

Modelleren met Insight Maker: een case-study

“Onderzoek alles, behoud het goede”

**UNIVERSITY
OF TWENTE.**

ONDERZOEK VAN ONDERWIJS (10EC)

Student	Margreeth de Breij
Studentnummer	1480693
Studierichting	Natuurkunde
Beoordelend docenten	Dr. J.T. van der Veen Dr. J.J. Wietsma

Samenvatting

In dit onderzoek is de bruikbaarheid van Insight Maker, een web-based modelleerplatform, voor het ontwikkelen van modelleervaardigheden bij NLT onderzocht. Hiervoor is een case-study in één vwo-5 NLT-klas binnen de module ‘Lab on a Chip’ uitgevoerd. Daarnaast is een vergelijking gemaakt tussen Insight Maker en twee bekendere programma’s: CMA Coach 7 en Microsoft Excel. Hiermee is gekeken of Insight Maker een betere combinatie van functionaliteit en open beschikbaarheid is dan bekendere platforms, en zo als modelleerplatform op met name chromebooks kan worden gebruikt.

Voor deze case is een opdracht ontwikkeld bij de module Lab on a Chip, waarin het mengen door diffusie van twee parallelle, laminaire stromen wordt gemodelleerd. Deze opdracht is zo opgebouwd dat de leerlingen eerst leren werken met Insight Maker, en vervolgens alle vaardigheden uit het modelleerproces (conceptualiseren, mathematiseren, oplossen, interpreteren en valideren) aan bod komen). Uiteindelijk hebben leerlingen het eerste gedeelte van deze opdracht gemaakt. Daarnaast heeft een aantal leerlingen vragen over hun ervaring met Insight Maker ingevuld, en ter afsluiting is een geschreven toetsvraag over modelleren gemaakt. Deze data is, samen met een overzicht van de technische specificaties van het programma, gebruikt om de bruikbaarheid van Insight Maker te beoordelen op o.a. functionaliteiten, leerbaarheid, gebruiksvriendelijkheid en mate waarin leerlingen in staat zijn gebleken de modelleervaardigheden toe te passen.

Uit de resultaten van de opdracht blijkt dat leerlingen zelfstandig met Insight Maker aan de slag kunnen en de basisvaardigheden binnen twee lesuren beheersen. Hun mening over de leerbaarheid en gebruiksvriendelijkheid is niet erg uitgesproken: over het algemeen staan ze neutraal tegenover het programma. Uit de resultaten blijkt verder dat niet alle modelleervaardigheden even goed aangeleerd en ondersteund worden: oplossen en interpreteren gaan grotendeels goed, maar de andere vaardigheden worden minder goed beheerst. Hierbij spelen ook de beperkingen van dit onderzoek een rol, voornamelijk doordat het tweede gedeelte van de opdracht niet is gemaakt. Hierdoor zijn conceptualiseren, mathematiseren en valideren niet of beperkt aan bod gekomen. Daarnaast mist Insight Maker een aantal belangrijke technische functionaliteiten ten opzichte van Coach 7, voornamelijk omdat het niet mogelijk is te werken met externe data.

Concluderend kan op basis van dit onderzoek worden gesteld dat Insight Maker bruikbaar lijkt voor het aanleren van de meeste modelleervaardigheden op basis-niveau, en dat zo dus gebruikt kan worden in het onderwijs. Echter, voor het doorlopen van de hele modelleercyclus is Insight Maker niet geschikt. Hierdoor zullen leerlingen op den duur dus alsnog gebruik moeten maken van een tweede programma of een ander platform, waardoor het aan te raden is al vanaf het begin te investeren in een completer platform.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
2	Theoretisch Kader	3
2.1	Gebruik van modellen	3
2.2	Modelleren als vaardigheid	4
2.3	Modelleren binnen het voortgezet onderwijs	5
2.4	Bruikbaarheid van modelleerplatforms	5
3	Onderzoeksvragen	7
4	Methode	8
4.1	Procedure	8
4.2	Respondenten	8
4.3	Instrumenten	9
4.4	Analyse	10
4.5	Achtergrond bij de casus	11
5	Deelvraag 1: kunnen leerlingen werken met Insight Maker?	13
5.1	Resultaten modelleeropdracht	13
5.2	Leerbaarheid van Insight Maker	14
5.3	Gebruikerservaring met Insight Maker	15
6	Deelvraag 2: kunnen leerlingen modelleervaardigheden uitvoeren en herkennen?	16
6.1	Uitvoeren van de modelleervaardigheden	16
6.2	Herkennen van de modelleervaardigheden	18
6.3	Rol van de Story Modus bij modelbegrip	18
7	Deelvraag 3: hoe verhoudt Insight Maker zich tot andere modelleerplatformen?	19
7.1	Specificaties van de platformen	19
7.2	Insight Maker ten opzichte van andere platformen	20
8	Discussie	21
8.1	Algemene limitaties van het onderzoek	21
8.2	Bruikbaarheid van Insight Maker	21
8.3	Toegevoegde waarde van Insight Maker	22
9	Conclusie en aanbevelingen	24
	Bibliografie	25
A	Opdracht Mengen op een Microchip	27
B	Handleiding Werken met Insight Maker	33
C	Aanvullende toetsvraag	36
D	Vragenlijst na de start-opdracht	38
E	Criteria deelvraag 1	39
F	Criteria deelvraag 2	40

Hoofdstuk 1

Inleiding

Het gebruik van modellen is tegenwoordig aan de orde van de dag, zowel binnen als buiten de technische wetenschap. Zo worden modellen gebruikt om voorspellingen te doen over zaken als het weer of de beurskoers, maar ook om bijvoorbeeld een proces, voorwerp of stad op een vereenvoudigde manier weer te geven. In de afgelopen jaren is daarom, op advies van de afstemmingscommissie modelleren (Savelsbergh et al., 2008), het ontwikkelen van modelleervaardigheden opgenomen in de examenprogramma's van biologie, natuurkunde, NLT en wiskunde. Vanwege de brede en vakoverstijgende context waarin modellen veelal gebruikt worden, is het modelleren juist voor een multidisciplinair vak zoals NLT een bijzonder interessante activiteit.

Een voorwaarde voor het kunnen ontwikkelen van de gewenste vaardigheden, is dat er gebruik gemaakt kan worden van een platform dat in de breedste zin van het woord, dus zowel wat betreft werkbaarheid als wat betreft beschikbaarheid, 'toegankelijk' is voor leerlingen en docenten van de middelbare school. Er bestaan meerdere algemeen bekende tools voor modelleren op de middelbare school, zoals coach (CMA) en excel (Microsoft Office). Een minder bekend, web-based, platform is Insight Maker (Fortmann-Roe, 2014). Dit platform is ontworpen met een focus op toegankelijkheid en functionaliteit, maar ondanks dit zijn de prestaties krachtig genoeg voor de relatief simpele modellen waarmee gewerkt wordt binnen het middelbaar onderwijs. Daarnaast is Insight Maker, in tegenstelling tot CMA Coach 7, ook volledig bruikbaar op apparaten die draaien op Chrome OS, zoals chromebooks. Deze balans maakt InsightMaker een potentieel geschikt platform voor modelleren in het middelbaar onderwijs. Echter, doordat er nog weinig tot niet met InsightMaker gewerkt wordt op middelbare scholen, is nog onbekend of dit platform inderdaad kan bijdragen aan het leren modelleren.

Bovenstaande leidt tot de volgende hoofdvraag voor dit onderzoek:

'Wat is de bruikbaarheid van Insight Maker voor het ontwikkelen van modelleervaardigheden binnen het schoolvak Natuur, Leven en Technologie?'

Voor het beantwoorden van deze hoofdvraag zal binnen een bestaande NLT-context, namelijk de module *'Lab on a Chip'* een opdracht ontwikkeld worden waarin leerlingen in Insight Maker moeten werken met modellen. Op basis van het onderzoek aan de hand van deze opdracht kan een advies worden uitgebracht over het al dan niet gebruiken van InsightMaker bij NLT. In het geval dat het advies is om dit platform te gebruiken, zal dit worden aangevuld met een handleiding 'Modelleren in Insight Maker' zoals dit bij NLT ook beschikbaar is voor andere modelleerplatformen.

Hoofdstuk 2

Theoretisch Kader

De toegang tot een geschikt modelleerplatform is een voorwaarde voor het kunnen ontwikkelen van de gewenste modelleervaardigheden. Hierin is het platform dus slechts een middel tot het doel: leerlingen leren modelleren. Echter, 'model' en 'modelleren' zijn brede begrippen en kunnen op veel verschillende manieren worden geïnterpreteerd. Elk van die interpretaties stelt zijn eigen eisen aan de vaardigheden van leerlingen, en daarmee ook aan een modelleerplatform. Voordat de bruikbaarheid van Insight Maker in kaart kan worden beoordeeld, moet dus eerst goed in kaart worden gebracht wat de rol van modellen en modelleren binnen onderwijs is.

2.1 Gebruik van modellen

Modellen bestaan in allerlei soorten en maten, wat het lastig maakt om precies te definiëren wat met de term 'model' bedoeld wordt. In de meest brede zin kunnen ze worden omschreven als een, vaak wiskundige, conceptuele representatie van de werkelijkheid (Etkina, Warren & Gentile, 2006). In de praktijk blijken er drie hoofdcategoriën modellen te zijn: tastbare, conceptuele en wiskundige modellen (SLO, 2016). In de eerste categorie, de tastbare modellen, vallen alle fysieke voorwerpen die ergens een versimpelde weergave van zijn. Dit zijn bijvoorbeeld prototypes en maquettes, maar ook de (vergroete) 3D-structuren en afbeeldingen van kristalroosters, cellen en planten die op veel scholen gebruikt worden bij biologie en scheikunde. De tweede categorie, de conceptuele modellen, bestaan hoofdzakelijk uit verzamelingen met regels en procedures, zoals de stappen tijdens het oplossen van een wiskundige vergelijking of de 'regels' in het atoommodel van Rutherford. Het zijn juist deze conceptuele modellen waarvan cognitivisten stellen dat leerlingen ze moeten integreren in hun cognitieve structuur (Greca & Moreira, 2000; van der Veen & van der Wal, 2012). Het laatste type model is het wiskundige model, waarin theoretische en kwantitatieve relaties met één of meerdere variabelen een systeem beschrijven. Een subcategorie hiervan zijn de dynamische modellen: wiskundige modellen die de ontwikkeling van een systeem in de tijd beschrijven. Een groot deel van de formules waarmee leerlingen bij natuurkunde en scheikunde werken, zijn in feite (dynamische) modellen.

Binnen het onderwijs hebben alle drie typen modellen hun eigen rol en functie. Echter, in de examenprogramma's van natuurkunde, scheikunde, biologie en NLT wordt onder de vaardigheid '*modelvorming*' (domein A7 in alle programma's) gesproken over gebruik maken van '*relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden*', waaruit blijkt dat het gaat om wiskundige modellen. Dit is ook waar voor gepleit is door de afstemmingscommissie modelleren voorafgaand aan de invoer van de herziene examenprogramma's voor deze vakken (Savelsbergh et al., 2008). Daarnaast werd in dit advies gefocust op modellen die met behulp van de computer ontwikkeld en gesimuleerd worden. Een van de redenen hiervoor is dat leerlingen vaak niet begrijpen wat een model is en welke waarde ze hieraan moeten toekennen (Etkina et al., 2006), ondanks dat (dynamisch) modelleren, net als theorievorming en het uitvoeren van experimenten, wordt gezien als een kernactiviteit binnen de natuurwetenschappen. Als gevolg daarvan ontwikkelen ze op de middelbare school een incompleet beeld van deze vakgebieden. Daarnaast biedt het gebruik van computermodellen de mogelijkheid om situaties te bestuderen die realistischer zijn dan de situaties die in de meeste schoolboeken aan de orde komen (Savelsbergh et al., 2008; van Buuren, Heck & Ellermeijer, 2016).

Ook in dit onderzoek wordt steeds uitgegaan van dynamische modellen. Daarnaast wordt hier ook specifiek gericht op een grafische representatie van de modellen (in contrast tot een tekstuele representatie),

aangezien dit de enige optie van Insight Maker is. Modelleren wordt binnen dit onderzoek dus opgevat als het 'met behulp van een computertool grafisch weergeven van een dynamisch systeem'.

