevoerd samen met de docent. Er is dan echter minder ruimte en tijd voor instructie en contact met de leerlingen. Op andere momenten hebben zelfstandige practica een grotere meerwaarde en wordt er gekozen voor deze vorm.

Het Montessori College heeft gekozen voor het gebruik van zelfstandige practica omdat niet iedere leerling op hetzelfde moment klaar is voor een practicum. Sommige leerlingen hebben iets meer tijd nodig om zich voor te bereiden en weer andere leerlingen vinden het prettig om de praktische toepassing zo vroeg mogelijk te zien. Het resultaat van het zelf inplannen en uitvoeren van de practica is dat er meer ruimte ontstaat voor de individuele leerling, TOA's meer betrokken worden bij de ontwikkeling van de leerling, docenten worden ontlast en de practicumruimte het hele jaar door intensief wordt benut.

Om dit systeem goed te laten verlopen is het volgens Ruzica van belang dat de docenten en TOA's duidelijke afspraken maken en goed met elkaar overleggen. Net als bij een klassikaal practicum is het belangrijk dat de TOA de tijd krijgt om het practicum te bekijken, uit te testen en de benodigde onderdelen te verzamelen en klaar te maken. Volgens Ruzica wordt er op het Montessori College gewerkt met een prettig tijdpad. Ten minste twee weken voordat het practicum wordt geïntroduceerd bij de leerlingen krijgt de TOA alle informatie over het practicum, vervolgens krijgt de TOA de tijd om het practicum uit te proberen en vindt hierna een overleg plaats met de docent waarbij de TOA ook de kans krijgt om het practicum af te wijzen. Ruzica geeft aan dat het erg belangrijk is dat de TOA en docenten op één lijn zitten.

Wanneer wordt gevraagd naar het organisatorische deel van deze manier van werken met practica wordt gewezen naar de digitale agenda 'Binas planner'. De TOA's op het Montessori College werken momenteel met dit programma. Alle afspraken en geplande practica worden in deze agenda ingevoerd met daarbij de vermelding van de bijbehorende specificaties zoals het vak, de betrokken docent(en), verantwoordelijke TOA's en aanwezige leerlingen. Alle bètadocenten en TOA's hebben toegang tot deze agenda en kunnen na afloop van het practicum terugkijken of een leerling bij het practicum aanwezig was.

Samenvatting

Op het Montessori College Nijmegen wordt gewerkt met een flexibel 60-minutenrooster waarbij leerlingen in de bovenbouw wekelijks ten minste 1 keuze-uur per dag vrij kunnen kiezen. Dit keuze-uur wordt onder andere gebruikt voor het uitvoeren van zelfstandige practica onder begeleiding van een TOA. Leerlingen bereiden het practicum voor na afloop van de uitleg van hun docent en maken zelfstandig een afspraak met de TOA om het practicum uit te voeren. Vervolgens voeren zij het practicum uit onder begeleiding van de TOA waarbij de mate van begeleiding afhankelijk is van de leerling. Het resultaat van het zelf inplannen en uitvoeren van deze practica is dat er meer ruimte ontstaat voor de individuele leerling, TOA's meer betrokken worden bij de

ontwikkeling van de leerling, docenten door de TOA's worden ontlast en de practicumruimte het hele jaar door intensief wordt benut.

Gebaseerd op het gesprek met Ruzica Simic-Ristanovic worden de volgende eisen voor een (zelfstandig) practicum en bijbehorende randvoorwaarden geformuleerd:

- Het practicum moet uitvoerbaar zijn.
Het practicum levert duidelijke en bruikbare resultaten op wanneer de TOA het practicum test.
- Het practicum moet veilig zijn.
Het practicum brengt leerlingen en omstanders geen schade toe.
- Het practicum moet duidelijk zijn.
Leerlingen weten wat van hen wordt verwacht. Bij de start van het practicum weten zij welke handelingen zij moeten verrichten en welke onderdelen zij voorafgaand en na afloop van het practicum moeten opleveren.
- Er is een goede communicatie tussen de TOA en docent.
De TOA en docent zitten op één lijn en hebben voldoende tijd om hun onderdelen voor te bereiden.
- De practicumruimte is geschikt voor het uitvoeren van het practicum.
De practicumruimte beschikt over de benodigde faciliteiten en voldoet aan de veiligheidsnormen.

B.2 Practica op het Etty Hillesum Lyceum Deventer

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van mijn bevindingen naar aanleiding van het gesprek met Jeroen Grijsen op 22 juni 2021. Jeroen is werkzaam als docent natuurkunde en NLT op het Etty Hillesum Lyceum te Deventer en is werkzaam geweest als vakdidacticus aan de Universiteit Twente.

Op het Etty Hillesum Lyceum wordt gewerkt met een 50-minutenrooster waarbij leerlingen voor zeven lessen per week zelf hun rooster samenstellen. Inschrijving voor deze lessen is verplicht, maar de invulling staat verder volledig vrij. Leerlingen mogen zelf kiezen voor welke lessen zij zich inschrijven, er zijn geen richtlijnen waar ze zich verder aan moeten houden. Jeroen geeft aan dat de vakken er zelf voor moeten zorgen dat leerlingen een reden hebben om het te kiezen. Natuurkunde maakt hierbij onder andere gebruik van de practica. De practica die in de klassikale les worden gestart, zijn vaak te lang voor één lesuur. Wanneer leerlingen zich inschrijven voor natuurkunde als keuzeles, kunnen zij het practicum tijdens dit uur afmaken en hebben de leerlingen dus een reden om het vak te kiezen.

Tijdens de keuzeles natuurkunde kunnen leerlingen zelfstandig aan de slag gaan met het practicum in een ruimte die hiervoor geschikt is. De school heeft een aparte labruimte voor natuurkunde, in deze ruimte staan in de week waarin het practicum klassikaal wordt uitgevoerd vaak een aantal opstellingen van het practicum. Zolang er ruimte vrij is kunnen leerlingen hierdoor direct met het practicum aan de slag zonder dat een TOA het practicum eerst nog opnieuw moet klaarzetten. Practica worden niet door leerlingen ingepland, er is ruimte in de labruimte of niet. Wanneer dit gewenst is kunnen leerlingen het practicum ook buiten de keuzelessen om uitvoeren in de labruimte. De docent of TOA is in de buurt om leerlingen te helpen wanneer dit nodig is, maar is niet constant in de labruimte aanwezig. Begeleiding is dus niet altijd aanwezig bij het uitvoeren van een zelfstandig practicum, maar er is wel altijd sprake van basistoezicht.

Op het Etty Hillesum Lyceum zijn de zelfstandige practica meestal vrijwillig, niet iedere leerling voert de practica dan ook uit. Om de leerlingen te stimuleren het practicum uit te voeren, kunnen zij met het practicum een half bonuspunt verdienen. Verder zijn de practica zo vormgegeven dat ze een belangrijk onderdeel uitmaken van de stof. Leerlingen die in de eerste periode geen practicum uitgevoerd hebben, doen dit vaak alsnog in de opvolgende periodes. Klassikale practica en demo's worden door alle leerlingen bijgewoond, deze onderdelen zijn verplicht.

Jeroen geeft aan dat hij en zijn collega's het prettig vinden om op deze manier met practica te werken, maar benadrukt dat dit waarschijnlijk niet voor iedereen zal gelden. Elke docent en TOA is verschillend, zo zijn er TOA's die het leuk vinden om veel in contact te staan met de leerlingen en graag de didactische kant erbij betrekken, maar er zijn ook TOA's die zich liever alleen bezighouden met de organisatie rondom het practicum en de didactiek overlaten aan de docent. De werkwijze met practica op het Etty Hillesum Lyceum past goed bij de betrokken docenten en TOA's en is daarom ook succesvol. Bij het introduceren van een nieuwe practicum werkwijze is het dan ook belangrijk dat goed geluisterd wordt naar de voorkeuren van de betrokken personen.

Samenvatting

Op het Etty Hillesum Lyceum in Deventer wordt gewerkt met een 50-minutenrooster waarbij leerlingen zeven lessen per week vrij kunnen kiezen. Deze keuzelessen worden onder andere gebruikt voor het uitvoeren van zelfstandige practica onder toezicht van een TOA. Leerlingen starten vaak tijdens een klassikale les met een practicum en kunnen dit practicum tijdens de keuzeles of op een ander moment naar keuze afmaken zolang er een opstelling vrij is. De practica worden niet ingepland, wanneer er geen ruimte is kan de leerling op een ander moment langskomen. Verder is er tijdens het zelfstandig uitvoeren van het practicum niet altijd begeleiding aanwezig. Het is voor leerlingen wel verplicht om zich voorafgaand aan het uitvoeren van een practicum bij een docent of TOA te melden. Deze werkwijze met het uitvoeren van practica past goed bij de natuurkundedocenten en TOA's op het Etty Hillesum Lyceum. Wanneer een dergelijke werkwijze op een andere school wordt geïntroduceerd is het belangrijk dat dit ook past bij de betrokken docenten en TOA's.

Gebaseerd op het gesprek met Jeroen Grijsen worden de volgende eisen voor een (zelfstandig) practicum en bijbehorende randvoorwaarden geformuleerd:

- De practicumruimte is permanent beschikbaar.
De practicumruimte is op elk moment beschikbaar, er worden geen lessen geroosterd in het lokaal en er is ruimte om een aantal opstellingen voor een langere periode neer te zetten.
- De practicum werkwijze past bij de betrokken docenten en TOA's.
Er wordt goed geluisterd naar de voorkeuren van de betrokken personen, hier wordt de werkwijze rondom het inzetten van practica op afgestemd.
- Leerlingen worden gemotiveerd om het practicum uit te voeren.
Leerlingen willen het practicum uitvoeren en benaderen daarom zelfstandig een docent en/of TOA voor het uitvoeren van het practicum. Leerlingen starten bijvoorbeeld al met het practicum in de les en/of kunnen een half bonuspunt verdienen.

B.3 Practica op het Twents Carmel College Oldenzaal

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van mijn bevindingen naar aanleiding van het gesprek met Willem Wieriks en Ron Doub op 23 juni 2021 en mijn ervaringen tijdens mijn stage op het Twents Carmel College locatie De Thij in het schooljaar 2020-2021. Willem en Ron zijn beide werkzaam als TOA op de locatie De Thij van het Twents Carmel College in Oldenzaal. Willem als TOA bij het vak scheikunde en Ron bij het vak natuurkunde.

Op het Twents Carmel College wordt gewerkt met een 50-minutenrooster waarbij leerlingen een vast rooster volgen dat eens per semester verandert. Leerlingen hebben binnen dit rooster (nog) geen keuzeruimte waarin zij zelf een deel van het rooster samenstellen, het programma staat vast. Ten tijde van de COVID-19 periode werd gewerkt met een 40-minutenrooster.

Op het Twents Carmel College worden practica voornamelijk klassikaal uitgevoerd. Deze practica worden na overleg binnen de vaksectie voorbereid door de TOA en uitgevoerd onder begeleiding van de TOA en/of docent. Bij scheikunde worden een paar practica ook buiten de klassikale les uitgevoerd. Leerlingen schrijven zich hiervoor in en werken tijdens het practicum in kleine groepen waarbij de TOA toezicht houdt. Bij natuurkunde worden in principe geen practica uitgevoerd buiten de klassikale les. Alleen wanneer een leerling een practicum moet inhalen wordt hiervoor een apart moment gepland met de TOA of docent. Ondanks dat er geen practica buiten

de klassikale les worden uitgevoerd binnen het vak natuurkunde, wordt één type practicum wel zelfstandig uitgevoerd, namelijk het praktisch schoolexamen. De docenten en TOA's treden hierbij op als surveillant en houden toezicht op de veiligheid, de leerlingen worden alleen geholpen wanneer er sprake is van een technisch probleem.

De rol van TOA op het Twents Carmel College bevat onder andere het volgende takenpakket: het ontwikkelen en voorbereiden van practica, het contact met leveranciers, taken met betrekking tot onderhoud, beheer en veiligheid, zorg voor installaties, het verlenen van technische assistentie en het plannen en afstemmen van de verschillende praktische activiteiten op school. De TOA's zijn een aanspreekpunt voor leerlingen en docenten op het gebied van practica en overig gerelateerde activiteiten. Ze zijn vaak aanwezig in de les, maar het grootste deel van hun werkzaamheden speelt zich af op de achtergrond.

Als TOA's geven Willem en Ron aan graag mee te willen denken over de invulling en uitvoering van practica, zowel op het gebied van het ontwikkelen van nieuwe practica als de manier waarop ze worden ingezet binnen het onderwijs. Willem en Ron geven aan dat zij het belangrijk vinden dat de practica die worden uitgevoerd nuttig zijn en een duidelijk doel hebben, dan wel het zien, ervaren, kennis maken, theorie ondersteunen of het toetsen van begrip. Leerlingen moeten iets van het practicum opsteken. Dit doel moet niet alleen duidelijk zijn voor de docent, maar ook voor de TOA's zodat zij dit doel kunnen ondersteunen. Verder vinden Willem en Ron het belangrijk dat leerlingen tijdens het practicum ook zelf iets kunnen doen en niet alleen gegevens aflezen van een opstelling die al volledig is klaargezet. Daarnaast geven zij aan dat het essentieel is dat het practicum goed kan worden voorbereid. Deze voorbereiding bestaat niet alleen uit voldoende tijd om het practicum klaar te zetten, maar ook uit voldoende tijd om het practicum te kunnen testen. Wanneer wordt gevraagd naar een omschrijving van het ideale practicum wordt het volgende antwoord gegeven: het ideale practicum is nuttig voor leerlingen, heeft een duidelijk doel, vereist minimale voorbereidingstijd, kan uitvoerig worden getest, zet leerlingen aan het werk en geeft een 'wauw' effect.

Wanneer het flexibel inzetten van practica zoals het practicum uit de doos wordt besproken geven Willem en Ron aan dat het lastig kan zijn om practica op korte termijn voor te bereiden. Daarnaast verwachten zij dat het plannen van de practica ook een uitdaging kan worden. De practica kunnen alleen flexibel worden ingezet wanneer alle materialen al beschikbaar zijn en het practicum met minimale voorbereidingstijd kan worden klaargezet. Het is anders niet mogelijk om dit principe te realiseren voor grote groepen leerlingen van verschillende niveaus en jaarlagen door elkaar. Een oplossing hiervoor zou het vastzetten kunnen zijn van een aantal practica per kwartaal. Binnen deze periode hebben leerlingen de keuze tussen een aantal practica en kunnen zij deze op een moment naar keuze uitvoeren. Buiten deze periode kan het practicum dan niet meer worden uitgevoerd. Het inplannen van het moment waarop dit practicum wordt uitgevoerd moet verder goed worden gecoördineerd. Wanneer alle leerlingen tijdens het laatste uur van de dag of in de laatste week van een periode een practicum willen uitvoeren levert dit ook problemen op voor de TOA. Dit zou opgelost kunnen worden door tijdsloten vast te zetten met een maximum aantal leerlingen waarbinnen practica kunnen worden uitgevoerd, bijvoorbeeld elke dag tijdens het derde en vijfde lesuur.

Een laatste element dat door Willem en Ron wordt aangedragen is het uitzoeken van mogelijkheden om de practica van de verschillende vakken meer met elkaar te verbinden. Een practicum wordt nu vaak afgebakend binnen één vakgebied, terwijl het inzetten van meer vakoverstijgende practica ook erg waardevol kan zijn.

Samenvatting

Op het Twents Carmel College locatie De Thij (schooljaar 2020-2021) wordt gewerkt met een 50-minutenrooster waarbij leerlingen (nog) geen vrije keuzeruimte hebben in het rooster. Practica worden voornamelijk klassikaal uitgevoerd onder toezicht en begeleiding van een TOA en/of docent. De TOA's op het TCC geven aan graag mee te willen denken over de invulling en uitvoering van practica en vinden het hierbij belangrijk dat een practicum nuttig is, een duidelijk doel heeft, minimale voorbereidingstijd vereist, uitvoerig kan worden getest, leerlingen aan het werk zet en in het optimale geval een 'wauw' effect geeft. Bij het inzetten van flexibele practica,

zoals het practicum uit de doos, worden mogelijke problemen in de beschikbare tijd en capaciteit voorzien voor het realiseren van een flexibel systeem met een groot assortiment aan practica voor verschillende niveaus en jaarlagen door elkaar. Dit zou wellicht voorkomen kunnen worden door het aantal flexibele practica te beperken tot een beperkt aantal per kwartaal die alleen tijdens vaste lesuren op de dag kunnen worden uitgevoerd.

Gebaseerd op het gesprek met Willem Wieriks en Ron Doub worden de volgende eisen voor een (zelfstandig) practicum en bijbehorende randvoorwaarden geformuleerd:

- Het practicum moet nuttig zijn.
De leerlingen moeten iets opsteken van het practicum.
- Het practicum moet een duidelijk doel hebben.
Het doel van het practicum moet vaststaan en hier moet voldoende aandacht aan worden besteed. Ook de TOA moet goed op de hoogte zijn van dit doel.
- Leerlingen moeten zelf aan de slag bij het practicum.
Ook de leerling moet zelf met het practicum aan de slag kunnen, nog niet alle onderdelen van het practicum moeten vooraf klaargezet worden.
- Er is voldoende voorbereidingstijd voor de TOA.
De TOA moet voldoende tijd krijgen om het practicum zelf uit te proberen en voor te bereiden.
- Het practicum geeft een 'wauw' effect.
Het practicum zorgt voor verwondering, enthousiasmeert en roept vragen op bij de leerlingen.

C Berichtgeving ouders

Beste ouder/verzorger,

Graag breng ik u op de hoogte van een onderzoek dat ik ga uitvoeren op het Twents Carmel College in de periode tot aan de zomervakantie. Onderstaande tekst voorziet u van een korte introductie van het onderzoek, dat ik uitvoer voor mijn opleiding tot eerstegraads docent bij de Universiteit Twente.

In het voortgezet onderwijs hebben practica een centrale rol binnen het vakgebied natuurkunde. Practica worden ingezet ter ondersteuning van de theorie en als oefening voor het leren onderzoeken. Het uitvoeren van practica in de les neemt echter veel tijd in beslag, waardoor minder lestijd overblijft voor onderdelen als het geven van instructie, begeleiding en feedback. Door practica een plaats te geven buiten de klassikale lessen om, kan dit bijdragen aan een verhoging van de effectieve lestijd. Daarnaast zorgt het voor meer flexibiliteit, leerlingen kunnen het practicum uitvoeren op een moment naar keuze. Practica vereisen doorgaans ondersteuning van de docent en/of technisch onderwijsassistent en kunnen hierdoor niet zonder toezicht worden uitgevoerd. De kern van dit onderzoek is het in kaart brengen van eisen waaraan een practicum moet voldoen om ingezet te kunnen worden buiten de klassikale lessen om. Hierbij wordt gedacht aan veiligheidseisen, maar ook aan de vorm en inhoud van een practicum zodat het leerproces van de leerling ook zonder directe begeleiding voldoende kan worden ondersteund.

In de komende twee weken zal uw zoon/dochter onder toezicht een practicum uitvoeren dat gebruikt zal worden voor dit onderzoek. Om het practicum te evalueren zal ik tijdens het practicum vragen stellen via korte interviews en wordt de kwaliteit van het ingeleverde werk geanalyseerd. De privacy van uw zoon/dochter is beschermd, gegevens zullen worden geanonimiseerd voor deze worden verwerkt.

U heeft te allen tijde de mogelijkheid om de data van uw kind niet mee te laten nemen in het onderzoek, in dat geval verzoek ik u dit kenbaar te maken middels een mail naar het onderstaande e-mailadres.

Mocht u naar aanleiding van deze mail nog vragen hebben over de gang van zaken rondom het onderzoek of geïnteresseerd zijn in de resultaten achteraf, dan hoor ik dat graag.

Ik verwacht u in voldoende mate te hebben geïnformeerd,

Met vriendelijke groet,

Annelotte Bex

a.j.m.bex@student.utwente.nl

a.bex@twentscarmelcollege.nl

Onder begeleiding van:

Dr. Ir. H.J. Pol (h.j.pol@utwente.nl)

Dr. E. Van den Berg (e.vandenberg-1@utwente.nl)

D Practicumhandleiding

Practicumhandleiding practicum uit de doos: Beker isoleren

Inleiding

Het practicum bestaat uit vier delen. Het eerste deel maak je voorafgaand aan het practicum, het tweede deel voer je uit tijdens het ingeplande moment op school en het derde en vierde deel werk je op een later moment verder uit. Tijdens het practicum is een TOA aanwezig die je helpt met het opwarmen van het water. Alle overige stappen voer je zelfstandig uit. Bij dit practicum hoort een werkblad, lever dit werkblad uiterlijk 15 juni in bij de docent. Deel 1 lever je voorafgaand aan het practicum in op Teams.

Benodigdheden

Voor dit practicum heb je nodig:

- 2 x 200 gram water (65 °C)
- 2 thermometers (0-100 °C)
- 2 bekgelazen
- Stopwatch
- Weegschaal
- Isolatiematerialen

In deze opdracht zoek je uit hoe je een beker het beste kunt isoleren en gaan we de isolatie testen. Hiervoor gaan we kijken naar de warmtestroom door de wand van de geïsoleerde beker en het gevolg hiervan op de verandering van de temperatuur van het water in de beker. De *warmtestroom* door de wand is de hoeveelheid warmte die per tijdseenheid door de wand gaat. De formules voor de warmtestroom kun je opzoeken in de Binas, net als de formule voor het berekenen van de warmte.

Onderzoeksvragen

1. Waar moet je op letten bij het isoleren van een beker?
2. Hoe bepaal je de warmtestroom door de wand van een beker?

Meetopstelling (isoleren)

Je hebt twee identieke bekgelazen voor je staan, de bekers. Ontwerp een isolatielaag die de warmte zo lang mogelijk vasthoudt en isoleer één beker volgens dit ontwerp. Er zijn drie eisen waaraan je ontwerp voor de isolatielaag moet voldoen:

- De isolatielaag weegt maximaal 300 gram.
- De beker kan gevuld worden met water.
- Een thermometer kan geplaatst worden in de beker.

Uitvoering (testen)

Je gaat de isolatielaag testen. Start met het aflezen van de omgevingstemperatuur. Plaats vervolgens in elke beker een thermometer en vul de twee bekers met 200 gram water (65 °C). Lees elke 30 seconden de temperatuur af in beide bekers en zet de meetresultaten in de tabel op het werkblad. Je meet op deze manier het temperatuurverloop van het water in beide bekers.

Verwerking

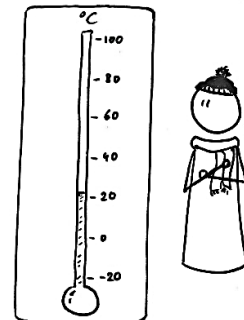
Bereken voor beide bekers, met behulp van de gemeten temperatuurverandering, de hoeveelheid warmte die is verdwenen uit het water. Bereken vervolgens de warmtestroom door de wand van de bekers op $t = 3$ minuten en bereken hiermee de warmtegeleidingscoëfficiënt van de isolatielaag.