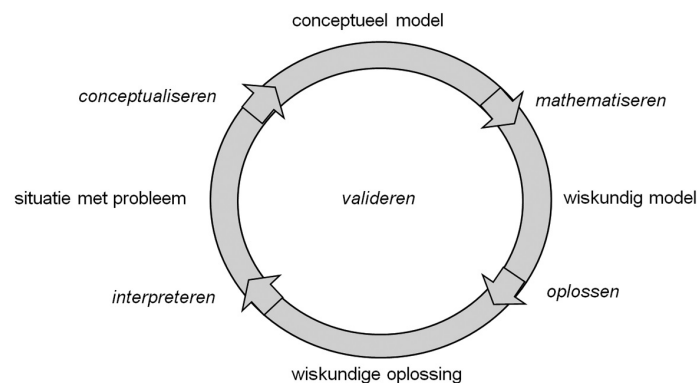
2.2 Modelleren als vaardigheid

Het ontwikkelen van een model is een complexe activiteit die een beroep doet op verschillende denkvaardigheden en kennisniveaus van een leerling. In de cognitieve dimensie kan het geschaald worden onder hogere orde denkvaardigheden van Bloom (Bloom, Engelhart, Furst, Hill & Krathwohl, 1956; Krathwohl, 2002), aangezien analyseren, synthetiseren en evalueren alle drie aan bod komen bij het maken van een goed model. Wat betreft de kennis is bij het modelleren niet alleen feitelijke kennis nodig, maar ook kennis van concepten en procedures (Krathwohl, 2002). Vanwege deze hoge complexiteit kan modelleren niet zomaar als één vaardigheid worden beschouwd, maar moet het worden gezien als een proces waarin meerdere vaardigheden achtereenvolgens aan bod komen.

Zowel De Ruijter et. al. als Spandaw en Zwaneveld beschrijven het proces om een model te construeren op basis van de beschrijving van een dynamisch systeem als een cyclus van meerdere vaardigheden zoals weergegeven in figuur (de Ruijter, van Buuren & Buizert, 2010; Spandaw & Zwaneveld, 2012). De vaardigheden die in deze cyclus aan bod komen, zijn:

1. **Conceptualiseren:** het probleem omzetten in een conceptueel model. Dit vereist onder andere vereenvoudiging van de situatie en identificatie van belangrijke grootheden en de (kwalitatieve) verbanden daartussen.
2. **Mathematiseren:** het omzetten het conceptuele model in een (dynamisch) wiskundig model, door de kwalitatieve verbanden tussen grootheden kwantitatief te maken. Dit vereist het gebruik van wiskundige relaties en geschikte notaties.
3. **Oplossen:** het bepalen van een numerieke oplossing van het wiskundig model. Deze oplossing bestaat in het geval van een wiskundig model over het algemeen uit één of meerdere getallen, en in het geval van een dynamisch model uit het verloop van één of meerdere grootheden over de tijd.
4. **Interpreteren:** het vertalen van de numerieke oplossing van het wiskundige model naar de terminologie van het originele probleem.
5. **Valideren:** beoordelen van de geldigheid van het model door de modelresultaten te vergelijken met werkelijke resultaten, maar ook door methodes als dimensie-analyse en het maken van schattingen. Validatie is een proces dat gedurende de hele modelleercyclus plaatsvindt en kan leiden tot aanpassingen van het model.

Als er bij het modelleren gebruik wordt gemaakt van een digitaal modelleerplatform, moeten leerlingen naast deze vijf vaardigheden beschikken over voldoende vaardigheid in het werken met het platform. Het modelleerplatform speelt vervolgens hoofdzakelijk een rol bij het mathematiseren en oplossen van een model. Daarnaast kan het ook ondersteunend zijn bij de validatie van de modelresultaten, en in mindere mate ook bij de conceptualisatie en interpretatie.



Figuur 2.1: De cyclus van vaardigheden die doorlopen wordt bij het creëren van een dynamisch model (Spandaw & Zwaneveld, 2012)

2.3 Modelleren binnen het voortgezet onderwijs

Binnen het middelbaar onderwijs kan modelleren op verschillende manieren worden ingevuld. Hierin moet wel worden toegewerkt naar het overkoepelende leerdoel modelleren bij natuurkunde, scheikunde, biologie en NLT. Voor havo-leerlingen luidt dit leerdoel:

”De kandidaat kan in contexten een probleem analyseren, een adequaat model selecteren, en modeluitkomsten genereren en interpreteren. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.” (College voor Toetsen en Examens, 2019a)

Waarbij moet worden opgemerkt dat in het examenprogramma NLT dit leerdoel iets anders verwoord is dan bij andere vakken, aangezien gesproken wordt over **”in contexten met name een gesloten probleem analyseren”** (College voor Toetsen en Examens, 2019b).

Voor leerlingen op het vwo is de doelstelling bij modelleren uitgebreider:

”De kandidaat kan in contexten een relevant probleem analyseren, inperken tot een hanteerbaar probleem, vertalen naar een model, modeluitkomsten genereren en interpreteren, en het model toetsen en beoordelen. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.” (College voor Toetsen en Examens, 2019c)

Dit houdt in dat waar havo-leerlingen in staat moeten zijn te werken met bestaande modellen, leerlingen op het vwo ook geacht worden zelf modellen te kunnen ontwikkelen en toetsen. Op het vwo zullen de vaardigheden conceptualiseren, mathematiseren en valideren dus explicieter aan bod moeten komen dan op havo, waar de nadruk moet liggen op het oplossen en interpreteren.

In de praktijk blijkt dat gesloten modelleeropgaven, waarin voornamelijk het mathematiseren en oplossen van een probleem aan de orde komt, veel gebruikt worden bij het leren modelleren (Spandaw & Zwaneveld, 2012). Echter, opdrachten die opener zijn, laten leerlingen de hele modelleercyclus doorlopen en zijn daardoor, zeker op het vwo, beter geschikt om leerlingen te leren modelleren. Dit betekent niet dat alle modelleervaardigheden ook in één keer aangeleerd moeten worden: taken kunnen worden opgedeeld en noodzakelijke vaardigheden zoals het werken met het platform, het interpreteren van grafieken en het oplossen van vergelijkingen kunnen al aan bod komen vóór de leerlingen aan de slag gaan met het construeren en evalueren van een model (van Buuren et al., 2016). In de praktijk gebeurt dit voor een deel al op een natuurlijke manier. In de eerste jaren van de middelbare school leren leerlingen, voornamelijk bij wiskunde, vergelijkingen op te lossen en grafieken te tekenen. Dit wordt vervolgens steeds verder ontwikkeld, bijvoorbeeld door te vragen naar complexere interpretaties of door leerlingen zelf de vergelijkingen te laten opstellen die in een gegeven situatie van belang zijn. Daarnaast worden deze vaardigheden op den duur ook in andere contexten, zoals bij natuurkunde en economie, toegepast. Verder kan ook het werken met en ontwikkelen van modellen zelf stapsgewijs worden opgebouwd, door te mondelinge redeneervaardigheden uit te bereiden tot beschrijvingen van verbanden en relaties, en vervolgens tot geschreven (dynamische) modellen (Lijnse, 2008).

Een belangrijke voorwaarde van het betekenisvol inzetten van modelleren in het voortgezet onderwijs, is verder dat leerlingen voldoende bekend zijn met de context waarvan het model gemaakt wordt. Alleen dan zijn ze in staat om een goed verband tussen de modeluitkomsten en de werkelijke wereld te leggen (van Buuren & Kortland, 2017). Echter, hierbij moet wel worden opgemerkt dat overbekendheid met de context ook maakt dat leerlingen modelresultaten kunnen verklaren zonder hierbij gebruik te maken van het model (van Buuren et al., 2016). In dit geval is een goede vraagstelling dus noodzakelijk om ervoor te zorgen dat leerlingen gedwongen worden de structuur van het model te gebruiken bij hun interpretaties.

2.4 Bruikbaarheid van modelleerplatforms

Voordat een goed antwoord kan worden gegeven op de hoofdvraag van dit onderzoek moet niet alleen gekeken worden naar het modelleren zelf, maar moet ook in kaart gebracht worden wanneer een bepaald platform bruikbaar is om te gebruiken in het modelleeronderwijs. De afstemmingscommissie modelleren stelt in hun advies dat gebruik gemaakt zou moeten worden van een modelleerprogramma *”dat breed inzetbaar is, dat dicht bij de gangbare, voor leerlingen begrijpelijke, wiskundige methodiek staat, en dat relatief makkelijk te beheersen is”* (Savelsbergh et al., 2008). Zo wordt voorkomen dat leerlingen alleen

maar in staat zijn een beperkt aantal standaardmodellen na te programmeren. Omdat dit advies de basis is voor de manier waarop modelleren in de huidige examenprogramma's is opgenomen, ligt het voor de hand om deze eisen als minimum te beschouwen bij de beoordeling van de bruikbaarheid van InsightMaker.

Op basis van de hierboven gestelde definitie is het mogelijk, en zelfs goed denkbaar, dat een groot aantal modelleerplatforms bruikbaar is in het middelbaar onderwijs. Daarom is het noodzakelijk niet alleen de bruikbaarheid van een platform te beoordelen, maar om ook toegevoegde waarde van een platform ten opzichte van andere programma's in beschouwing te nemen. Dit voorkomt een mogelijke wildgroei van programma's die allemaal geschikt zijn om te leren modelleren, maar die niets toevoegen aan de al gebruikte platformen. Om de bruikbaarheid van een modelleerplatform te beoordelen, moet het daarom beoordeeld worden op een breed spectrum aan criteria, waaronder technische specificaties en beschikbaarheid op school, maar ook gebruiksvriendelijkheid, leerbaarheid, kosten en de mate waarin docenten al bekend zijn met het platform.

Hoofdstuk 3

Onderzoeksvragen

De hoofdvraag van dit onderzoek is, zoals al vermeld in de inleiding,

Wat is de bruikbaarheid van Insight Maker voor het ontwikkelen van modelleervaardigheden binnen het schoolvak Natuur, Leven en Technologie?’

Op basis van bovenstaande eisen is de hoofdvraag van dit onderzoek op te delen in drie deelvragen:

1. Kunnen leerlingen snel (binnen het tijdsbestek van één les) met het programma uit de voeten?
2. Is de opdracht 'Mengen op een Microchip', ontwikkeld in InsightMaker, bruikbaar om leerlingen modelleervaardigheden te leren uitvoeren en herkennen?
3. Wat zijn de features van InsightMaker en hoe verhouden die zich tot andere, gangbare programma's met een modelleerfunctionaliteit, m.n. coach en excel?

Het is belangrijk te vermelden dat er een duidelijk verband bestaat tussen de eerste twee deelvragen van dit onderzoek. Immers, als blijkt dat de leerlingen niet goed uit de voeten kunnen met het programma, betekent dit automatisch ook dat opdrachten in Insight maker niet goed zullen bijdragen aan het ontwikkelen van modelleervaardigheden bij leerlingen. De resultaten van de eerste deelvraag zijn dus van belang bij het beantwoorden van de tweede deelvraag.

Daarnaast moet worden opgemerkt dat de derde deelvraag deels buiten de scope van de hoofdvraag valt: een vergelijking met andere programma's is niet noodzakelijk om een conclusie te kunnen trekken over de bruikbaarheid van Insight Maker. Het is immers goed mogelijk dat er meerdere geschikte programma's zijn voor het modelleren. Echter, de vergelijking met gangbare programma's biedt de mogelijkheid om ook iets te zeggen over de toegevoegde waarde van Insight Maker ten opzichte van deze andere programma's. Dit voorkomt een (mogelijke) wildgroei van programma's die allemaal geschikt zijn om te leren modelleren, maar die niets toevoegen aan de al gebruikte programma's.