Conclusie

Beantwoord de onderzoeksvragen.

Klaar?

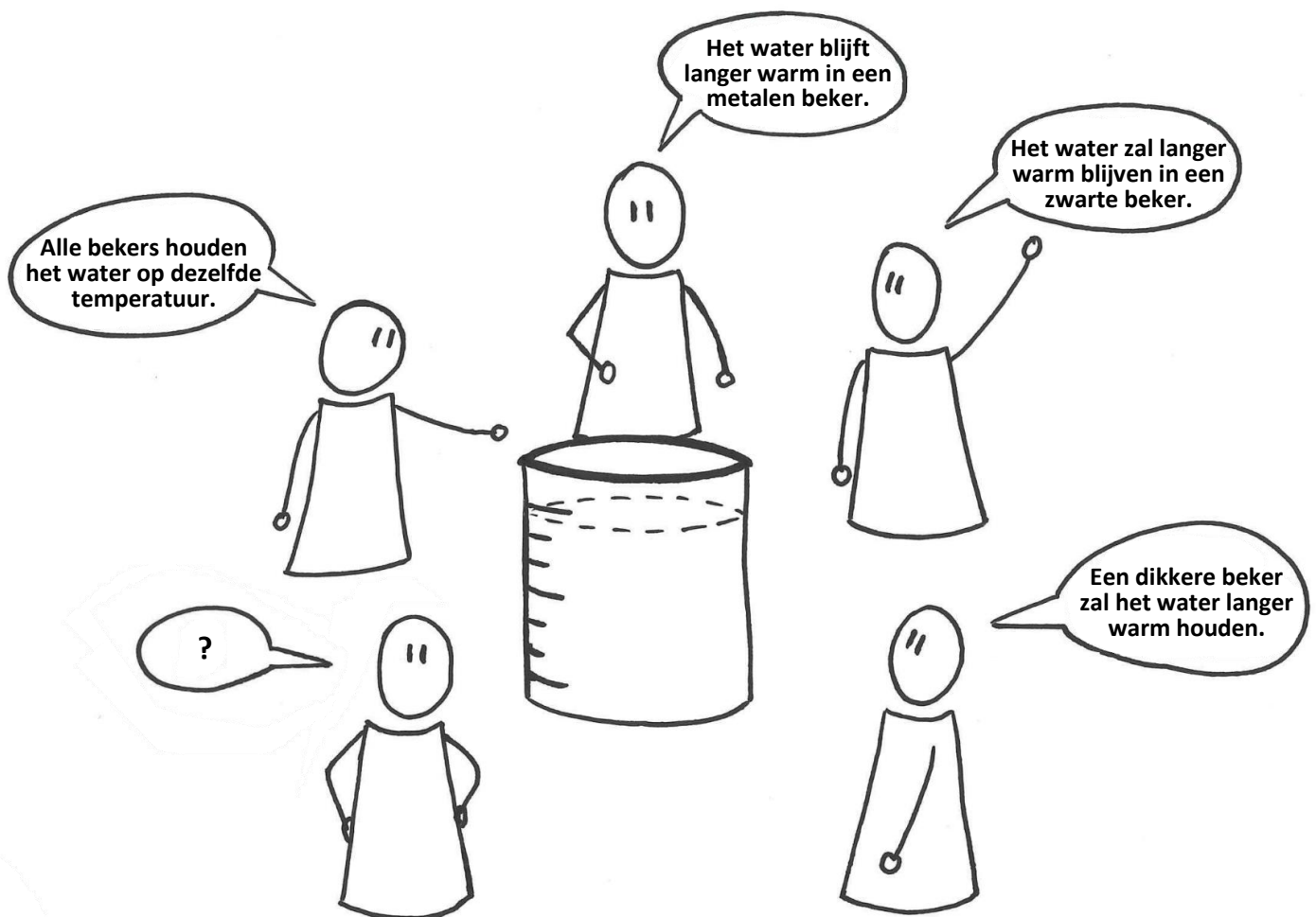
Maak een foto van de opstelling en ruim je werkplek op. Verwijder de isolatielaag en plaats de materialen schoon en droog terug in de doos voor de volgende groep.



Wacht met de eerste meting tot de thermometer de juiste temperatuur aangeeft.

Verzamel thuis isolatiematerialen om de beker mee te isoleren. Mocht je thuis niet over voldoende materialen beschikken, dan kun je gebruik maken van de isolatiematerialen op school:

- | | |
|------------------|---------------------|
| - Theedoek | - Schuurspons |
| - Zand | - Rubber/folie |
| - Hout | - Karton |
| - Aluminiumfolie | - Play-Doh |
| - Touw | - Bubbeltjesplastic |
| - Papier | - Koffiefilter |
| - Messing plaat | - IJzeren plaat |
| - Piepschuim | - Plexiglas |
| - Mais schuim | |



E Werkblad

Practicum uit de doos: Beker isoleren

Tijdens dit practicum zal data worden verzameld in het teken van een onderzoek voor de lerarenopleiding van de Universiteit Twente. De verzamelde data zal bestaan uit observaties van de practicumuitvoering, het ingeleverde werkblad, de conceptvragen van het inschrijfformulier en optioneel een interview over het practicum. Bij de verwerking worden de gegevens geanonimiseerd en alle observaties, anders dan het ingevulde werkblad, zullen alleen worden gebruikt voor het uitvoeren van dit onderzoek, de observaties hebben geen invloed op een cijfer. Heb je vragen over dit onderzoek of over de verwerking van gegevens, dan kun je contact opnemen met Annelotte Bex, a.bex@twentscarmelcollege.nl.

Toestemming *

Ik geef hierbij toestemming voor het verwerken van bovengenoemde gegevens.

Naam: Ja / Nee

Werkblad

Voor het beantwoorden van de vragen bij dit practicum kun je gebruik maken van het lesboek Systematische Natuurkunde, de Binas en het internet.

Deel 1: isoleren

Je ontwerpt een isolatielaag voor het zo lang mogelijk vasthouden van de warmte in de beker. Beantwoord de volgende vragen:

1.1. Welke vormen van warmtetransport wil je met de isolatielaag verminderen? Leg uit.

1.2. Welk materiaal kies je om te gebruiken als isolatielaag? Leg uit.

1.3. Maak een tekening van je ontwerp en noteer hierbij de afmetingen van de isolatielaag. Geef de verschillende vormen van warmtetransport, beschreven bij vraag 1.1., aan in de tekening.

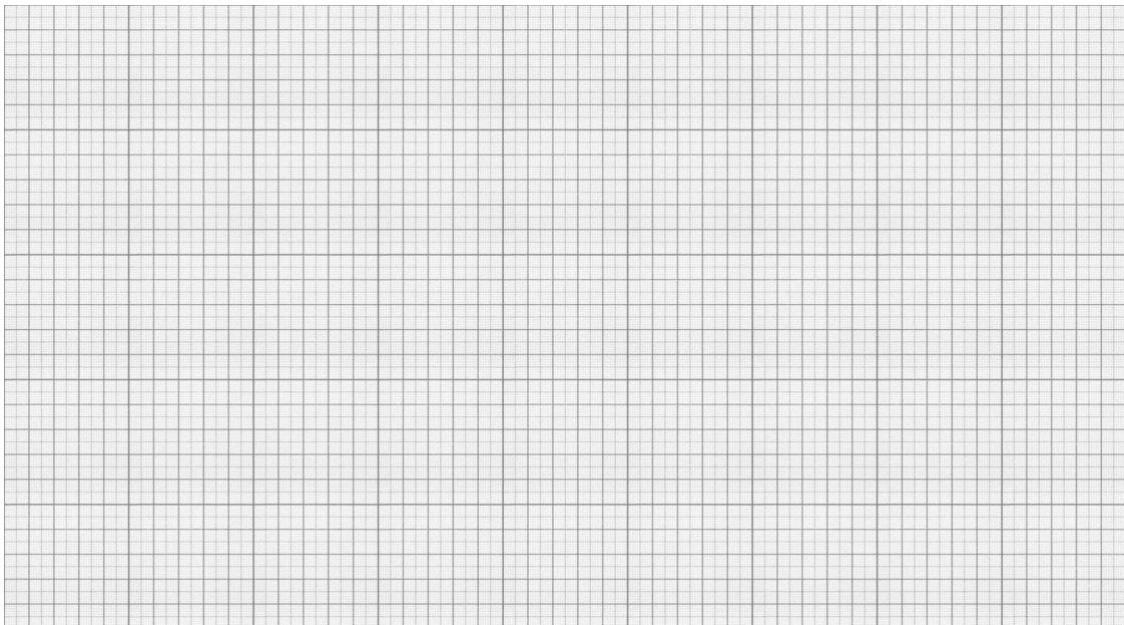


1.4. Soleer de beker en voeg een foto toe van de geïsoleerde beker naast de niet geïsoleerde beker.



1.5. Hoe worden de verschillende vormen van warmtetransport (stroming, geleiding en straling) verhinderd door de aangebrachte isolatie?

1.6. Schets het verwachte (T,t)-diagram van beide bekert in één grafiek, gebruik twee verschillende kleuren. Neem aan dat de begintemperatuur van het water 65 °C is en de omgevingstemperatuur 20 °C.



2.1. Zet de meetresultaten in onderstaande tabellen.

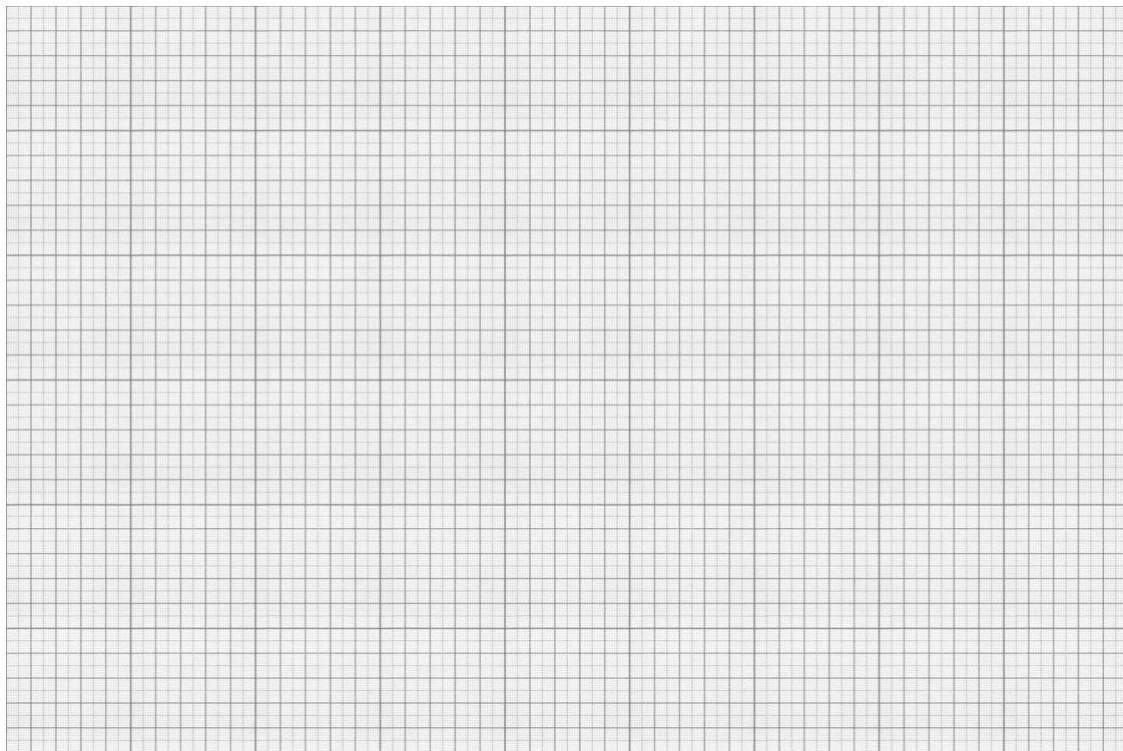
Tabel 1: Omgevingstemperatuur

--

Tabel 2: Temperatuurverloop over de tijd van de geïsoleerde en niet geïsoleerde beker.