Hoofdstuk 4

Methode

4.1 Procedure

De eerste en tweede deelvraag van dit onderzoek vereisen experimentele data. Alle data voor het beantwoorden van deze vragen is verzameld in een case-study in de vwo 5 NLT-klas op het Greijdanus College in Zwolle, aan de hand van een voor dit onderzoek ontwikkelde opdracht binnen de NLT-module lab on a chip, de opdracht *'Mengen op een Microchip'*. In deze opdracht maken leerlingen in Insight Maker een model van de diffusie van kleurstof tussen twee vloeistofstromen. Voorafgaand aan deze opdracht zijn de leerlingen al bekend gemaakt met de belangrijkste concepten uit deze module. Daarnaast hebben ze ook enkele experimenten uitgevoerd en/of bij klasgenoten gezien waarin het mengen van twee kleurstofstromen bij laminaire stroming zichtbaar wordt, zowel in een uit lamineerfolie geknipte chip als in de H-chip uit de experimentkoffer van deze module.

Voorafgaand aan het maken van de opdracht hebben de leerlingen een digitale vragenlijst ingevuld over hun achtergrond en vakkenpakket, en over hun voorkennis van modelleren en de lab-on-a-chip context. Vervolgens gingen zij aan de slag met de opdracht. Hierbij kregen zij een handleiding van Insight Maker, het document *'Werken met Insight Maker'* tot hun beschikking. Verder kregen ze geen extra instructie over de context, modelleren en Insight Maker. De uitwerkingen van de opgaven en een link naar het gemaakte model, moest door de leerlingen worden ingeleverd. Na het maken van het eerste gedeelte van de opdracht, hebben ze nogmaals een vragenlijst ingevuld, ditmaal over hun ervaring met Insight Maker. Ter afronding kregen alle leerlingen twee vragen over modelleren op de eindtoets, die gericht waren op hun begrip van het modelleerproces. Voor het werken aan de opdracht zijn twee losse lessen van 60 minuten gebruikt met twee weken ertussen (28-5-2019 en 11-6-2019). Binnen of kort na deze lessen zijn de opdrachten ingeleverd en de vragenlijsten ingevuld. De afrondende toetsvragen zijn nogmaals twee weken later gemaakt (27-6-2019).

De derde deelvraag van dit onderzoek vereist geen experimentele data, en is beantwoord op basis van literatuurstudie en analyse van drie modelleerplatformen (Microsoft Excel, CMA Coach 7 en Insight Maker) en hun meegeleverde documentatie.

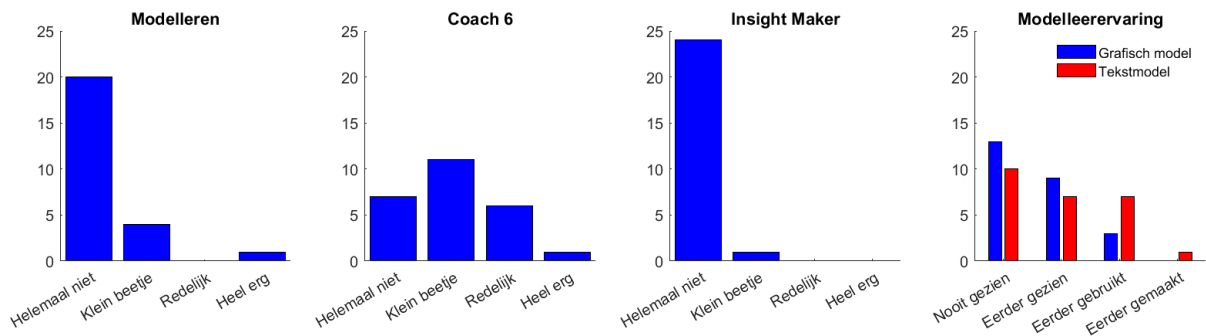
Alle ethische aspecten van dit onderzoek zijn beoordeeld en goedgekeurd door de ethische commissie van de faculteit *'Behavioural, Management and Social sciences'* aan de Universiteit Twente (aanvraag-nummer 190809).

4.2 Respondenten

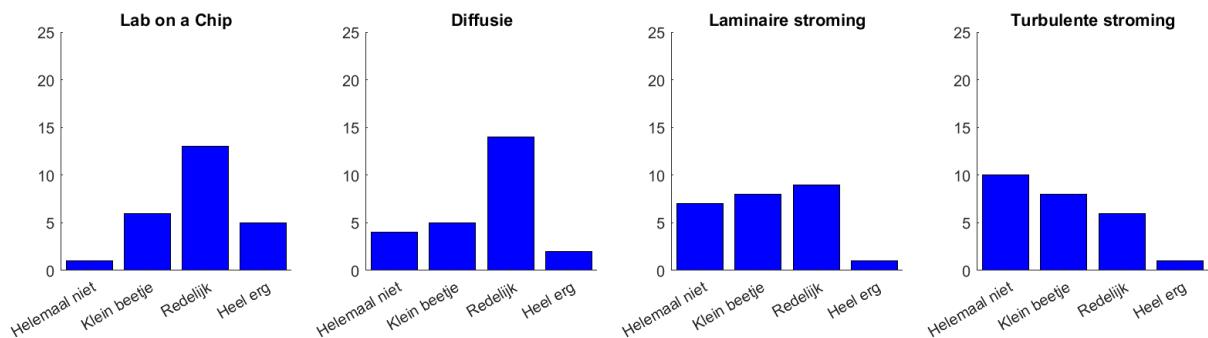
Alle respondenten van dit onderzoek waren leerlingen uit de vwo 5 NLT-klas op het Greijdanus College in Zwolle, die ten tijde van het onderzoek bezig waren met de module Lab on a Chip. 25 leerlingen (5 jongens, 20 meisjes, allemaal 16 of 17 jaar oud) zijn geïnformeerd over het onderzoek, hebben de eerste vragenlijst ingevuld en zijn gestart met de opdracht. Ondanks herhaalde herinneringen (binnen de twee lessen die werden gebruikt voor deze opdracht en via de schoolmail) heeft niet iedereen

Tabel 4.1: Het aantal respondenten per onderdeel

ONDERDEEL	AANTAL RESPONDENTEN
Vragenlijst 1	25
Start-opdracht	9 (7 tweetallen, 2 drietallen)
Vragenlijst 2	9
Gevorderden- en expert-opdracht	0
Toetsvragen	15 (vraag 1) 10 (vraag 2)



Figuur 4.1: De voorkennis van de leerlingen over modelleren. Gevraagd is steeds 'Hoe bekend ben je met ...'. Daarnaast kregen leerlingen een grafisch model en een tekstmodel te zien en moesten aangeven hoeveel ervaring ze hiermee hebben.



Figuur 4.2: De voorkennis van de leerlingen over de context. Gevraagd is steeds 'Hoe bekend ben je met ...'.

de gemaakte opdracht ingeleverd en de tweede vragenlijst ingevuld, waardoor op de andere onderdelen het aantal respondenten lager ligt dan 25. Het aantal respondenten per onderdeel staat vermeld in tabel 4.1. Om de anonimiteit te waarborgen, is in de vragenlijsten niet gevraagd naar namen of leerlingnummers.

De modelleerervaring van de leerlingen voorafgaand aan het onderzoek is laag, zoals te zien in figuur 4.1. 24 van de 25 geven aan 'helemaal niet' of slechts 'een klein beetje' bekend te zijn met modelleren. Voor Coach 6 (18/25) en Insight Maker (25/25) geldt in grote lijnen hetzelfde. De overige leerlingen geven aan 'redelijk' of 'heel erg' bekend te zijn met deze begrippen of programma's. De ervaring die leerlingen aangeven te hebben met modellen, bevestigt dit beeld. Het merendeel van de leerlingen geeft, zowel voor het grafisch model als voor het tekstmodel, aan dit niet eerder gebruikt of gemaakt te hebben.

De kennis van de context is, zoals te zien in figuur 4.2 iets hoger: de twee concepten die het meest naar voren komen tijdens de opdracht, Lab on a Chip en diffusie, zijn bij respectievelijk 7 en 9 van de 25 leerlingen geheel onbekend of een klein beetje bekend. Voor twee concepten die zijdelings naar voren komen, namelijk laminaire en turbulente stroming, zijn dit er respectievelijk 15 en 18 van de 25. Eén leerling heeft de module lab on a chip, exclusief de modelleeropdracht 'Mengen op een Microchip', al eerder gevolgd.

4.3 Instrumenten

Tabel 4.2 geeft een overzicht van de verzamelde data en onderzoeksinstrumenten per deelvraag. Voor de beantwoording van deelvraag 1 en 2 is gebruik gemaakt van het werk van leerlingen en door hen ingevulde vragenlijsten. De voornaamste data komt hierin uit de uitwerkingen van de opdracht 'Mengen op een Microchip', die te vinden is in bijlage A. Deze opdracht is speciaal ontwikkeld voor dit onderzoek, maar heeft een opzet die gelijk is aan die van al bestaande NLT-modelleeropdrachten. De opdracht heeft onderdelen op drie niveaus: start (bekend worden met het programma en model),

Tabel 4.3: Modelleervaardigheden die aan bod komen in de opdracht 'Mengen op een Microchip'

VAARDIGHEID	OPGAVE
Werken met Insight Maker	Start: 1, 3, 4, 5
Conceptualiseren	Gevorderd: 6 Expert: 15
Mathematiseren	Start: 3 Gevorderd: 7, 8
Oplossen	Start: 4 Gevorderd: 9 Expert: 10
Interpreteren	Start: 2, 4, 5 Gevorderd: 9 Expert: 10, 15
Valideren	Expert: 11, 12, 13, 14, 15

Tabel 4.2: Overzicht van de verzamelde data per deelvraag

DATA	INSTRUMENT	DEELVRAAG
Werk van leerlingen	Opdracht ' <i>Mengen op een Microchip</i> '	1 & 2
	Observaties les	1
	Toetsvragen	2
Vragenlijsten	Schaalvragen	1 & 2
Specificaties programmas	Checklist ' <i>Criteria voor keuze modelleersoftware</i> ' (Savelsbergh et al., 2008)	3

gevorderd (model uitbereiden) en expert (model verifiëren). In de opdracht, die bestaat uit 15 opgaven, komen alle vijf de modelleervaardigheden aan bod. Daarnaast is een aantal van de opgaven uit de start-opdracht gericht op het leren werken met Insight Maker. Een overzicht van de vaardigheden per opgave is te vinden in tabel 4.3. Naast deze opdracht is ook een handleiding 'Modelleren in Insight Maker' ontwikkeld (bijlage B), die tijdens het werken aan de opgaven door leerlingen als naslagwerk gebruikt kan worden over de werking van Insight Maker. Vanwege een gebrek aan tijd is uiteindelijk alleen de start-opdracht door leerlingen uitgevoerd. In deze opgave komen mathematiseren, oplossen en interpreteren aan bod. Om de uitwerkingen van de leerlingen beter op waarde te kunnen schatten, is er tijdens de lessen waarin aan de opdracht gewerkt is, op gelet of leerlingen vragen stelden of hulp nodig hadden bij het werken met Insight Maker.

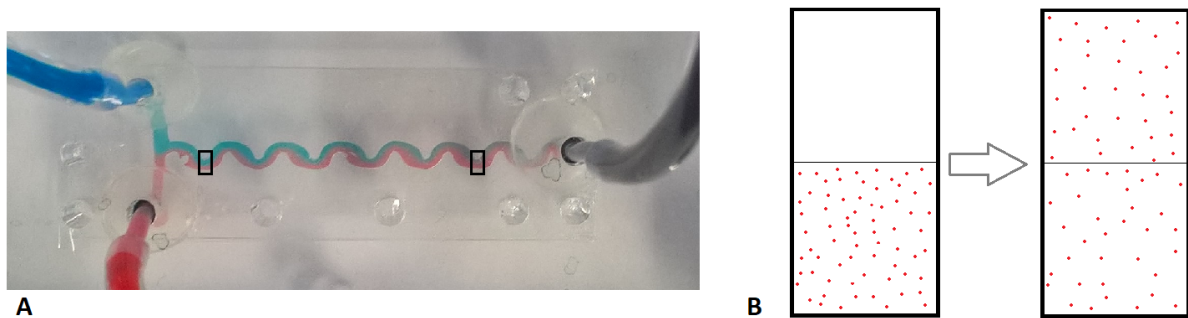
Naast de uitwerkingen van de opdracht zelf, zijn tijdens de eindtoets van de module 'Lab on a Chip' twee vragen gesteld over modelleren. Deze vragen zijn te vinden in bijlage C. Het doel van deze vragen was te bepalen in hoeverre de leerlingen een bekend model kunnen uitbreiden en weergeven zoals in Insight Maker, en of ze het principe achter modelleren begrijpen (modelleervaardigheden beschrijven). In de eerste van deze twee vragen ligt de nadruk op conceptualiseren en mathematiseren, twee vaardigheden die in de start-opdracht maar beperkt aan bod komen. Ook deze vragen zijn specifiek voor dit onderzoek ontwikkeld, en aangepast op het niveau waarop de leerlingen na de start-opdracht zouden moeten kunnen werken.

Aanvullend aan het werk van leerlingen, zijn vragenlijsten over over voorkennis en ervaring met Insight Maker afgenomen. Deze vragenlijsten bestaan hoofdzakelijk uit schaalvragen waarin leerlingen kunnen aangeven hoe bekend ze waren met bepaalde begrippen (vragenlijst 1) of in hoeverre ze een bepaalde stelling van toepassing vinden op hun ervaring tijdens het werken met Insight Maker (vragenlijst 2, bijlage D). In beide gevallen is gebruik gemaakt van Likert-achtige vragen met vier opties: 'Helemaal niet', 'Een klein beetje', 'Redelijk' en 'Heel erg' (Clason & Dormody, 1994; Boone & Boone, 2012). Vier opties is het minimum aantal dat wordt geadviseerd bij het gebruik van een Likert-Schaal om betrouwbare en valide data te verzamelen (Lozano, García-Cueto & Muñoz, 2008). Deze schaalvragen zijn aangevuld met open vragen waarin extra toelichting gegeven kan worden of opmerkingen gemaakt kunnen worden over zaken die nog niet in de vragen aan de orde zijn geweest.

Alle gegevens die nodig zijn voor het beantwoorden van de derde deelvraag, zijn verkregen door analyse van de programma's (CMA coach 7, Microsoft Excel en Insight Maker) en de hierbij geleverde documentatie (beschrijvingen, handleidingen e.d.). De programma's zijn hiermee vergeleken op de punten genoemd in de bijlage '*criteria voor keuze modelleersoftware*' uit het rapport van de adviescommissie modelleren (Savelsbergh et al., 2008). Deze checklist is een bijlage bij het adviesrapport waaruit de definitie van een bruikbaar modelleerplatform is overgenomen, en sluit hierdoor goed aan bij de eisen die aan een modelleerprogramma gesteld worden.

4.4 Analyse

Het grootste deel van de data bestaat uit de modelleer- en toetsopdrachten van de leerlingen. Deze resultaten zijn geanalyseerd op basis van vooraf opgestelde standaarduitwerkingen. Per vraag zijn criteria opgesteld waaraan een goed antwoord moet voldoen om direct of impliciet te laten zien dat de gewenste vaardigheden beheersd worden, en elke vraag is aan de hand van deze criteria beoordeeld. Vervolgens is



Figuur 4.3: Diffusie tussen twee stromen kleurstof in een chip in de plexiLoC (figuur A) en een geconceptualiseerde weergave van de diffusie van rode kleurstof zoals dit in een twee-compartimentenmodel kan worden gemodelleerd (figuur B). De twee situaties uit de rechter figuur zijn gemarkeerd in de linker figuur.

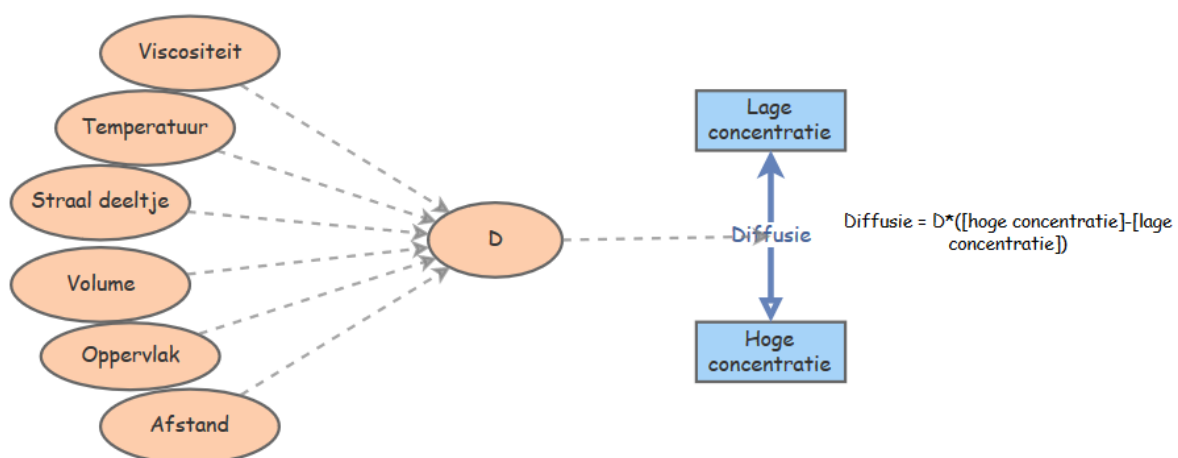
per onderdeel en per modelleervaardigheid bepaald hoe vaak dit wel en niet gelukt is bij de leerlingen. De criteria die hiervoor gebruikt zijn, zijn te vinden in bijlagen E en F.

De Likert-achtige schaalvragen genereren discrete, ordinale data. Echter, in de praktijk is het geaccepteerd om aan te nemen dat respondenten de afstand tussen verschillende antwoordcategorieën als gelijk interpreteren, waardoor de resultaten te verwerken zijn als interval-data (Van der Donk & Van Lanen, 2012). Hiervoor worden de antwoordcategorieën omgezet naar getallen ('Helemaal niet' = 1, 'Een klein beetje' = 2, 'Redelijk' = 3 en 'Heel erg' = 4). Vervolgens wordt beschrijvende statistiek gebruikt om de data te analyseren. Hierin wordt gebruik gemaakt van de gemiddelde waarde voor de centrale tendens, en van de standaarddeviatie voor de variabiliteit (Clason & Dormody, 1994).

De checklist die is gebruikt voor het beantwoorden van de derde deelvraag, is ingevuld voor drie modelleerprogramma's. Vervolgens is een vergelijking tussen de specificaties gemaakt door te kijken op welke punten de programma's onderling verschillen. Deze verschillen zijn vervolgens opgedeeld in twee categorieën: verschillen die invloed hebben op de beschikbaarheid en de mogelijkheid om modelleervaardigheid te ontwikkelen, en verschillen in aanvullende of onderliggende functies (zoals integratiemethodiek, layout en het koppelen van animaties). Alleen de eerste categorie verschillen is vervolgens gebruikt om de toegevoegde waarde van Insight Maker ten opzichte van de andere platforms te bepalen.

4.5 Achtergrond bij de casus

Deze case-study is uitgevoerd aan de hand van de opdracht 'Mengen op een Microchip'. Het doel van deze opdracht is het modelleren van het mengen van twee laminaire vloeistofstromen, in dit geval een



Figuur 4.4: De cyclus van vaardigheden die doorlopen wordt bij het creëren van een dynamisch model (Spandaw & Zwaneveld, 2012)

stroom water met kleurstof en een stroom water zonder kleurstof. Dit mengen vindt plaats door alleen diffusie. In een microchip is het optreden van diffusie goed zichtbaar te maken, zoals te zien in figuur 4.3A. Bij de ingang van de chip zijn twee individuele stromen te onderscheiden, terwijl aan het andere einde het grensvlak tussen de twee stromen is vervaagd of er zelfs nog maar één, volledig gemengde, stroom te onderscheiden is. Een voorwaarde hiervoor is overigens wel dat er tussen het moment dat de vloeistof de chip ingaat en het moment dat de vloeistof de chip uitgaat voldoende tijd zit om de diffusie te laten plaatsvinden, wat bereikt kan worden door bijvoorbeeld gebruik te maken van een lange chip of lage stroomsnelheden.

In de opdracht 'Mengen op een Microchip' wordt de diffusie tussen deze twee stromen gemodelleerd als een twee-compartimentenmodel. Hierin wordt een (bewegend) elementje uit de chip geïsoleerd en behandeld als twee gedeelten (compartimenten): één voor beide originele vloeistofstromen, zoals weergegeven in figuur 4.3B. Vervolgens wordt gewerkt vanuit de aanname dat de concentratie kleurstof per compartiment kan verschillen, maar binnen een compartiment overal gelijk is. Diffusie tussen de compartimenten vindt plaats zoals beschreven door de wet van Fick: $\frac{\delta C}{\delta t} = D \cdot \Delta C$. Een dergelijk twee-compartimentenmodel voor diffusie in Insight Maker is weergegeven in figuur 4.4.

Hoofdstuk 5

Resultaten deelvraag 1

Deelvraag 1

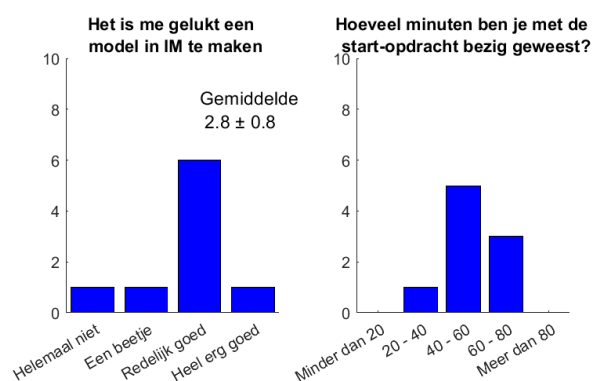
Kunnen leerlingen snel (binnen het tijdsbestek van één les) met Insight Maker uit de voeten?

De eerste deelvraag van dit onderzoek heeft betrekking op de leerbaarheid en het gebruiksgemak van Insight Maker. De data die hierbij is verzameld, kan worden ingedeeld in drie categorieën: de resultaten van het modelleren in Insight Maker, de door de leerlingen ervaren leerbaarheid van het programma en het door hen ervaren gebruiksgemak.

5.1 Resultaten modelleeropdracht

In de vragenlijst hebben leerlingen aangegeven of ze het idee hebben dat het hen gelukt is om het gegeven model na te maken, en hoe lang ze met de start-opdracht bezig zijn geweest. Zie figuur 5.1 voor de resultaten hiervan. Uit de vragenlijst blijkt dat 7 van de 9 leerlingen aangeeft dat hij of zij vindt dat het 'redelijk goed' of 'heel erg goed' gelukt is om een model in Insight Maker te maken. Dit is hen zelfstandig gelukt: tijdens de lessen is het niet nodig geweest om te ondersteunen in het werken met Insight Maker, los van enkele verwijzingen naar de handleiding.