<i>Tijd (min)</i>	<i>Tijd (sec)</i>	<i>Geïsoleerde beker (°C)</i>	<i>Niet geïsoleerde beker (°C)</i>
0,0	0		
0,5	30		
1,0	60		
1,5	90		
2,0	120		
2,5	150		
3,0	180		
3,5	210		
4,0	240		
4,5	270		
5,0	300		
5,5	330		
6,0	360		
6,5	390		
7,0	420		
7,5	450		
8,0	480		
8,5	510		
9,0	540		
9,5	570		
10,0	600		

2.2. Teken het temperatuurverloop van de geïsoleerde en niet geïsoleerde beker in één (T,t)-diagram.



2.3. Vergelijk het (T,t)-diagram van het gemeten temperatuurverloop met het (T,t)-diagram van het verwachte temperatuurverloop, wat zijn de overeenkomsten en wat zijn de verschillen?

2.4. Wat is het effect van de aangebrachte isolatielaag? Beschrijf de verschillen in het temperatuurverloop van de twee bekert.

Deel 3: verwerking

Je gaat de warmtestroom berekenen door de wand van de twee bekers.

- 3.1. Bereken de totale warmte die in 10 minuten uit de geïsoleerde beker is ontsnapt. **Tip:** gebruik de formule voor de soortelijke warmte uit de Binas en beschrijf wat ΔT bij deze formule betekent.

- 3.2. Vergelijk de totale warmte die in 10 minuten uit de geïsoleerde beker is ontsnapt met de totale warmte die in dezelfde tijd uit de niet geïsoleerde beker is ontsnapt. Komt het verschil overeen met je verwachtingen? Leg uit.

- 3.3. Bereken voor de geïsoleerde beker op $t = 3$ minuten de warmtestroom, P , van het water naar de omgeving. **Tip:** gebruik een raaklijn aan de grafiek en bepaal hiermee eerst de warmte, Q .

Warmtestroom geïsoleerde beker =

3.4. Bereken de warmtegeleidingscoëfficiënt van de wand van de geïsoleerde beker. Neem hierbij aan dat alle warmte die aan de omgeving wordt afgegeven door de wand van de beker naar buiten gaat. Het oppervlak van de wand van de beker is $0,022 \text{ m}^2$.

Tip: wat betekent ΔT en welke waarden gebruik je om ΔT te berekenen?

3.5. Vergelijk de berekende warmtegeleidingscoëfficiënt met de waarden in de Binas, met welk materiaal komt de berekende warmtegeleidingscoëfficiënt overeen?

3.6. Is de berekende warmtegeleidingscoëfficiënt zoals verwacht? Leg uit hoe je een eventueel verschil zou kunnen verklaren.

3.7. Stel je ontwerpt een nieuwe isolatielaag, als je alleen kijkt naar de warmtegeleidingscoëfficiënt, welk materiaal zou je dan gebruiken? Leg uit.

Deel 4: conclusie

Beantwoord de volgende vragen:

- 4.1. Geef nu, na je metingen, nogmaals aan hoe de verschillende vormen van warmtetransport (geleiding, straling en stroming) door je isolatielaag zijn verhinderd. Welke vorm van warmtetransport zal het grootste warmteverlies veroorzaken in de niet geïsoleerde beker? Leg uit.

- 4.2. Hoe zou je de isolatielaag kunnen verbeteren?

- 4.3. Hoe kun je de warmtestroom door de wand van een beker bepalen?

F Selectie conceptvragen

Voorafgaand en na afloop van het practicum uit de doos worden leerlingen gevraagd een zestal conceptvragen te beantwoorden die betrekking hebben op subdomein D1 'Eigenschappen van stoffen en materialen'. Deze conceptvragen zijn afkomstig uit een diagnostische test over warmte en temperatuur en zijn gebaseerd op een onderzoek van Yeo en Zadnik (Yeo & Zadnik, 2001; Stoop, 2013). De conceptvragen, bijbehorende misconcepten en mogelijke verklaringen voor de verschillende antwoordopties worden hieronder weergegeven. De misconcepten waar tijdens het onderzoek op wordt gefocust zijn hierbij onderstreept.

Vraag 1

Lin neemt twee kopjes water van $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ en mengt ze met één kopje water van $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Wat is de meest waarschijnlijke temperatuur van het mengsel?

- (A) $20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- (B) $25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- (C) $30\text{ }^{\circ}\text{C}$
- (D) $50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Misconcepten

1. Warmte is proportioneel aan de temperatuur.
2. Warmte is geen meetbaar, kwantificeerbaar concept.
3. Een koud voorwerp bevat geen warmte.
4. Temperatuur kan worden overgedragen.

Toelichting antwoorden

- (A) $20\text{ }^{\circ}\text{C}$: Misconcept 3. De leerling ziet het kopje water van $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ als een koud voorwerp en verdeelt vervolgens de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ over de twee kopjes. Of de leerling verwacht dat wanneer de temperatuur van de warme kopjes halveert en de temperatuur van de koude kopjes verdubbelt.
- (B) $25\text{ }^{\circ}\text{C}$: Misconcept 4. De leerling leest een temperatuur van $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ en een temperatuur van $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, dit middelen geeft $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, de hoeveelheid maakt niet uit.
- (C) $30\text{ }^{\circ}\text{C}$: Het juiste antwoord.
- (D) $50\text{ }^{\circ}\text{C}$: Misconcept 1 en/of 2. De leerling telt $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ en $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ bij elkaar op, wat resulteert in $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Vraag 2

Sem neemt een blikje Red Bull uit de koelkast en plaatst het op het aanrecht, het blikje heeft een temperatuur van $7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na een aantal minuten pakt Sem het blikje op van het aanrecht en vertelt aan iedereen dat het aanrecht eronder kouder aanvoelt dan de rest van het aanrecht. Welke uitleg vind je het beste?

- (A) Job zegt "De koude is van de Red Bull overgegaan naar het aanrecht."
- (B) Rob zegt: "Er is geen energie meer over in het aanrecht onder het blikje."
- (C) Sue zegt: "Er is een hoeveelheid warmte overgegaan van het aanrecht naar de Red Bull."
- (D) Eli zegt: "Het blikje zorgt ervoor dat de warmte eronder, door het aanrecht heen wegtrekt."

Misconcepten

1. Warmte is een substantie.
2. Warmte en koude zijn verschillend, in plaats van tegengestelde einden van een continuüm.
3. Waarnemingen van warmte en koude zijn niet gerelateerd aan energieoverdracht.
4. Een koud voorwerp bevat geen warmte.
5. Warmte en koude vloeien zoals vloeistoffen.
6. Bij voorwerpen met een verschillende temperatuur die in contact staan met elkaar, of in contact staan met lucht met een andere temperatuur, is het niet noodzakelijk dat de eindtemperatuur overeenkomt.

Toelichting antwoorden

- (A) Misconcept 2 en/of 5.
- (B) Misconcept 3 en/of 6.
- (C) Het juiste antwoord.
- (D) Misconcept 1 en/of 4.

Vraag 3

Nadat hij wat eieren heeft gekookt, koelt Job ze af door ze in een schaalte koud water te leggen. Hoe verklaar je het afkoelingsproces?

- (A) Temperatuur gaat van de eieren naar het water.
- (B) Kou gaat van het water naar de eieren.
- (C) Hete voorwerpen koelen vanzelf af.
- (D) Er gaat energie over van de eieren naar het water.

Misconcepten

1. Warmte en koude zijn verschillend, in plaats van tegengestelde einden van een continuüm.
2. Warmte en koude vloeien zoals vloeistoffen.
3. Temperatuur kan worden overgedragen.
4. Warme voorwerpen koelen van naturen af en koude voorwerpen warmen van naturen op.

Toelichting antwoorden

- (A) Misconcept 3.
- (B) Misconcept 1 en/of 2.
- (C) Misconcept 4.
- (D) Het juiste antwoord.

Vraag 4

Amy neemt twee glazen flessen met water van $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en wikkelt de ene in een droge theedoek en de andere in een natte. Na 20 minuten meet ze in beide flessen de temperatuur van het water. In de fles met de natte theedoek is het water $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ en in de fles met de droge theedoek is het water $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. De meest waarschijnlijke temperatuur in de kamer was tijdens dit experiment:

- (A) $26\text{ }^{\circ}\text{C}$
- (B) $21\text{ }^{\circ}\text{C}$
- (C) $20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- (D) $18\text{ }^{\circ}\text{C}$

Misconcepten

1. Bij voorwerpen met een verschillende temperatuur die in contact staan met elkaar, of in contact staan met lucht met een andere temperatuur, is het niet noodzakelijk dat de eindtemperatuur overeenkomt.
2. Materialen zoals wol hebben het vermogen om dingen op te warmen.

Toelichting antwoorden

- (A) $26\text{ }^{\circ}\text{C}$: Het juiste antwoord
- (B) $21\text{ }^{\circ}\text{C}$: Misconcept 1 en 2.
- (C) $20\text{ }^{\circ}\text{C}$: Misconcept 1 en 2.
- (D) $18\text{ }^{\circ}\text{C}$: Misconcept 2.

Vraag 5

Waardoor helpt het als je een trui draagt bij koud weer?

- (A) Dat houdt de kou buiten.
- (B) Dat genereert warmte.
- (C) Dat voorkomt dat je warmte kwijtraakt.
- (D) Alle uitspraken hierboven zijn juist.

Misconcepten

1. Warmte en koude zijn verschillend, in plaats van tegengestelde einden van een continuüm.
2. Materialen zoals wol hebben het vermogen om dingen op te warmen.

Toelichting antwoorden

- (A) Misconcept 1.
- (B) Misconcept 2.
- (C) Het juiste antwoord.
- (D) Misconcept 1 en/of 2.

Vraag 6

Joop giet 500 mL water van $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ van glas A over naar twee andere glazen. Glas B krijgt 250 mL en glas C ook. Wat is meteen na het overgieten de temperatuur in de glazen B en C?

- (A) $15\text{ }^{\circ}\text{C}$
- (B) $30\text{ }^{\circ}\text{C}$
- (C) $60\text{ }^{\circ}\text{C}$

Misconcepten

1. Warmte is een substantie.
2. Warmte is proportioneel aan de temperatuur.
3. Temperatuur kan worden overgedragen.

Toelichting antwoorden

- (A) $15\text{ }^{\circ}\text{C}$: Misconcept 2 en/of 3.
- (B) $30\text{ }^{\circ}\text{C}$: Het juiste antwoord.
- (C) $60\text{ }^{\circ}\text{C}$: Misconcept 1.

G Conceptvragen

Hieronder staan een aantal vragen die gebruikt zullen worden om te kijken wat het effect is van het practicum op de kennis over warmte en temperatuur. De resultaten van deze vragen zullen gebruikt worden in een onderzoek voor de lerarenopleiding van de Universiteit Twente. Heb je vragen over dit onderzoek of over de verwerking van de antwoorden, dan kun je contact opnemen met Annelotte Bex, a.bex@twentscarmelcollege.nl.