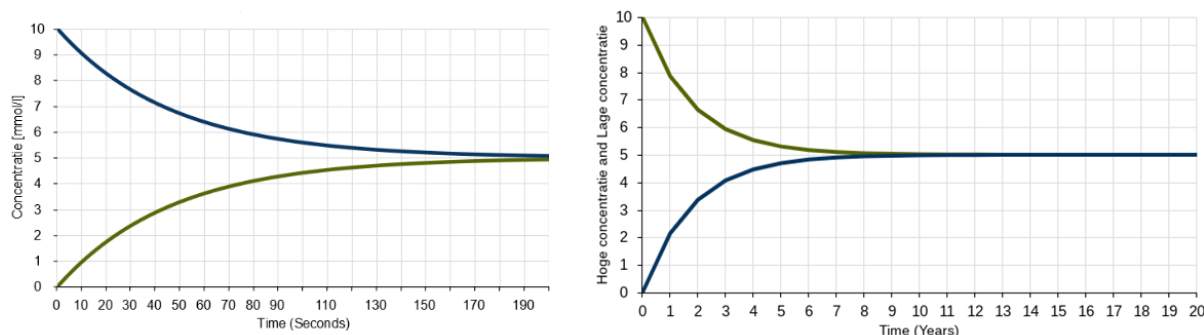
Alle (negen) ingeleverde uitwerkingen van de opdracht ondersteunen dit door te laten zien dat het de leerlingen gelukt is een simpel twee-compartimenten-model na te maken. Leerlingen hebben dit aangetoond door een link naar een kloppend model (4x), een screenshot van het gecreëerde model waarin alle verbindingen juist gelegd zijn (3x) of correcte plots in een later stadium van de opdracht (2x). Wel moet worden opgemerkt dat het model in 4 van de 9 gevallen niet volledig zelf gebouwd is, maar dat het voorbeeld-model is gekloond. Twee van deze vier groepen tonen aan ook zelf vaardig te zijn met het programma door het model uit te bereiden naar een (incompleet) zes-compartimenten model. Daarnaast laten 8 groepen zien een simpele handeling als het aanpassen van startconcentratie goed te kunnen uitvoeren. Dit blijkt uit getoonde grafieken van een simulatie met aangepaste startconcentratie (5x)



ONDERDEEL	VOLLEDIG GELUKT	GELUKT IN GEKLOOND MODEL	DEELS GELUKT	GEEN DATA
MODEL MAKEN	5	4	0	0
SIMULATIE UITVOEREN	5	3	0	1
JUISTE GRAFIEK WEERGEVEN	2	2	3	2

Tabel 5.1: De resultaten van de onderdelen uit de opdracht 'Mengen op een Microchip' die zich richten op vaardigheid met Insight Maker

Figuur 5.1: De resultaten van de schaalvragen over het succes van het modelleren in Insight Maker. Het mediaan-antwoord is met rode rand aangeduid.



Figuur 5.2: Simulatie-resultaten van een correct model met juiste simulatie-instellingen (links) en met verkeerd ingestelde tijdsstap (rechts). De grafieken komen qua vorm overeen, maar hebben een verschillende x-as.

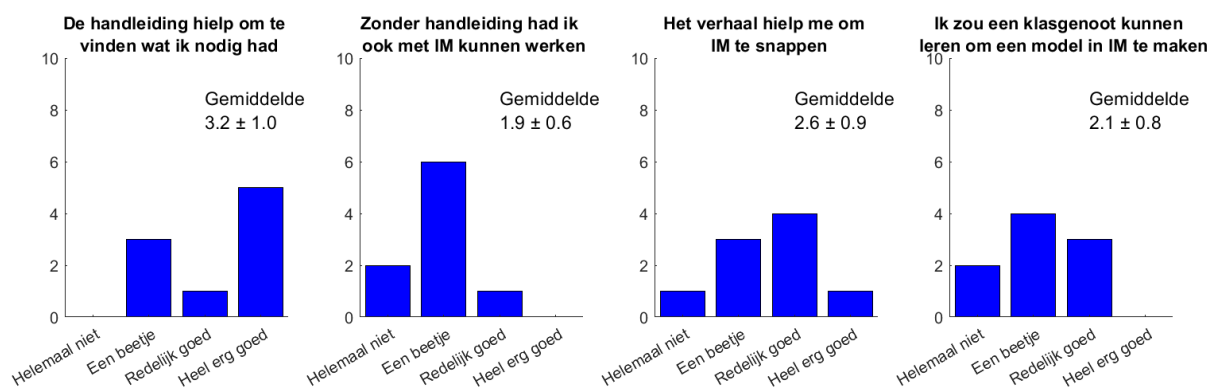
of uit een correcte omschrijving van een dergelijke grafiek (3x). De opdracht waarin dit gedaan moet worden, is door één groep niet uitgevoerd.

Het uitvoeren van simulaties is 8 groepen gelukt en door één groep niet uitgevoerd. Van deze 8 groepen weten er 4 het gewenste resultaat helemaal correct te produceren (juiste grafiek, tijdsstap en tijdseenheid), waarbij moet worden opgemerkt dat twee groepen dit doen in een kloon van het originele model, waarin de tijdsstap en tijdseenheid al goed zijn ingesteld. Van de overige 4 groepen die een simulatie hebben uitgevoerd, zijn er 3 die wel de tijdsstap van de simulatie hebben aangepast, maar niet de tijdseenheid. Dit resulteert in een grafiek met de juiste vorm, maar een onjuiste x-as, zoals in figuur 5.2. De laatste groep heeft geen grafieken weergegeven, en hiervan is dus niet te controleren is of het gelukt is om de juiste tijdsstap en tijdseenheid in te stellen.

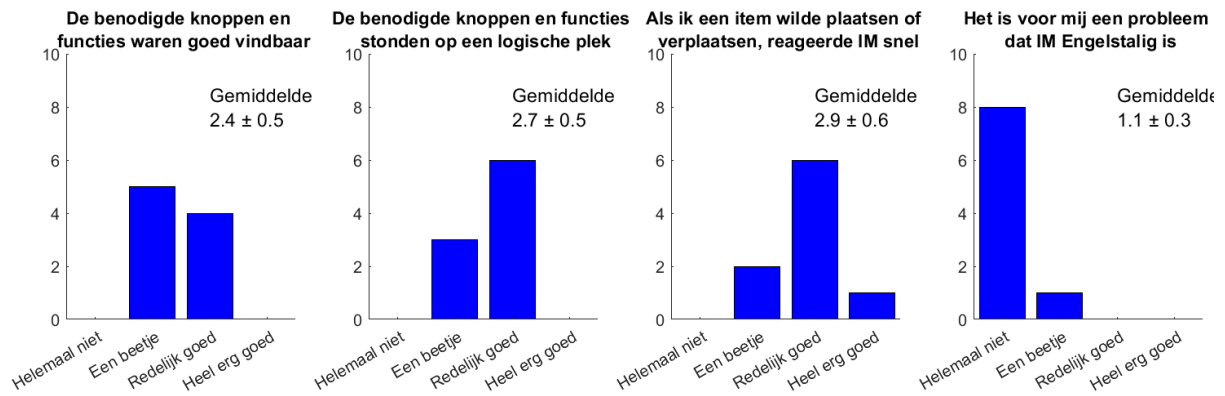
5.2 Leerbaarheid van Insight Maker

Figuur 5.3 geeft de resultaten weer van de schaalvragen over de leerbaarheid van Insight Maker. Bij de behulpzaamheid van de ondersteunende beschrijving 'Werken met Insight Maker' ligt de gemiddelde waarde wat relatief hoog (3.2), wat aangeeft dat deze handleiding als goed ervaren wordt als hulp bij het vinden van de benodigde knoppen en functies. Aanvullend hierop is de score van 1.9 op de vraag of leerlingen denken dat ze zonder deze handleiding met Insight Maker hadden kunnen werken, die een indicatie is dat leerlingen denken dat dit niet het geval is.

Op de overige twee vragen is de score relatief neutraal, met waarden tussen de 2.0 en 3.0. Wat betreft de waarde van het verhaal waarin het twee-compartimenten-model wordt opgebouwd, heerst daarnaast een grote variabiliteit tussen de leerlingen. Dit uit zich in een grotere standaarddeviatie van 0.9 en een verdeling van respondenten over alle antwoordcategorieën. Ten slotte is leerlingen gevraagd of ze denken dat ze, na het maken van de opdracht, een klasgenoot kunnen leren werken met Insight Maker. Hier is de variabiliteit vrijwel even groot (0.8), maar duidt de verdeling van de respondenten over de antwoordcategorieën erop dat leerlingen overwegend denken dit niet goed te kunnen.



Figuur 5.3: De resultaten van de schaalvragen over de leerbaarheid van Insight Maker. De gemiddelden en standaarddeviaties staan in de figuren aangegeven.



Figuur 5.4: De resultaten van de schaalvragen over het gebruiksgemak van Insight Maker. De gemiddelden en standaarddeviaties staan in de figuren aangegeven.

5.3 Gebruikerservaring met Insight Maker

Figuur 5.4 geeft de resultaten weer van de schaalvragen over de gebruikerservaring van Insight Maker. In drie van de vier gevallen heeft de score een neutrale waarde tussen de 2.0 en 3.0. Voor zowel de vindbaarheid als de logische locatie van de benodigde knoppen en functies geldt daarnaast dat de standaarddeviatie laag is en de respons verdeeld over alleen de middelste twee categorieën. Dit ondersteunt een neutrale houding van de leerlingen tegenover deze twee punten. Wat betreft de snelheid waarmee Insight Maker reageert op de acties van leerlingen geldt dat de variabiliteit iets groter is, wat voornamelijk zichtbaar wordt in de verdeling van de respons over drie antwoordcategorieën.

Het laatste punt, dat gaat over de Engelstaligheid van Insight Maker, laat een zeer sterke voorkeur van de leerlingen zien. De gemiddelde score van 1.1, de lage standaarddeviatie van 0.3 en de verdeling van de respons over alleen de eerste twee categorieën indiceren allemaal dat dit voor deze leerlingen geen problemen oplevert.

Hoofdstuk 6

Resultaten deelvraag 2

Deelvraag 2

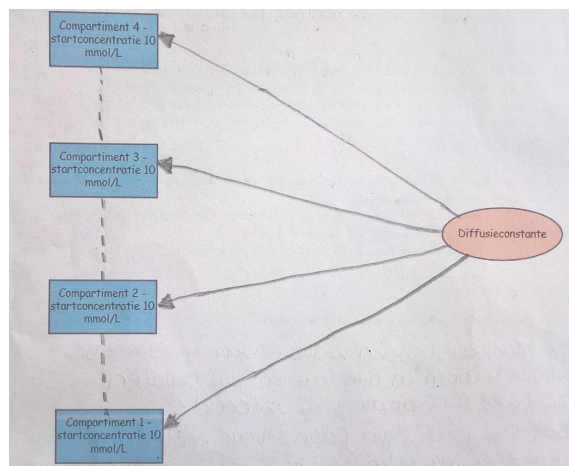
Is de opdracht 'Mengen op een Microchip', ontwikkeld in InsightMaker, bruikbaar om leerlingen modelleervaardigheden te leren uitvoeren en herkennen?

De tweede deelvraag van dit onderzoek richt zich op de mate waarin een opdracht in Insight Maker leerlingen kan helpen bij het leren modelleren. Hiervoor is ten eerste gekeken naar de mate waarin leerlingen de modelleervaardigheden zoals beschreven in sectie 2.2 kunnen toepassen. Daarnaast is ook gekeken of leerlingen in staat zijn deze modelleervaardigheden zelf (impliciet) te herkennen en te beschrijven. Verder is ook aan de leerlingen gevraagd in hoeverre de story modus van Insight Maker hen geholpen heeft het model te begrijpen.

6.1 Uitvoeren van de modelleervaardigheden

In de tabellen 6.1 en 6.2 zijn de resultaten van de opdracht Mengen op een Microchip en de eerste toetsvraag, gecategoriseerd naar onderliggende vaardigheid, weergegeven.

Het conceptualiseren is alleen in de toetsopgave aan de orde gekomen, nadat leerlingen in de eerste opgave van de start-opdracht al wel hebben kunnen zien hoe een twee-compartimenten model vanuit de omschrijving is vertaald in een model. Uit de resultaten van de toetsopgave blijkt dat slechts een gedeelte van de leerlingen in staat is om in dit uitgebreidere model de juiste verbindingen te leggen tussen de verschillende compartimenten (6/15) en tussen de overige componenten van het model (2/15). Hierbij moet wel worden opgemerkt dat een groot aantal leerlingen de juiste structuur van het model weet weer te geven, maar de flows en links consequent verwisseld heeft (4/9) en/of de verbinding tussen de diffusieconstante en de rest van het model gemaakt heeft via compartimenten in plaats van de flows (of consequent verwisselde links, 11/15), zoals in figuur 6.1. Daarnaast hebben 3 van de 6 leerlingen die de flows correct weten te plaatsen, deze weergegeven met een pijl in twee richtingen. Dit geeft geen inzicht in de verwachte stroomrichting in het geval van deze situatie, maar is wel in overeenstemming met de flow in het voorbeeldmodel in Insight Maker.



Figuur 6.1: Een typisch leerlingresultaat bij de eerste toetsopgave: de links (stippellijnen) en flows (pijlen) zijn verwisseld, en de diffusieconstante is verbonden met de compartimenten in plaats van met de flows.

Mathematiseren vormde een onderdeel in beide opdrachten. In de toetsopgave werd voor dit onderdeel gevraagd om de formule bij elke flow aan te geven. Dit is door maar weinig (5/18) leerlingen geprobeerd. Van deze 5 leerlingen, weten er 2 bij elke flow de juiste formule te noemen. De overige leerlingen noemen de wet van Fick als formule die gebruikt moet worden, maar geven hierbij niet of incorrect aan dat

Tabel 6.1: De resultaten van de onderdelen uit de opdracht Mengen op een Microchip die gaan over het ontwikkelen van modelleervaardigheden

VAARDIGHEID	ONDERDEEL	VOLLEDIG GELUKT	GELUKT IN GEKLOOND MODEL	DEELS GELUKT	FOUT	GEEN DATA
MATHEMATISEREN	Parameters bepalen	3	3	2	1	0
OPLOSSEN	Simulatie uitvoeren	8	n.v.t.	0	0	1
	Juiste grafiek weergeven	2	2	3	0	2
INTERPRETEREN	Startconcentraties bepalen	9	n.v.t.	0	0	0
	Grafiek beschrijven	7	n.v.t.	0	0	2
	Effect beschrijven	3	n.v.t.	2	2	2
	Effect verklaren	0	n.v.t.	1	0	8

Tabel 6.2: De resultaten van de eerste toetsvraag

VAARDIGHEID	ONDERDEEL	VOLLEDIG GELUKT	DEELS GELUKT	FOUT	FOUT IN EERDER STADIUM	GEEN DATA
CONCEPTUALISEREN	Tekenen flows	6	0	9	n.v.t.	3
	Richting flows	3	3	0	12	0
	Tekenen links	2	0	13	n.v.t.	3
MATHEMATISEREN	Formules flows	2	2	1	n.v.t.	13

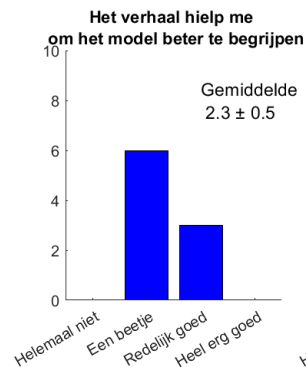
de concentratieverschillen bij elke flow anders kunnen zijn (2x), of maken gebruik van de concentratie kleurstof in een compartiment in plaats van het concentratieverschil tussen compartimenten (1x). In de opdracht 'Mengen op een Microchip' worden de kwantitatieve relaties al in het voorbeeldmodel gegeven, maar wordt leerlingen gevraagd enkele parameters voor het bepalen van de diffusieconstante te bepalen. Voor deze opgave geldt dat het niet goed te beoordelen is of leerlingen daadwerkelijk in staat zijn om deze parameters te bepalen, omdat ook deze al in het voorbeeldmodel gebruikt zijn. Wel blijkt dat 6 van de 9 groepen de juiste waarde gebruiken, echter zonder toe te lichten hoe deze waarden bepaald zijn. Voor de 2 van de overige 3 groepen geldt dat ze de indruk geven de juiste methode te gebruiken om de parameters te bepalen, maar hierin gebruik maken van verkeerde gegevens. De laatste groep laat zien de diffusieconstante een foutieve manier te bepalen.

Het oplossen en interpreteren van het model is alleen in de opdracht Mengen op een Microchip aan bod gekomen. Voor het oplossen geldt dat dit volledig door Insight Maker gedaan wordt: de vaardigheden die leerlingen hiervoor moeten hebben, zijn vaardigheden met Insight Maker zelf. De resultaten hiervan staan beschreven in sectie 5.1. Het interpreteren van de modelresultaten is, in verschillende moeilijkheidsgraden, onderdeel van de opdracht Mengen op een Microchip. Uit de resultaten blijkt dat simpele opdrachten (startconcentraties bepalen en de modelresultaten koppelen aan verschillende stadia in diffusie) door alle leerlingen goed uit te voeren zijn. Een complexere opdracht, het beschrijven van het effect van de startconcentratie kleurstof op de snelheid en het resultaat van de diffusie, levert bij de meeste leerlingen meer moeilijkheden op. Slechts 3 van de 7 groepen die de opdracht hebben uitgevoerd, weten voor alle drie de aspecten (snelheid, evenwichtsconcentratie, tijdsduur) de juiste effecten te benoemen. De overige 4 groepen gaan op hetzelfde punt de fout in: zij interpreteren de gelijkblijvende vorm van de grafiek bij verschillende startconcentraties als een gelijkblijvende snelheid van de diffusie. Daarnaast geven 2 van deze groepen aan dat ook de eindconcentratie kleurstof in beide compartimenten onveranderd blijft. Het vervolgens ook nog verklaren van deze effecten wordt door maar 1 van de 7 groepen geprobeerd, en ook deze groep verklaart maar één van de drie aspecten. Omdat in de resultaten geen onderscheid te maken is tussen leerlingen die de vraag niet beantwoorden omdat ze niet weten wat ze moeten doen, en leerlingen die door tijdgebrek niet toe zijn gekomen aan de vraag, is het moeilijk te beoordelen of leerlingen deze lastige interpretatie-stap beheersen.

Zowel in de start-opdracht als in de toetsopgaven is het ontwikkelde model niet gevalideerd aan de hand van experimentele data. Als gevolg hiervan kan niet bepaald worden of opdrachten in Insight Maker deze vaardigheid kunnen helpen ontwikkelen.

VAARDIGHEID	AANTAL KEER GENOEMD	GEBRUIKTE SIGNAAL- WOORDEN
CONCEPTUALISEREN	2	'Kijken welke dingen invloed hebben' 'Schetsen en kijken wat er gebeurt'
MATHEMATISEREN	2	'Stel de formules in' 'Formules aangeven'
OPLOSSEN	3	'..., dit zie je terug in de grafiek' 'Systeem zet dit in een grafiek' 'Computer laten rekenen'
INTERPRETEREN	0	n.v.t.
VALIDEREN	1	'Ter controle vul je de eenheden in'
GEBRUIK INSIGHT MAKER	8	Onder andere: 'Link ze aan elkaar' 'Teken de flows' 'Voeg de compartimenten toe'

Tabel 6.3: Het resultaat van de tweede toetsvraag: "Leg zo goed mogelijk uit hoe je een model maakt"



Figuur 6.2: Het resultaat van de schaalvraag over de rol van de storymodus. Het mediaan-antwoord is met rode rand aangeduid.

6.2 Herkennen van de modelleervaardigheden

Tabel 6.3 geeft weer welke modelleervaardigheden door de leerlingen (impliciet) beschreven worden als antwoord op de tweede toetsvraag. Uit deze analyse komt naar voren dat de meeste (8/10) leerlingen de vaardigheden met Insight Maker (zoals compartimenten plaatsen en verbindingen leggen) noemen als onderdeel van het modelleren. Voor 4 van deze 8 leerlingen geldt dat dit de enige vaardigheid is die beschreven wordt.

De inhoudelijke modelleervaardigheden worden door minder leerlingen genoemd. De 6 leerlingen die één of meer van deze vaardigheden noemen, focussen daarbij ook voornamelijk op de manier waarop dit in Insight Maker gedaan wordt. Zo wordt mathematiseren gezien als het invullen van formules en oplossen als het maken van een grafiek. Noemenswaardig hierbij is dat één leerling het valideren van het model door het invullen van eenheden noemt. Insight Maker heeft deze optie om te controleren of het model qua dimensies klopt, maar deze is, net als het valideren van het model met experimentele data, niet gebruikt in de opdracht of het voorbeeldmodel.

Conceptualiseren en interpreteren zijn beide niet binnen Insight Maker uit te voeren. Het conceptualiseren, dat in de cyclus van modelleervaardigheden vóór het mathematiseren en oplossen komt, wordt door 2 leerlingen omschreven als het in kaart brengen van verbanden, ondanks dat deze vaardigheid in de opdracht 'Mengen op een Microchip' niet uitgebreid aan bod is geweest. Het interpreteren, dat uitgebreid aan bod is geweest maar in de cyclus van vaardigheden ná mathematiseren en oplossen komt, wordt door leerlingen niet genoemd als onderdeel van modelleren.

6.3 Rol van de Story Modus bij modelbegrip

Naast dat gekeken is naar de uitwerkingen van opgaven, is ook aan de leerlingen gevraagd om aan te geven in hoeverre ze zelf denken dat Insight Maker, en specifiek de Story Modus, hen geholpen heeft bij het begrijpen van het model. Het resultaat hiervan is te zien in figuur 6.2. De gemiddelde score van 2.3, de lage standaarddeviatie van 0.5 en de verdeling van de respons over alleen de middelste twee categorieën laten zien dat de leerlingen neutraal staan tegenover deze functionaliteit.

Hoofdstuk 7

Resultaten deelvraag 3

Deelvraag 3

Wat zijn de features van InsightMaker en hoe verhouden die zich tot andere, gangbare programma's met een modellerfunctionaliteit, m.n. coach en excel?

7.1 Specificaties van de platformen

Om de toegevoegde waarde van Insight Maker te beoordelen, zijn de specificaties van Insight Maker vergeleken met die van de meer gangbare (modeller)platformen CMA Coach 7 en Microsoft Excel. Deze vergelijking is te vinden in tabel 7.1.

Tabel 7.1: Een overzicht van de specificaties van Insight Maker, CMA Coach 7 en Microsoft Excel

BASIS-FUNCTIONALITEIT	INSIGHT MAKER	CMA COACH 7	MICROSOFT EXCEL
Modelleermodus	Grafisch, Agent-Based	Grafisch, vergelijkingen, tekst	Vergelijkingen
Mogelijkheid tot tonen grafiek	✓	✓	✓
Tonen tabel	✓	✓	✓
Integratiemethodiek	Euler (standaard) RK4 (optioneel)	Euler (standaard) RK2, RK4 (optioneel)	n.v.t.
Importeren van en vergelijken met metingen	✗	✓	✓
BEDIENINGSGEMAK EN LAY-OUT			
Basisfuncties conform windows-conventies	✓	✓	✓
Veelgebruikte functies makkelijk bereikbaar	✓	✓	✓
Schermlay-out	Één modelscherm, simulaties in pop-up	Schermlay-out door gebruiker in te delen met model, grafieken, tabel e.d.	Spreadsheet, grafieken door gebruiker te plaatsen
OPENHEID EN FLEXIBILITEIT			
Compatibele operating systems	Alle operating systems (internetverbinding vereist)	Windows, Mac OS, Android, Chrome OS (beperkte versie)	Alle operating systems (internetverbinding vereist)
Model en grafiek naar tekstverwerker	Figuur te exporteren als .svg-bestand	✓	Alleen grafiek
Web-based viewer	✓	✗	✓
Importeren/ exporteren .csv	Exporteren	Importeren en exporteren	Importeren en exporteren
RONDOM DE SOFTWARE			
Ondersteuning	Online handleiding, Instructievideo	Online handleiding, meegeleverde voorbeelden	Online handleiding

Toekomstperspectief	Onbekend	Constante ontwikkeling, focus op chromebook	Constante ontwikkeling
Huidige beschikbaarheid en bekendheid op school	Zeër laag	Hoog	Zeër hoog
Licentievorm en kosten	Geen licentie, gratis gebruik	1-jaar BYOD- of desktop-licentie, prijs afhankelijk van aantal leerlingen (tot €999/jaar)	Onderdeel van gratis Office 365 Education pakket
AANVULLENDE FUNCTIES			
Externe data als input	✗	✓	✓
Copy/paste spreadsheet	✗	✗	✓
Zoomfunctie	✓	✓	✓
Nederlandstalig	✗	✓	✓
Data-analysefuncties	✗	✓	✗
Meerdere runs vergelijken	✓	✓	✓
Richtingveld	??	??	??
Bewerken in tekstmodus	✗	✓	✗
Kwalitatief modelleren	✗	✗	✗
Relaties specificeren d.m.v. grafiek	??	??	??
Dimensie-controle	✓	✗	✗
Animatie koppelen	✗	✓	✗
Gevoeligheidsanalyse	✓	✗	✗
Events detecteren	✗	✗	✗
Model deels verbergen	✗	✗	✓
Opmaakmogelijkheden	✓	✓	✓
Configureerbare omgeving	✓	✓	✓

7.2 Insight Maker ten opzichte van andere platformen

Uit de analyse van de platformen in tabel 7.1 komt een aantal verschillen tussen Insight Maker en Coach 7 en/of Excel naar voren. De meest belangrijke verschillen zijn te verdelen in vier categorieën: bekendheid, openheid & flexibiliteit, werken met externe data en analyse van het model en de resultaten.