Lees onderstaande vragen goed door en omcirkel het antwoord dat volgens jou het beste is. Je mag maar één antwoord per vraag aankruisen!

1. Lin neemt twee kopjes water van 40 °C en mengt ze met één kopje water van 10 °C. Wat is de meest waarschijnlijke temperatuur van het mengsel?
A) 20 °C **B)** 25 °C **C)** 30 °C **D)** 50 °C
2. Sem neemt een blikje Red Bull uit de koelkast en plaatst het op het aanrecht, het blikje heeft een temperatuur van 7 °C. Na een aantal minuten pakt Sem het blikje op van het aanrecht en vertelt aan iedereen dat het aanrecht eronder kouder aanvoelt dan de rest van het aanrecht.
A) Job zegt: "De koude is van de Red Bull overgegaan naar het aanrecht."
B) Rob zegt: "Er is geen energie meer over in het aanrecht onder het blikje."
C) Sue zegt: "Er is een hoeveelheid warmte overgegaan van het aanrecht naar de Red Bull."
D) Eli zegt: "Het blikje zorgt ervoor dat de warmte eronder, door het aanrecht heen wegtrekt."
Welke uitleg vind je het beste?
3. Nadat hij wat eieren heeft gekookt, koelt Job ze af door ze in een schaalteje koud water te leggen. Hoe verklaar je het afkoelingsproces?
A) Temperatuur gaat van de eieren naar het water.
B) Kou gaat van het water naar de eieren.
C) Hete voorwerpen koelen vanzelf af.
D) Er gaat energie over van de eieren naar het water.
4. Amy neemt twee glazen flessen met water van 20 °C en wikkelt de ene in een droge theedoek en de andere in een natte. Na 20 minuten meet ze in beide flessen de temperatuur van het water. In de fles met de natte theedoek is het water 18 °C en in de fles met de droge theedoek is het water 22 °C. De meest waarschijnlijke temperatuur in de kamer was tijdens dit experiment:
A) 26 °C **B)** 21 °C **C)** 20 °C **D)** 18 °C
5. Waardoor helpt het als je een trui draagt bij koud weer?
A) Dat houdt de kou buiten.
B) Dat genereert warmte.
C) Dat voorkomt dat je warmte kwijtraakt.
D) Alle uitspraken hierboven zijn juist.
6. Joop giet 500 mL water van 30 °C van glas A over naar twee andere glazen. Glas B krijgt 250 mL en glas C ook. Wat is meteen na het overgieten de temperatuur in de glazen B en C?
A) 15 °C **B)** 30 °C **C)** 60 °C

H Getting Practical Fromulier

Practicum 2. Beker isoleren	ACTIVITEIT	
	Wat zijn de leerdoelen van een praktische activiteit? (Ik plande dat mijn leerlingen in staat waren om...)	
X	A1. Weergeven wat is waargenomen	A. Natuurwetenschappelijke kennis en inzicht ontwikkelen
	A2. Waarnemingen met elkaar in verband brengen (bijv. overeenkomst, verschil, trend)	
X	A3. Een concept, verklaring, model of theorie beter begrijpen	B. Gebruik van apparatuur; uitvoeren van gangbare werkwijzen
	B1. Kennismaken met apparatuur en/of gangbare werkwijzen	
	B2. Verder oefenen met apparatuur en/of gangbare werkwijzen	C. Inzicht ontwikkelen wat betreft het doen van natuurwetenschappelijk onderzoek C2. Bepaalde aspecten leren van het doen van onderzoek
	C1. Beter begrijpen hoe je onderzoek doet	
	C2a. Een onderzoeksvraag stellen	
	C2b. Een plan van aanpak opstellen	
	C2c. Risico's evalueren (veilig werken)	
	C2d. Relevante gegevens verzamelen	
	C2e. Gegevens effectief presenteren	
X	C2f. Gegevens verwerken en interpreteren	
X	C2g. Conclusies trekken over de onderzoeksvraag op grond van de gegevens	
X	C2h. De getrokken conclusies evalueren	
X	D1 Motiveren	D Affectieve en sociale doelen
X	D2 Actief leren	
X	D3 Samenwerken leren/stimuleren	



Voortgezet onderwijs

Overzicht praktische activiteiten

I Practicumopstellingen



J Werkblad uitwerkingen

In deze bijlage is een selectie opgenomen van de antwoorden van leerlingen uit de werkbladen om een indruk te krijgen van het ingeleverde materiaal.

1.1. Welke vormen van warmtetransport wil je met de isolatielaag verminderen? Leg uit.

Warmte geleiding want daardoor gaat de warmte naar Buiten.
Warmte stroming want dat het water warm zal Blijven

Warmte geleiding wil je tegen gaan want dit kan erg goed met een goeie isolatielaag. Zodat het niet makkelijk door het ~~metaal~~ geleid omdat er dan isolatie om heen zit.

Warmte stroming kan je ook verminderen als je er voor zorgt dat er geen lucht tussen het metaal en de isolatie laag/materiaal zit zodat er geen warmte naar buiten kan stromen.

Warmte straling kan je ook verminderen als je er voor zorgt dat er een laagje om je isolatie laag heen zit wat de straling weerkaatst. Bijvoorbeeld een zilver laagje.

Geleiding, straling en stroming want de warmte kan niet naar buiten door geleiding omdat glas warmte slecht doorlaat. De warmte kan niet naar buiten door stroming omdat er geen lucht zit tussen het glas. De warmte kan ook niet naar buiten door straling omdat er op het glas een laagje zilver zit dat de straling weerkaatst.

STRALING en geleiding WARMTE TRANSPORT
OMDAT JE Hier het meeste AAN verliest

Warmtegeleiding, het geleid vanaf
warmte, naar glas, naar isolatiemateriaal

1.2. Welk materiaal kies je om te gebruiken als isolatielaag? Leg uit.

klei want het is dik en ~~lost~~ ~~er~~ rubber werkt ook goed tegen elektriciteit dus ook wel tegen warmte

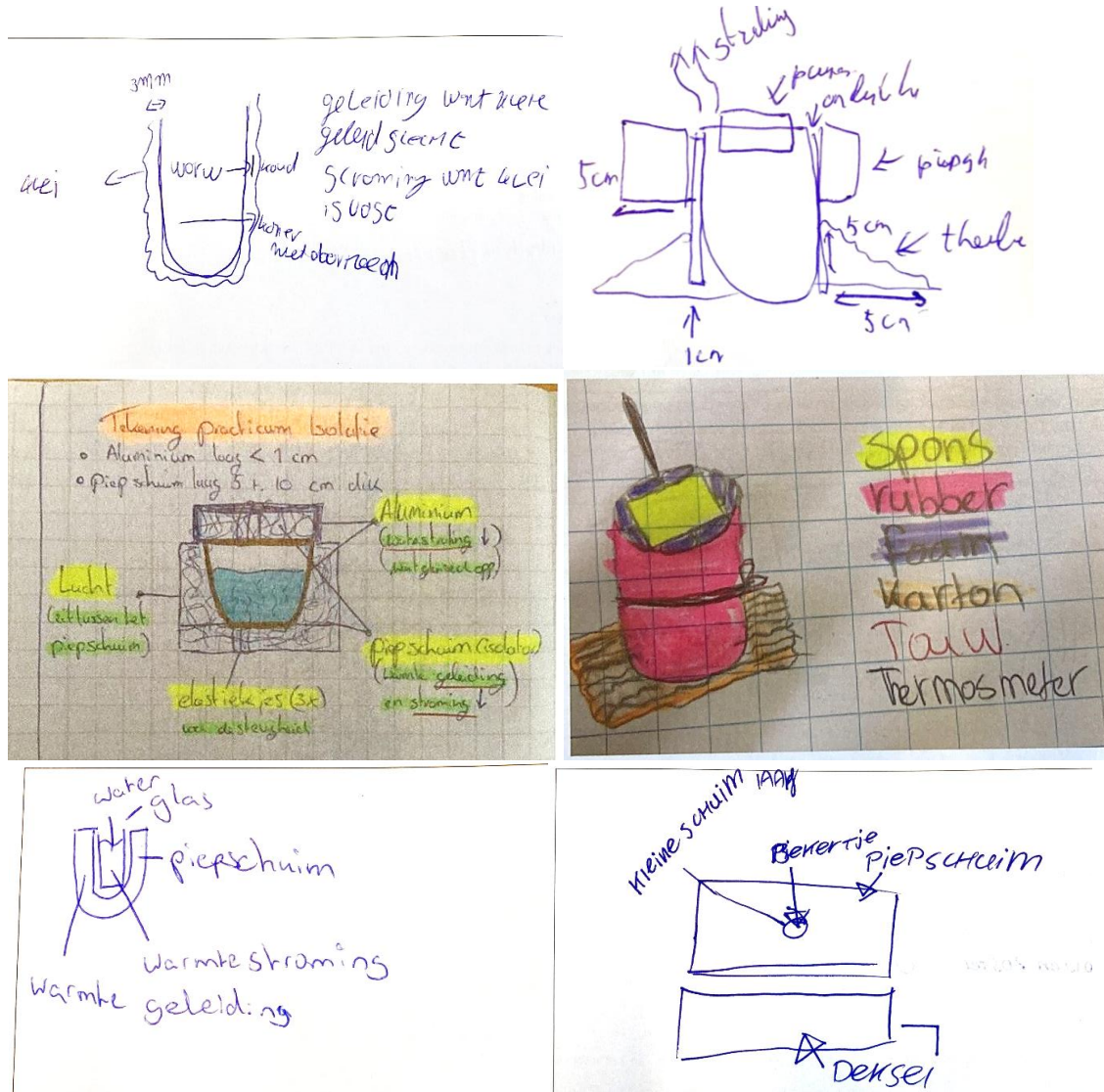
piepschuim, wordt vaak gebruikt als isolatie

Ik kies voor aluminium folie omdat dit goed aan zal sluiten op de beker en het de straling ook nog eens weerkaatst door het zilveren laagje.

De beste isolator is glaswol, maar we weten niet of dit mogelijk is om te gebruiken, omdat het niet aanwezig is op school of in huis. We zouden hout/piepschuim of zelfs glas kunnen gebruiken. We hebben gekozen voor Aluminiumfolie met piepschuim gecombineerd. Dit is een goeie combi.

We willen een dubbele wand gemaakt van glas met een laagje aluminium folie, hierdoor blijft de inhoud van de beker warm. We hebben rubber om het beker glas gedaan, we denken dat rubber goed isoleert omdat het een hoge soortelijke weerstand heeft.

1.3. Maak een tekening van je ontwerp en noteer hierbij de afmetingen van de isolatielaag. Geef de verschillende vormen van warmtetransport, beschreven bij vraag 1.1., aan in de tekening.



1.4. Hoe worden de verschillende vormen van warmtetransport (stroming, geleiding en straling) verhinderd door de aangebrachte isolatie?