Wat betreft de bekendheid heeft Insight Maker een groot nadeel ten opzichte van zowel Coach als Excel, omdat deze twee programma's al veel meer op scholen gebruikt worden. Microsoft Excel wordt daarnaast ook buiten het onderwijs veel gebruikt. Het gevolg hiervan is dat Insight Maker door zowel docenten als leerlingen vanaf de basis moet worden geleerd, waardoor het in eerste instantie meer tijd kost om te gebruiken. De openheid en flexibiliteit van Insight Maker zijn, net als die van Excel, groter dan bij Coach 7. Doordat Insight Maker een web-based platform is, is het te gebruiken en bekijken zonder programma's te installeren. Dit maakt Insight Maker, in tegenstelling tot Coach 7, bruikbaar voor alle operating systems. Wel is een constante internetverbinding vereist. Een extra pluspunt is dat Insight Maker gratis te gebruiken is, terwijl voor Coach 7 door de school jaarlijks een licentie moet worden gekocht.

Wat betreft de inhoudelijke functies komt Insight Maker wat te kort ten opzichte van Excel en met name Coach 7. Beide andere platformen bieden de mogelijkheid tot valideren door de modelresultaten te vergelijken met externe data, terwijl dit in Insight Maker niet mogelijk is. Daarnaast heeft Coach 7 ook uitgebreide functies om de modelresultaten verder te analyseren en daarmee de vaardigheid interpreteren aan bod te laten komen, wat in Insight Maker geen mogelijkheid is. Wel heeft Insight Maker meer mogelijkheden om het model zelf te analyseren, bijvoorbeeld door dimensie-analyse en gevoeligheidsanalyse.

Hoofdstuk 8

Discussie

8.1 Algemene limitaties van het onderzoek

Dit onderzoek is uitgevoerd als case-study binnen één klas. Een gevolg hiervan is ook dat er maar weinig respondenten zijn en dat de invloed van factoren zoals de docent, leerjaar of de context waarin Insight Maker gebruikt is, niet bepaald kan worden. Hierdoor is het lastig de conclusies van dit onderzoek te generaliseren en algemene conclusies te trekken over de bruikbaarheid van Insight Maker als modelleerplatform. Echter, de resultaten kunnen wel gebruikt worden om weer te geven welke mogelijkheden Insight Maker biedt, en om te bepalen of Insight Maker verder onderzocht zou moeten worden als potentieel modelleerplatform voor algemeen gebruik in het voortgezet onderwijs.

Daarnaast is het ook binnen deze casus, met name doordat maar een gedeelte van de opdracht 'Mengen op een Microchip' is uitgevoerd, beperkt welke conclusies getrokken kunnen worden. Uiteindelijk is door leerlingen alleen de start-opdracht gemaakt. Dit gedeelte van de opdracht richt zich op het ontwikkelen van vaardigheden met Insight Maker, en nog niet op het doorlopen van de modelleercyclus en het (verder) ontwikkelen van de modelleervaardigheden. Ook biedt dit eerste gedeelte nog geen mogelijkheid tot herhaald gebruik van Insight Maker en dus tot vertrouwd worden met het programma, terwijl dit wel een vereiste is om te kunnen leren modelleren (van Buuren et al., 2016; Savelsbergh et al., 2008). Deze beperkingen kunnen ertoe leiden dat het op basis van dit onderzoek lijkt dat leerlingen in Insight Maker maar weinig modelleervaardigheid ontwikkelen, terwijl ze eigenlijk te weinig gelegenheid gehad hebben om hier echt mee aan de gang te gaan. De resultaten uit dit onderzoek kunnen daarom beschouwd worden als een minimum: met de juiste opdrachten en voldoende gelegenheid, zouden leerlingen minimaal tot op dit niveau modelleervaardigheden moeten kunnen ontwikkelen.

8.2 Bruikbaarheid van Insight Maker

Voor dit onderzoek hebben leerlingen met weinig tot geen modelleerervaring een simple modelleeropdracht in Insight Maker uitgevoerd. Het doel hiervan was uit te zoeken in hoeverre Insight Maker bruikbaar is als platform om leerlingen te leren modelleren. Uit de resultaten van het onderzoek komt naar voren dat leerlingen snel met het programma aan de slag kunnen. Alle basisvaardigheden die nodig zijn om een klein model te maken (stocks en flows plaatsen, formules en beginwaarden opgeven, simulaties uitvoeren) zijn door leerlingen binnen één à twee lessen zelfstandig geleerd. Uit de vragen die aan leerlingen gesteld zijn over de leerbaarheid en gebruiksvriendelijkheid van Insight Maker komen overwegend neutrale resultaten naar voren. Dit kan betekenen dat de leerlingen over het algemeen neutraal tegenover het programma staan, maar kan ook een indicatie zijn voor een wisselende ervaring met het programma. In dat geval kan geen eenduidige conclusie over de leerbaarheid en gebruiksvriendelijkheid gegeven worden, omdat deze sterk persoonsafhankelijk is. Een hoger aantal antwoordcategorieën had de resultaten betrouwbaarder kunnen maken (Lozano et al., 2008) en een duidelijker voorkeur kunnen weergeven.

De resultaten laten wel duidelijk zien dat de Engelstaligheid van het programma voor de leerlingen geen probleem vormt. Echter, dat dit in vwo 5 geen moeilijkheden veroorzaakt, betekent niet dat dit in lagere jaren of op andere niveaus, waar het niveau Engels waarschijnlijk lager ligt, ook het geval is. Mogelijk ervaren deze leerlingen dus een lager gebruiksgemak met Insight Maker, wat de schoolbrede bruikbaarheid van het programma verlaagt.

Verder blijkt dat Insight Maker leerlingen maar in een deel van de modelleervaardigheden ondersteunt. Wat betreft het oplossen en interpreteren blijkt uit de resultaten van de opdracht dat het uitvoeren van een simulatie en het maken van simpele interpretaties door alle leerlingen goed kan worden uitgevoerd, maar dat het correct weergeven van grafieken en de complexere interpretaties die op basis van deze grafiek gedaan moeten worden bij een aantal groepen (gedeeltelijk) fout gaat. Op het eerste gezicht is dit een indicatie dat Insight Maker deze twee vaardigheden alleen op instapniveau kan aanleren en ondersteunen. Echter, de problemen komen naar voren in de start-opdracht, en het is dus, zoals besproken in sectie 8.1, ook mogelijk dat de fouten niet ontstaan door een gebrekkige oplosvaardigheid, maar door een gebrekkige vaardigheid met Insight Maker. Daarnaast zou voor de complexe interpretatievragen, die pas aan het einde van de start-opdracht aan bod komen, niet alleen een gebrek aan vaardigheid maar ook een gebrek aan tijd een verklaring kunnen vormen voor het ontbreken van antwoorden. In dit geval kunnen hierdoor geen harde uitspraken gedaan worden over in hoeverre Insight Maker in staat is om leerlingen ook bij complexe interpretatievraagstukken te ondersteunen.

Het conceptualiseren is alleen in de eerste toetsvraag getest, en levert bij de meeste leerlingen problemen op in het plaatsen van de juiste verbindingen. Een belangrijke kanttekening die hierbij geplaatst moet worden, is dat de leerlingen bij deze vraag geen toegang hadden tot Insight Maker en het document 'Werken met Insight Maker'. In Insight Maker bestaat een duidelijk verschil in de aard van flows en links (flows kunnen alleen verbonden worden met stocks) dat in deze toetsopgave niet bestond. De veelgemaakte fout van het consequent verwisselen van flows en links zou in Insight Maker naar alle waarschijnlijkheid direct door de leerlingen geconstateerd worden, wat resulteert in een hoger aantal leerlingen dat de juiste structuur van het model kan weergeven, en daarmee ook in een schijnbaar beter ontwikkelde conceptualisatie-vaardigheid.

Het mathematiseren ten slotte is maar beperkt te beoordelen. Hoewel het bij de opdracht 'Mengen op een Microchip' de meeste leerlingen lukt om de juiste parameters te bepalen, is niet uit te sluiten dat deze niet op basis van de beschrijving uitgerekend zijn, maar direct overgenomen zijn vanuit het voorbeeldmodel. Het omgekeerde geldt bij de eerste toetsopgave: slechts enkele leerlingen hebben hier geprobeerd de relaties tussen de stocks met een formule weer te geven. Het gebrek aan antwoord kan betekenen dat leerlingen niet weten wat ze hier moeten doen en dus de vaardigheid mathematiseren niet voldoende ontwikkeld hebben, maar het kan ook een indicatie zijn dat ze de wet van Fick niet paraat hadden, terwijl ze wel geweten hadden hoe ze die moesten toepassen. Bij beide vragen is door leerlingen geen verdere toelichting gegeven, en dus kan hierover geen uitspraak gedaan worden.

Als laatste moet worden opgemerkt dat de leerlingen, doordat alleen het eerste gedeelte van de opdracht 'Mengen op een Microchip' is gemaakt, niet de volledige modelleercyclus hebben doorlopen. Hierdoor hebben ze geen inzicht gekregen in het volledige proces en de invloed die een stap laat in het proces, zoals interpreteren, heeft op andere stappen. Dit is een mogelijke verklaring voor het gegeven dat deze vaardigheid niet door leerlingen genoemd wordt als onderdeel van het modelleerproces. Echter, ook de andere modelleervaardigheden worden, in vergelijking met het gebruik van Insight Maker, maar weinig door leerlingen genoemd in hun omschrijving van modelleren. Een mogelijke verklaring hiervoor ligt in het feit dat de focus van het start-gedeelte van de opdracht 'Mengen op een Microchip' niet ligt op het ontwikkelen van modelleervaardigheden, maar op het vaardig worden met Insight Maker.

Op basis van het examenprogramma, waarin van vwo-leerlingen wordt verlangd dat ze zelf modellen kunnen ontwikkelen, gebruiken en toetsen, mag verwacht worden dat de leerlingen uit deze casus in staat zijn om alle vaardigheden uit de modelleercyclus te leren beheersen. De resultaten van dit onderzoek geven de indruk dat dit maar ten dele gelukt is: het oplossen en interpreteren lukt tot een zeker niveau, de overige vaardigheden zijn niet aan bod gekomen of lukken veel leerlingen niet. Echter, in het havo-examenprogramma ligt de nadruk op het oplossen en interpreteren van modellen. Insight Maker is dus mogelijk voor havo-leerlingen toereikend voor het ontwikkelen van modelleervaardigheden.

8.3 Toegevoegde waarde van Insight Maker

In de vergelijking tussen Insight Maker, Coach 7 en Microsoft Excel in hoofdstuk 7 komt naar voren dat Insight Maker op veel punten vergelijkbaar is met de andere platforms. Op een aantal vlakken is er echter wel een verschil. Inhoudelijk heeft Insight Maker weinig voor op de bekendere modelleerplatforms, en schiet het tekort wat betreft functies voor het interpreteren en valideren van de data. Waar Coach 7 en Microsoft Excel hier mogelijkheden voor bieden, moeten gebruikers van Insight Maker hiervoor externe

programma's (zoals, ironisch genoeg, Microsoft Excel) voor gebruiken.

Echter, als het gaat over de openheid en beschikbaarheid van het programma wint Insight Maker het op dit moment van Coach 7. De voornaamste reden hiervoor is dat Insight Maker, als web-based platform, op alle operating systems zonder licentie gebruikt kan worden. Een belangrijk punt hierbij is echter dat CMA op dit moment in zijn ontwikkeling van Coach extra focus legt op het beschikbaar maken van de software op chromebooks, waardoor Coach 7 in de nabije toekomst ook op alle gangbare platforms op middelbare scholen (Windows, Mac OS, Chrome OS) volledig beschikbaar zal zijn. Hiermee komt het belangrijkste argument vóór het gebruik van Insight Maker als modelleerplatform te vervallen. Microsoft Excel is wat betreft openheid en beschikbaarheid vergelijkbaar met Insight Maker, maar is, omdat het alleen een mogelijkheid biedt tot modelleren op basis van vergelijkingen, niet direct inwisselbaar met het grafische Insight Maker.