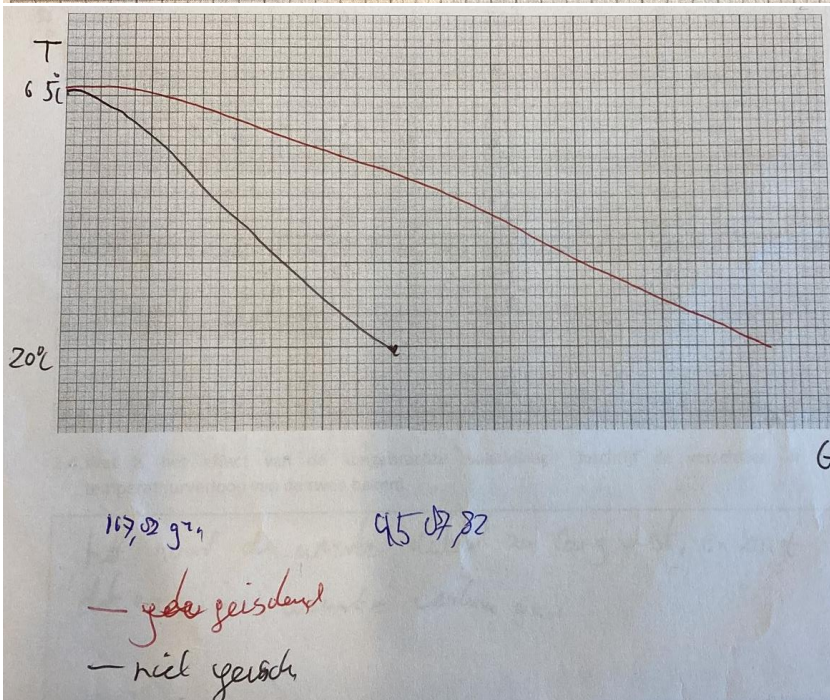
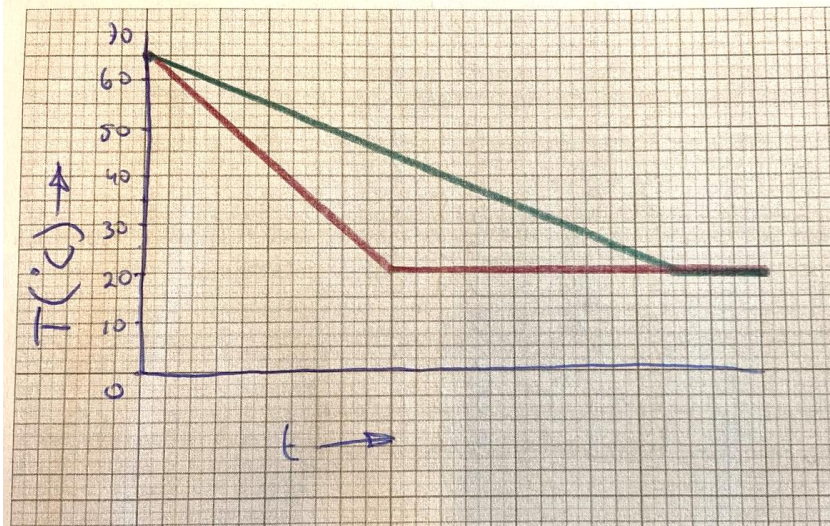
Stroming verhinder je doordat er geen lucht tussen zit.
Straling verhinder je doordat de zilverkleur ~~het~~ de warmte weerkaatst.
Geleiding verhinder je omdat er ~~al~~ aluminium om heen zit.

1. Bij Warmtestroming houden we tegen met behulp van het piepschuim en de lucht die daar zich tussen bevindt. Dit komt omdat het beide goede isolators zijn en het dus minder snel warm wordt, daarom blijft het water warmer
2. Bij Warmtegeleiding houden we tegen ook met behulp van het piepschuim en lucht. Het zijn twee goede isolators dus de warmte geleid slecht.
3. Bij Warmtestraling houden we tegen met behulp van het aluminiumfolie, dit is een glanzend metaal dat straling als het ware weerkaatst en zo binnen de bekeek houdt. Zodat het water langer warm blijft.

Straling wordt verhinderd omdat er door het laagje zilver een weerkaatsing kan ontstaan.
Stroming wordt verhinderd omdat er tussen de twee bekerglazen geen lucht zit.
Geleiding wordt verhinderd omdat glas warmte slecht door laat.

Stroming wordt tegengegaan doordat op de bovenste laag van het tempex dichtzit met een ronde vulling waardoor het wordt afgesloten maar dat je nog steeds de temperatuur kunt aflezen. Straling wordt niet zo veel gehinderd door de isolatie omdat er bijna niks reflecterend erin zit. Geleiding wordt tegengegaan door het tempex zelf omdat dat warmte goed isoleert en dus goed binnen houdt.

- 1.6. Schets het verwachte (T,t)-diagram van beide bekert in één grafiek, gebruik twee verschillende kleuren. Neem aan dat de begintemperatuur van het water 65 °C is en de omgevingstemperatuur 20 °C.



3.7. Stel je ontwerpt een nieuwe isolatielaag, als je alleen kijkt naar de warmtegeleidingscoëfficiënt, welk materiaal zou je dan gebruiken? Leg uit.

Een vaste stof met een lage warmtegeleidingscoëfficiënt. Zoals baksteen of beton.

Aluminium want die heeft de
hoogste warmtegeleidingscoëfficiënt

hout, want deze heeft een lage warmte-
geleidingscoëfficiënt en dus isoleert
heel goed

Kurk, keukenzout, polystreen of zwavel omdat deze stoffen een lage
warmtegeleidingscoëfficiënt hebben.

nog meer piepschuim

4.1. Geef nu, na je metingen, nogmaals aan hoe de verschillende vormen van warmtetransport (geleiding, straling en stroming) door je isolatielaag zijn verhinderd. Welke vorm zal het grootste warmteverlies veroorzaken in de niet geïsoleerde beker? Leg uit.

Bij ons is er geen vorm van warmtetransport
verhinderd, wij denken dat warmtestroming
het meeste warmteverlies heeft

ik verwacht aan geleiding want
straling en stroming was er bijna
niet

K Checklist practicum uit de doos

Practicumdoel:

- ☐ Het ondersteunen van het begrip van de theorieën en concepten uit de les.
- ☐ Het motiveren van leerlingen en het wekken van interesse.
- ☐ Het ontwikkelen van praktische en probleemoplossende vaardigheden.
- ☐ Het leren uitvoeren van (wetenschappelijk) onderzoek.
- ☐ Het begrijpen en waarderen van de experimentele wetenschap.

Belangrijkste leerdoelen:

1.
2.
3.

Algemeen:

Vereiste instrumentvaardigheden:

Vereiste onderzoeksvaardigheden:

Tijdsduur practicum: minuten

Vorbereidingstijd TOA: minuten

Aantal opstellingen:

Materialen in de doos:

- ☐
- ☐
- ☐
- ☐
- ☐
- ☐

Overige materialen:

- ☐
- ☐
- ☐

Geschikt voor:

- | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| ☐ havo 3 | ☐ havo 4 | ☐ havo 5 | |
| ☐ vwo 3 | ☐ vwo 4 | ☐ vwo 5 | ☐ vwo 6 |

Het practicum voldoet aan:

- ☐ Het practicum is veilig.
- ☐ Alleen basistoezicht is vereist.
- ☐ Het practicummateriaal is duidelijk.
- ☐ Het practicum kan zonder directe begeleiding worden uitgevoerd.
- ☐ Het practicum draagt bij aan het behalen van het practicumdoel en de belangrijkste leerdoelen (*analyse leerdoelen via het groene Getting Practical formulier*).
- ☐ Uit het inlevermateriaal blijkt of het practicumdoel en de leerdoelen zijn behaald.
- ☐ Het inlevermateriaal maakt inzichtelijk waarom het practicumdoel en de leerdoelen wel of niet zijn behaald.
- ☐ De resultaten van het practicum worden niet beïnvloed door vaardigheden anders dan de vereiste vaardigheden.
- ☐ De opstelling kan zelfstandig door leerlingen worden opgeruimd.
- ☐ Het practicum kan worden uitgevoerd binnen de beschikbare practicum tijd.
- ☐ De benodigde practicummaterialen zijn beschikbaar voor het aantal opstellingen.
- ☐ Het practicum kan binnen de beschikbare tijd van de TOA worden voorbereid.

K.1 Inge vulde checklist practicum uit de doos

Practicumdoel:

- ☒ Het ondersteunen van het begrip van de theorieën en concepten uit de les.
- ☐ Het motiveren van leerlingen en het wekken van interesse.
- ☐ Het ontwikkelen van praktische en probleemoplossende vaardigheden.
- ☐ Het leren uitvoeren van (wetenschappelijk) onderzoek.
- ☐ Het begrijpen en waarderen van de experimentele wetenschap.

Belangrijkste leerdoelen:

1. De leerlingen kunnen het concept warmte transport toepassen op een praktische situatie.
2. De leerlingen kunnen materiaal eigenschappen koppelen aan warmtestroom.
3. De leerlingen kunnen hun ontwerp evalueren op basis van verkregen resultaten.

Algemeen:

Vereiste instrument vaardigheden: *Gebruik van thermometer, weegschaal en stopwatch*
Vereiste onderzoeksvaardigheden: *Opstelling bedenken, waarnemingen noteren, grafiek tekenen en aflezen, berekeningen*
Tijdsduur practicum: *40* minuten *uitvoeren, analyseren en concluderen.*
Vorbereidingstijd TOA: *2* minuten
Aantal opstellingen: *4*

Materialen in de doos:

- ☒ *2 thermometers (0 - 100 °C)*
- ☒ *2 bekeerglazen*
- ☒ *Stopwatch*
- ☒ *Isolatie materialen (gevaarlijk, ten minste 10 verschillende materialen, ook geleidend)*
- ☒ *Taun*
- ☒ *Schaar*

Overige materialen:

- ☒ *Strook (80 °C)*
- ☒ *Weegschaal*
- ☒ *Water (400 ml)*

Geschikt voor:

- | | | | |
|---------------------------------|--|---------------------------------|--------------------------------|
| ☐ havo 3 | ☒ havo 4 | ☐ havo 5 | |
| ☐ vwo 3 | ☐ vwo 4 | ☐ vwo 5 | ☐ vwo 6 |

Het practicum voldoet aan:

- ☒ Het practicum is veilig.
- ☒ Alleen basis toezicht is vereist.
- ☒ Het practicum materiaal is duidelijk.
- ☒ Het practicum kan zonder directe begeleiding worden uitgevoerd.
- ☒ Het practicum draagt bij aan het behalen van het practicumdoel en de belangrijkste leerdoelen (*analyse leerdoelen via het groene Getting Practical formulier*).
- ☒ Uit het inlevermateriaal blijkt of het practicumdoel en de leerdoelen zijn behaald.
- ☒ Het inlevermateriaal maakt inzichtelijk waarom het practicumdoel en de leerdoelen wel of niet zijn behaald.
- ☒ De resultaten van het practicum worden niet beïnvloed door vaardigheden anders dan de vereiste vaardigheden.
- ☒ De opstelling kan zelfstandig door leerlingen worden opgeruimd. ← *Materialen worden soms niet opgeborgen.*
- ☒ Het practicum kan worden uitgevoerd binnen de beschikbare practicum tijd. ← *Zelfs zonder voorbereiding.*
- ☒ De benodigde practicum materialen zijn beschikbaar voor het aantal opstellingen.
- ☒ Het practicum kan binnen de beschikbare tijd van de TOA worden voorbereid. ← *Alleen de stoof aan zetten en materialen controleren.*

L Implementatie

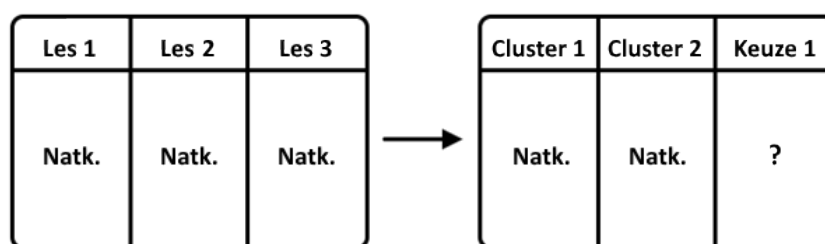
In paragraaf 3.3 is beschreven hoe gekeken zal worden naar de mogelijkheden voor het inzetten van practica binnen de sectie natuurkunde van het TCC. In deze bijlage worden de bijbehorende resultaten besproken. De focus ligt hierbij op het inventariseren van de veranderingen en mogelijkheden die ontstaan door invoering van het nieuwe onderwijs scenario Flexibilisering en Maatwerk (F&M). Vanuit dit nieuwe scenario wordt gekeken naar het inzetten van practica, met in het bijzonder het practicum uit de doos. Een samenvatting van deze resultaten is opgenomen in paragraaf 4.2.

L.1 Flexibilisering en Maatwerk

F&M is in hoofdzaak gebaseerd op het vergroten van keuzemogelijkheden voor leerlingen. De invoering van F&M zal plaatsvinden na de kerstvakantie van het schooljaar 2021-2022 en zal naar verwachting een grote impact hebben op zowel leerlingen als medewerkers. Het is dan ook van belang dat tijdig wordt begonnen met het inventariseren van de veranderingen als gevolg van de invoering van F&M en het treffen van de bijbehorende voorbereidingen binnen de verschillende vaksecties. Informatie over F&M is verkregen via een gesprek met de ontwikkelgroep F&M (S. Wensink, persoonlijke communicatie, 30 augustus 2021).

L.1.1 Clusteruren en keuze-uren

Door de invoering van F&M krijgen leerlingen van het TCC de mogelijkheid om hun lesrooster voor een deel zelf samen te stellen. Dit resulteert in het optimale geval in een vermindering van het aantal tussenuren en vergroot de effectieve lestijd op school. Leerlingen volgen een vastgesteld rooster met klassikale lesuren en kiezen tweewekelijks hoe zij de overige lesuren indelen. De klassikale lesuren, vanaf nu aangeduid als clusteruren, zijn lesuren vergelijkbaar met de lessen uit het huidige rooster. Leerlingen hebben in de clusteruren een vaste klas en krijgen les van een vaste docent. Per vak bedraagt het aantal clusteruren per week ongeveer twee derde deel van het huidige aantal lesuren. De lesuren die overblijven worden 'vrij' door de leerling te kiezen keuze-uren. Alleen wanneer de mentor in samenspraak met de leerling bepaalde voorwaarden stelt bij het indelen van deze keuze-uren, dient de leerling hier rekening mee te houden bij het maken van zijn keuze.



Figuur 2 – Verandering van het huidige rooster naar het nieuwe scenario (F&M) met als voorbeeld het vak natuurkunde.

De clusteruren zijn bedoeld voor het behandelen van de kern van een vak, in de clusteruren wordt dan ook het basisprogramma aangeboden. Extra ondersteuning of verdieping wordt aangeboden in de keuze-uren. De keuze-uren zijn lesuren die geen deel uitmaken van het standaard lesprogramma, maar zullen verder wel dezelfde structuur volgen als deze lesuren. De keuze-uren zijn niet bedoeld als huiswerkuren, het wordt van de docent verwacht dat er een duidelijk lesplan klaarligt dat specifiek is gericht op een bepaalde groep leerlingen. Bij het aanbieden van keuze-uren bepaalt de vaksectie uit welk type keuze-uren de leerlingen bij dit vak kunnen kiezen en hoe vaak een bepaald type keuze-uren in de week wordt aangeboden. Er kan grofweg een keuze worden gemaakt tussen basisuren, waarin extra herhaling of uitleg wordt aangeboden, en

verdiepingsuren, waarin extra verdieping wordt aangeboden. De vaksectie kan echter ook kiezen voor een andere invulling zolang de uren een aanvulling blijven op de clusteruren en geen onderdeel uitmaken van het verplichte programma, denk bijvoorbeeld aan een practicumuur of training leesvaardigheid.

Het rooster met clusteruren wordt net als in de huidige situatie vastgezet voor een periode van een half jaar. Het rooster met keuze-uren zal daarentegen wekelijks verschillen. Van leerlingen wordt verwacht dat zij elke twee weken opnieuw een keuze maken in hun pakket keuze-uren. Voorafgaand aan dit keuzemoment zullen de vaksecties aan de roostermaker door moeten geven hoe de uren worden ingevuld.

Een aantal vakken zullen ervoor kiezen om tijdens de keuze-uren een kortlopende module aan te bieden die meer lessen bedraagt dan door een leerling kunnen worden vastgezet bij één inschrijfmoment. Een vak kan in dit geval kiezen voor een inschrijving van n keer een inschrijfperiode. Stel een vak wil zes opeenvolgende weken met dezelfde groep leerlingen aan de slag, maar een inschrijfperiode bedraagt twee weken, dan selecteren leerlingen bij het inschrijven beide lesuren en wordt deze inschrijving vastgezet voor drie inschrijfperiodes. Bij het eerstvolgende inschrijfmoment staat dit tijdslot vast en kan de leerling geen ander vak kiezen. Na de drie inschrijfperiodes vervalt de inschrijving en kan de leerling zich weer inschrijven voor een ander vak.

L.1.2 Keuzevrijheid voor de leerling

Voor leerlingen betekent F&M een grote mate van eigen verantwoordelijkheid en het vermogen om het lesrooster meer af te stemmen op de eigen behoeften. Zo kunnen leerlingen grotendeels zelf bepalen hoe zij hun tijd op school verdelen over de verschillende vakken, hoeveel tijd ze besteden aan de basis of juist de verdieping, met welke medeleerlingen ze een vak volgen en van welke docenten zij les krijgen. Hierbij wordt beroep gedaan op de planningsvaardigheden van de leerling. Leerlingen die baat hebben bij meer structuur of het lastig vinden om vooruit te plannen, zullen voor een uitdaging komen te staan. Deze leerlingen zullen naar verwachting minder makkelijk hun weg vinden binnen het nieuwe systeem en hebben meer ondersteuning nodig vanuit de school.

Bij het samenstellen van het rooster dient de leerling een minimaal aantal van 10 keuze-uren te selecteren, afhankelijk van het vakkenpakket van de leerling. Het volgen van meer keuze-uren is toegestaan en bij het kiezen van de keuze-uren wordt de leerling verder volledig vrijgelaten. De leerling mag zelf beslissen bij welke vakken en docenten hij de keuze-uren volgt. Het kan dus voorkomen dat een leerling zijn keuze-uren volgt bij andere docenten dan zijn clusteruren.

Naar verwachting zullen veel leerlingen het oude rooster als leidraad nemen bij het indelen van hun keuze-uren en zullen zij vanuit dit standaard rooster gaan differentiëren. Zo kan een leerling kiezen om geen keuze-uren te volgen bij de vakken Engels en Duits, omdat dit vakken zijn die de leerling makkelijk afgaan, of omdat het vak in deze specifieke week minder prioriteit heeft. Heeft de leerling meer moeite met het vak natuurkunde, dan kan de leerling de keuze-uren van Engels en Duits inwisselen voor keuze-uren natuurkunde. Deze leerling heeft bijvoorbeeld behoefte aan extra uitleg over de theorie en meer praktische voorbeelden. Om een lesrooster samen te stellen dat zo goed mogelijk overeenkomt met zijn behoeften, kiest de leerling voor een basisuur natuurkunde in combinatie met een practicumuur natuurkunde. De leerling kan dus kiezen tussen vakken, maar ook binnen vakken.

L.1.3 Het takenpakket van de docent

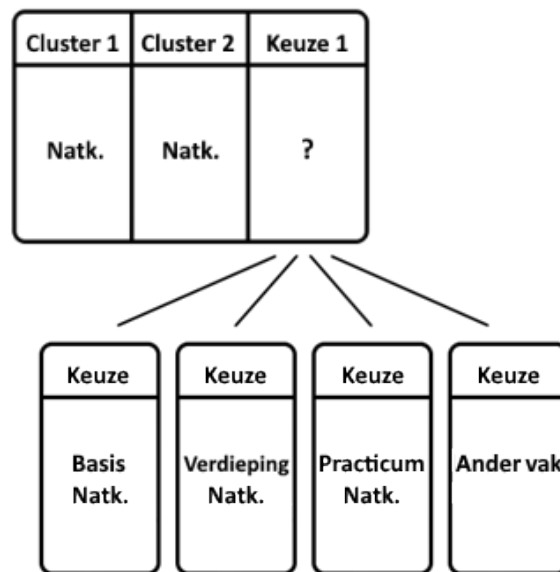
Voor docenten betekent de invoering van F&M ook een grote verandering. Waar docenten gewend waren aan een vast rooster met vaste groepen, zal de invulling van een deel van de lesuren wekelijks veranderen en is de groep leerlingen variabel. Daarnaast wordt van docenten gevraagd om met de vakgroep structureel vooruit te plannen en voorafgaand aan een semester en nieuw inschrijfmoment, tijdig aan de roostermaker door te geven hoe de verschillende keuze-uren zullen worden ingevuld. De roostermaker heeft namelijk voldoende tijd nodig om deze keuzes door te voeren zodat de uren open staan voor de juiste groepen leerlingen, en leerlingen voorafgaand aan het keuzemoment tijdig moeten worden geïnformeerd over de inhoud en het niveau van de verschillende keuze-uren. Docenten zullen hun planning vast moeten zetten voorafgaand aan een inschrijfmoment en kunnen dit na het inschrijfmoment minder eenvoudig aanpassen. Daarnaast is het belangrijk dat de verschillende clusters parallel lopen, zodat de gemengde keuze-uren aansluiten op de stof die behandeld is in de clusteruren.

Hoe groter de vaksectie en het aantal uren dat voor het vak staan geroosterd, hoe meer een vaksectie de mogelijkheid heeft om te differentiëren in de keuze-uren die aan leerlingen worden aangeboden. Het totaal aantal lesuren binnen het takenpakket van de docent verandert namelijk niet. Een kleine vaksectie zal hierdoor weinig keuze-uren aan kunnen bieden. Een grote vaksectie heeft meer uren en kan hierdoor meer onderscheid maken tussen verschillende typen keuze-uren. Zo kunnen leerlingen uit het nat.4h1 cluster ook keuze-uren kiezen die oorspronkelijk alleen geroosterd waren voor het nat.4h2 cluster en andersom, mits zij op dat moment in hun rooster geen clusteruur hebben staan.

Aangenomen wordt dat het aantal leerlingen in de lessen niet veel zal afwijken van de huidige situatie. Een aantal leerlingen zal het vak vaker volgen, maar deze zullen de plaats innemen van leerlingen die het vak minder vaak volgen. De grootste verandering in de les is dan ook de groep leerlingen die de docent voor zich krijgt. Leerlingen zullen er niet altijd voor kiezen, of de mogelijkheid hebben, om de keuze-uren te volgen bij hun eigen docent uit de clusteruren. Daarnaast kunnen docenten de keuze-uren zo aanbieden dat een docent alleen basisuren, verdiepsinguren of practicumuren aanbiedt, afhankelijk van de individuele interesse en beschikbaarheid. Een docent zal hierdoor ook andere leerlingen in zijn lessen zien dan enkel de leerlingen uit zijn clusteruren. Een gevolg hiervan is dat docenten onderling meer zullen moeten communiceren over de voortgang van de verschillende leerlingen.

L.1.4 Invulling van keuze-uren

keuze-uren zullen de vorm hebben van een standaard les, maar worden alleen aangeboden aan leerlingen die voor het keuze-uur hebben gekozen. Als voorbeeld wordt gekeken naar het vak natuurkunde. Het programma van natuurkunde is vrij vol, waardoor het behandelen van de vereiste stof in de clusteruren een uitdaging zal worden. Het is niet de bedoeling dat alle stof letterlijk wordt gecomprimeerd en gedoceerd in twee derde van de lestijd vergeleken met de huidige situatie. Toch zullen de belangrijkste onderdelen in deze tijd moeten worden behandeld. De docenten zullen daarom opnieuw moeten bepalen wat zij belangrijk vinden om met alle leerlingen klassikaal te behandelen. In de praktijk zal het tempo van de stof in de clusteruren waarschijnlijk hoger komen te liggen, waarna herhaling en extra uitleg zal worden aangeboden in de keuze-uren. Sterke leerlingen kunnen de keuze-uren dan gebruiken voor een ander vak en de leerlingen die behoefte hebben aan extra uitleg kunnen zich inschrijven voor het keuze-uur. Om toch meer ruimte te creëren in de clusteruren kan het bij een vak als natuurkunde wenselijk zijn om een deel van de practica te verplaatsen naar de keuze-uren, dit zal in L.2 verder worden toegelicht.



Figuur 3 – De verschillende keuze-uren.

Om leerlingen voldoende momenten in de week aan te kunnen bieden van het vak natuurkunde, moet het rooster zo worden samengesteld dat zoveel mogelijk leerlingen de verschillende typen keuze-uren van het vak kunnen volgen. De roostermaker zal hierbij vooral letten op overlappende uren met clusteruren en keuze-uren van vakken die weinig beschikbaar zijn. De vaksectie is vervolgens verantwoordelijk voor het zo goed mogelijk verdelen van de verschillende typen keuze-uren zodat elke leerling in staat is om het type te kiezen dat bij hem past.

Neem bijvoorbeeld een havo 4 natuurkunde cluster. In het tweede semester heeft een havo 4 groep volgens de oude situatie drie lesuren per week. In de nieuwe situatie betekent dit dat dit zal veranderen naar twee clusteruren en één keuze-uur. In totaal zijn er vier havo 4 clusters. In de oude situatie werd er voor $3 \cdot 4 = 12$ lesuren een docent geroosterd. In de nieuwe situatie worden $2 \cdot 4 = 8$ clusteruren geroosterd en blijven vier lesuren over, de keuze-uren. De vier keuze-uren worden zo geroosterd dat zoveel mogelijk leerlingen de mogelijkheid hebben om de keuze-uren te kiezen. Vervolgens kiest de sectie er bijvoorbeeld voor om in één keuze-uur meer verdieping aan te bieden en de overige drie keuze-uren te gebruiken voor het herhalen van de basis, waarbij keuze-uur 1 en 2 hetzelfde zijn, maar keuze-uur 3 weer een ander deel van de basis behandelt. Een leerling heeft nu de mogelijkheid om te kiezen tussen een basisuur of verdiepingsuur, maar kan wanneer hij dit wil ook twee keer een basisuur natuurkunde volgen.

Wil de sectie meer momenten aanbieden voor leerlingen, dan zou in het geval van havo 4 gekozen kunnen worden om keuze-uren samen te voegen met de keuze-uren van vwo 4. Dit kan bijvoorbeeld in de eerste weken van de periode waarin zowel havo 4 als vwo 4 het onderwerp elektriciteit behandelen. Door het samenvoegen van deze keuze-uren ontstaat een pool van acht keuze-uren die zowel toegankelijk zijn voor leerlingen van havo 4 als vwo 4. De sectie zou deze uren kunnen opdelen in drie keuze-uren waarin het tekenen van schakelschema's uitgebreid wordt behandeld, drie keuze-uren waarin het rekenen aan schakelschema's centraal staat en twee keuze-uren waarin de leerlingen aan de slag gaan met het bouwen van een Kelvindruppelaar. Het laatste onderdeel zou ook een keuze-uur kunnen worden dat gedurende een periode van zes weken wordt vastgezet. Op twee momenten in de week is dan een groep leerlingen van havo 4 en vwo 4 voor een periode van zes weken voor één uur per week gekoppeld aan dit keuze-uur waarin zij een Kelvindruppelaar bouwen en daarmee bijvoorbeeld een bonuspunt kunnen verdienen.

L.2 Practicumuren en TOA-uren

Om meer ruimte te creëren in de clusteruren kan het bij een vak als natuurkunde wenselijk zijn om een deel van de practica te verplaatsen naar de keuze-uren in de vorm van speciale practicumuren. Een deel van de practica zal dan nog steeds in de clusteruren worden uitgevoerd, maar een andere deel kan, mits het practicum hiervoor geschikt is, onder begeleiding van een docent en/of TOA worden uitgevoerd in het practicumuur. Practica die niet in de clusteruren worden uitgevoerd kunnen incidenteel verplicht worden gesteld of worden op vrijwillige basis aangeboden.

Naast het voordeel dat er meer tijd overblijft in de clusteruren, is een voordeel van het inzetten van practica buiten de clusteruren dat leerlingen zelf kunnen bepalen op welk moment zij klaar zijn voor het uitvoeren van het practicum. Verder kunnen leerlingen extra ondersteuning vragen van een docent en/of TOA wanneer dit gewenst is. Naar verwachting zullen er tijdens een practicumuur namelijk minder leerlingen tegelijk aanwezig zijn in vergelijking met een clusteruur of ander type keuze-uur. Er is dus meer individuele begeleiding mogelijk.

Naast de vakspecifieke practicumuren binnen de keuze-uren van een vak als natuurkunde, kan er ook gekeken worden naar het inzetten van algemene TOA-uren. Dit zijn uren in het bètalab waar leerlingen onder begeleiding van een TOA kunnen werken aan een practicum. Omdat het voorbereiden van een practicum echter de nodige voorbereidingen vereist is het belangrijk dat aan de inschrijving voor een dergelijk TOA-uur meerdere voorwaarden worden verbonden (R. Doub, & W. Wieriks, persoonlijke communicatie, 21 juli 2021). Zo moeten de uren op vaste tijden worden ingepland zodat de TOA, naast de TOA-uren en uren waarin ondersteuning wordt geboden in clusteruren en keuze-uren, voldoende tijd overhoudt voor zijn overige taken zoals het ontwikkelen en voorbereiden van practica, het onderhouden van installaties, apparaten en materialen en het contact met leveranciers. Denk bijvoorbeeld aan het standaard roosteren van een TOA-uur tijdens het achtste lesuur. Verder moet de TOA precies aan kunnen geven welke practica er bij een TOA-uur kunnen worden uitgevoerd en hoeveel leerlingen zich hiervoor gelijktijdig kunnen inschrijven. Op andere scholen wordt om deze reden gekozen voor het inschrijven via de TOA zelf met behulp van een Binas-agenda en niet via het algemene inschrijfsysteem (T. Leyser, & R. Simic-Ristanovic, persoonlijke communicatie, 11 oktober 2021). Mocht het TCC toch willen werken met hetzelfde inschrijfsysteem als gebruikt wordt voor de keuze-uren, omdat het TCC bijvoorbeeld een grotere groep leerlingen heeft dan de scholen die werken met het inschrijven via de TOA zelf, dan moeten hierover duidelijke afspraken worden gemaakt tussen de TOA's, docenten en roostermakers.

Om het uitvoeren van practica tijdens de practicumuren en TOA-uren goed te laten verlopen is het belangrijk dat docenten en TOA's goed met elkaar communiceren. Het is belangrijk dat de TOA's net als bij practica in de huidige situatie voldoende tijd krijgen om de practica voor te bereiden. De docent heeft hierbij de verantwoordelijkheid om tijdig zijn ideeën met de TOA te delen en de TOA van voldoende informatie te voorzien. Waar het rooster eerder relatief flexibel was, zijn zowel de TOA's als docenten in het nieuwe scenario meer gebonden aan een planning die moet worden opgevolgd. Het bespreken van deze planning en het afstemmen van de verwachtingen wordt daarom nog belangrijker.

TOA-uren kunnen zowel vakspecifiek als bètabreed worden ingezet en zijn uren die extra worden aangeboden naast de vakspecifieke keuze-uren. Het is aan de groep docenten en TOA's van de verschillende bètavakken om uit te zoeken aan welke invulling van de TOA-uren de voorkeur wordt gegeven. Zo kan gekozen worden om de TOA-uren elke dag aan te bieden voor alle verschillende vakken tegelijkertijd, of juist voor het verdelen van de vakken over de dagen van de week zodat elke dag tijdens het TOA-uur een ander vakgebied centraal staat. Verder kan er gekeken worden naar het aanbieden van TOA-uren aan leerlingen van verschillende jaarlagen en niveaus door elkaar, of juist het verdelen van de leerlingen over de dagen van de week. Zo kan er bijvoorbeeld gekozen worden om alle vakken tegelijkertijd aan te bieden, maar op de maandag alleen voor leerlingen van havo 4, op dinsdag vwo 4, woensdag havo 5, donderdag vwo 5 en vrijdag vwo 6.

Bij het invoeren van TOA-uren moet de werklast van de TOA goed in de gaten worden gehouden. De TOA-uren zijn immers extra uren die in de huidige situatie nog niet bestaan. Net als de belasting in werkuren van de docent is het uitgangspunt dat ook de belasting in werkuren van de TOA gelijk wordt gehouden aan de huidige situatie. Dit betekent dat wanneer ervoor gekozen wordt om standaard tijdens het achtste lesuur TOA-uren aan te bieden, de ondersteuning van de TOA verspreid over de overige lesuren moet worden verminderd, of het totaal aantal inzetbare TOA-uren moet worden opgehoogd.

L.2.1 Practicum uit de doos

In het nieuwe onderwijs scenario kunnen practica binnen verschillende uren worden aangeboden. Zo kan een practicum worden aangeboden in een clusteruur, maar ook in een keuze-uur als onderdeel van een basisuur, verdiepingsuur of specifiek practicumuur. Bij al deze uren wordt een practicum uitgevoerd onder begeleiding van een docent en/of TOA, net als in de huidige situatie. Naast deze uren kan een practicum ook worden aangeboden in een TOA-uur. Hierbij is geen docent aanwezig en voeren de leerlingen het practicum in het ideale geval zelfstandig uit onder het toezicht van de TOA.

Practica die worden ingezet tijdens uren waarin geen docent aanwezig is of minder ondersteuning mogelijk is, moeten voldoen aan de eisen die beschreven zijn voor zelfstandige practica. Practica zoals het practicum uit de doos kunnen dan ook goed worden ingezet tijdens deze TOA-uren. Het practicum uit de doos kan worden ingezet tijdens alle verschillende practicum momenten en is vooral van meerwaarde wanneer het wordt ingezet op momenten waarop slechts weinig ondersteuning mogelijk is, maar het uitvoeren van een practicum wel wenselijk is. Leerlingen kunnen dan zelfstandig met het practicum aan de slag dat voor hen is klaargezet in een doos in het bètalab terwijl alleen toezicht van een TOA vereist is. Na afloop van het practicum levert de leerling het gemaakt werk in bij zijn docent. Dit werk wordt nagekeken en op een later moment teruggekoppeld.

Door het inzetten van een practicum uit de doos kan in de meeste gevallen de mate van begeleiding en voorbereiding per practicum naar beneden worden gebracht, waardoor het eenvoudiger wordt om tegelijkertijd meerdere practica aan te bieden. Leerlingen zullen meer op individuele basis bezig zijn met een practicum waardoor de TOA zich meer kan focussen op het houden van overzicht en het bieden van individuele ondersteuning en begeleiding aan leerlingen die hier behoefte aan hebben. Toezicht, kennis en begrip van het practicum en de bijbehorende gevaren blijven vereist, een TOA zal daarom altijd in de ruimte aanwezig moeten zijn wanneer leerlingen bezig zijn met het practicum.