Hoofdstuk 9

Conclusie en aanbevelingen

Uit dit onderzoek blijkt dat Insight Maker een modelleerprogramma is waarvan leerlingen binnen korte tijd de basisvaardigheden onder de knie kunnen krijgen. Daarnaast blijkt dat Insight Maker hen ten minste op basisniveau kan ondersteunen bij het ontwikkelen en uitvoeren van modelleervaardigheden. Of Insight Maker diezelfde rol kan vervullen in complexere vaardigheden, kan door de beperkingen van dit onderzoek niet bepaald worden. Wel wordt duidelijk dat Insight Maker voor in ieder geval het valideren het model geen mogelijkheden biedt, waardoor in ieder geval op het vwo uiteindelijk een tweede programma gebruikt moet worden.

Op basis van deze resultaten kan, met enige voorzichtigheid, gesteld worden dat Insight Maker een programma is *'dat dicht bij de gangbare, voor leerlingen begrijpelijke, wiskundige methodiek staat, en dat relatief makkelijk te beheersen is'*, waarmee het programma voldoet aan de meeste eisen die in sectie 2.4 gesteld zijn aan een bruikbaar modelleerplatform. Echter, aan de derde eis voor een bruikbaar modelleerplatform, *'brede inzetbaarheid'*, wordt door Insight Maker minder goed voldaan dan door (met name) Coach 7.

Om een stelligere conclusie te kunnen trekken, is het nodig om ook complexere modelleervaardigheden van leerlingen in Insight Maker te vragen, bijvoorbeeld aan de hand van de gevorderden- en expert-opdracht van de opdracht 'Mengen op een Microchip'. Daarnaast moet beoordeeld worden of het beperkter aantal functies van Insight Maker ten opzichte van Coach 7 er inderdaad, zoals aangenomen, voor zorgt dat leerlingen enkele modelleervaardigheden minder goed kunnen ontwikkelen. Hiervoor moet de opdracht 'Mengen op een Microchip' worden herschreven, zodat deze ook in Coach 7 uit te voeren is. In alle gevallen kan de betrouwbaarheid van de data verhoogd worden door het onderzoek uit te voeren met meer leerlingen, bij voorkeur in verschillende klassen en bij verschillende docenten.

Gebaseerd op de conclusies van dit onderzoek kan gesteld worden dat Insight Maker een bruikbaar platform is voor het ontwikkelen van simpele modellen bij NLT. Insight Maker kan, indien gewenst, naast Microsoft Excel gebruikt worden. Deze programma's werken met verschillende modelleermodi en zullen daardoor mogelijk met verschillende doelen worden ingezet. Echter, het programma biedt niet voldoende aanvullende functies om te dienen als vervanger van of aanvulling op CMA Coach 7. Voor scholen waar leerlingen op dit moment (nog) niet volledig met Coach 7 kunnen werken omdat er gewerkt wordt met chromebooks, biedt Insight Maker wel voldoende mogelijkheden om toch grafisch te kunnen modelleren. Echter, omdat er op den duur alsnog gebruik gemaakt moet worden van een tweede programma of een ander platform, is het aan te raden al vanaf het begin te investeren in een breder toepasbaar platform zoals Coach 7.

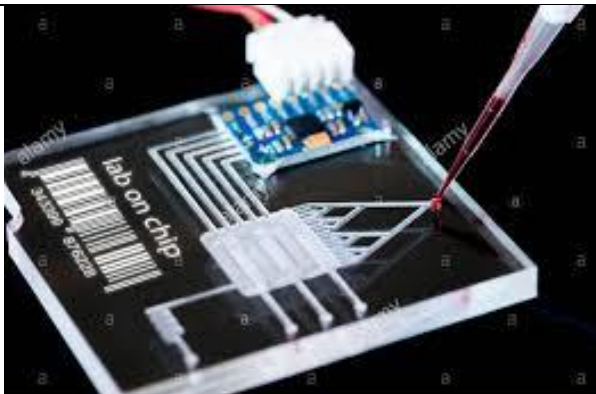
Bibliografie

- Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H. & Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of educational objectives. vol. 1: Cognitive domain*. Longman.
- Boone, H. N. & Boone, D. A. (2012). Analyzing likert data. *Journal of extension*, 50(2), 1–5.
- Clason, D. L. & Dormody, T. J. (1994). Analyzing data measured by individual likert-type items. *Journal of agricultural education*, 35(4), 4.
- College voor Toetsen en Examens. (2019a). *Examenprogramma natuurkunde, havo*.
- College voor Toetsen en Examens. (2019b). *Examenprogramma natuur, leven en technologie, havo*.
- College voor Toetsen en Examens. (2019c). *Examenprogramma natuur, leven en technologie, vwo*.
- de Ruijter, M., van Buuren, M. & Buizert, C. W. (2010). *Begripkennis en modelleervaardigheden in de 4e klas op de havo en het vwo* (MSc. Thesis). Universiteit Delft.
- Etkina, E., Warren, A. & Gentile, M. (2006). The role of models in physics instruction. *The physics teacher*, 44(1), 34–39.
- Fortmann-Roe, S. (2014). Insight maker: A general-purpose tool for web-based modeling & simulation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 47, 28–45.
- Greca, I. M. & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1–11. Verkregen van <https://doi.org/10.1080/095006900289976> doi: 10.1080/095006900289976
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of bloom’s taxonomy: An overview. *Theory into practice*, 41(4), 212–218.
- Lijnse, P. (2008). Modellen van/voor leren modelleren. *Tijdschrift voor Didactiek der beta-wetenschappen*, 25, 3–24.
- Lozano, L. M., García-Cueto, E. & Muñiz, J. (2008). Effect of the number of response categories on the reliability and validity of rating scales. *Methodology*, 4(2), 73–79. Verkregen van <https://doi.org/10.1027/1614-2241.4.2.73> doi: 10.1027/1614-2241.4.2.73
- Savelsbergh, E., Drijvers, P., van de Giessen, C., Heck, A., Hooyman, K., Krüger, J., ... Westra, R. (2008). *Modelleren en computer-modellen in de β -vakken: advies op verzoek van de gezamenlijke β -vernieuwingscommissies*. Freudenthal Instituut voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen.
- SLO. (2016). *Modelleren*. Op 2019-05-21 verkregen van <http://onderzoekinzesstappen.slo.nl/modelleren/>
- Spandaw, J. & Zwaneveld, B. (2012). Modelleren. In P. Drijvers, A. van Streun & B. Zwaneveld (red.), *Handboek wiskundendidactiek* (p. 245–265). Utrecht: Epsilon uitgaven.
- van Buuren, O., Heck, A. & Ellermeijer, T. (2016). Understanding of relation structures of graphical models by lower secondary students. *Research in Science Education*, 46(5), 633–666.
- van Buuren, O. & Kortland, K. (2017). Modelleren. In K. Kortland, A. Mooldijk & H. Poorthuis (red.), *Handboek natuurkundendidactiek* (p. 296–308). Amsterdam: Epsilon uitgaven.
- Van der Donk, C. & Van Lanen, B. (2012). *Praktijkonderzoek in de school*. couthino.
- van der Veen, T. & van der Wal, J. (2012). *Van leertheorie naar onderwijspraktijk*. Noordhoff Uitgevers.

Appendices

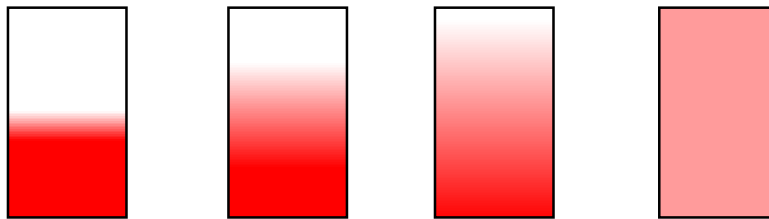
Bijlage A

Opdracht Mengen op een Microchip

Mengen op een Microchip	
	VAKGEBIEDEN
	Natuurkunde, Biologie, Wiskunde
	BIJPASSENDE NLT MODULE(S)
	Lab on a Chip
INTRODUCTIE CONTEXT	MOEILIJKHEIDSGRAAD
	CONCEPTEN
	Diffusie, Lab-on-a-chip, twee-compartimenten model
	GESCHATTE TIJDSDUUR
	Start: 1 uur Gevorderd: 2 uur Expert: 2 uur
	BRUIKBARE SOFTWARE
	Insight Maker
OPDRACHT	BRONNEN
Bij deze context zijn opdrachten op verschillende niveaus geformuleerd. Start: Je leert werken met Insight Maker, bouwt een simpel model met twee compartimenten op en optimaliseert dit model Gevorderd: Je maakt het model realistischer door het op te delen in zes of meer compartimenten Expert: Je verifieert het model door het te vergelijken met experimenten	Handleiding 'Modelleren in Insight Maker'
WAT LEVER JE IN?	BEOORDELING
In de beschrijving van de opdrachten staat wat je moet doen. De antwoorden op de vragen, de link naar je modellen en de resultaten van je experimenten lever je in.	

Als twee vloeistofstromen op een microchip worden samengebracht, zullen deze stromen langzaam gaan mengen. Zolang er sprake is van een laminaire stroming, gebeurt dit enkel door diffusie. Voordat je deze diffusie goed kunt modelleren, heb je eerst wat theoretische achtergrond nodig.

De simpelste manier om diffusie voor te stellen, is met een twee-compartmenten model: twee bakken met een verschillende concentratie van een stof (bijvoorbeeld kleurstof), en tussen de bakken een verbinding waar de (kleurstof)moleculen zonder moeite doorheen kunnen bewegen. Hierdoor zal in de ene bak de concentratie langzaam toenemen, en in de andere bak langzaam afnemen. Dit proces stopt pas als de concentratie kleurstof in beide bakken gelijk is. De concentratie kleurstof op dat moment noem je de evenwichtsconcentratie. Hoe diffusie eruit ziet, zie je ook in afbeelding 1.



Afbeelding 1. Hoe langer diffusie plaatsvindt, hoe beter de kleurstof zich verdeelt

Deze diffusie kan wiskundig worden weergegeven volgens de wet van Fick:

$$\frac{dC}{dt} = D \cdot \Delta C$$

Hieruit blijkt dat de snelheid waarmee de concentratie in elk van de bakken verandert, $\frac{dC}{dt}$, recht evenredig is met het concentratieverschil tussen de twee bakken (ΔC). Daarnaast hangt deze snelheid af van de diffusieconstante D , die je kunt berekenen aan de hand van de formule

$$D = \frac{k_B T A}{6 \pi \eta r x V}$$

Hierin is k_B de constante van Boltzman, T de temperatuur (in Kelvin), A het oppervlak waardoor de diffusie plaatsvindt, η de viscositeit van het materiaal waarin de moleculen bewegen, r de straal van het diffunderende deeltje, x de afstand waarover de diffusie plaatsvindt en V het volume van het compartiment.

Een belangrijk kenmerk van een model is dat je de werkelijkheid versimpeld weergeeft. Met een twee-compartimenten model kan je een indruk krijgen van hoe diffusie in een microchip verloopt.

Opdracht 1

Ga naar www.insightmaker.com/insight/165308. Je komt nu op een pagina waar een simpel model voor diffusie wordt opgebouwd. Doorloop deze tutorial en gebruik dit om te ontdekken hoe het model in elkaar zit.

Opdracht 2

In deze beschrijving worden de startconcentraties kleurstof in de twee compartimenten niet genoemd. Je kunt ze wel afleiden uit de simulaties. Wat is de concentratie kleurstof in elk van de twee compartimenten voordat er diffusie heeft plaatsgevonden?

Opdracht 3

Je hebt nu gezien hoe een simpel twee-compartimenten model van diffusie kan worden opgebouwd. Maak nu, in Insight Maker, dit model na. Gebruik hierbij de volgende waarden bij het berekenen van de diffusiecoëfficiënt:

Viscositeit water = $0.001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$

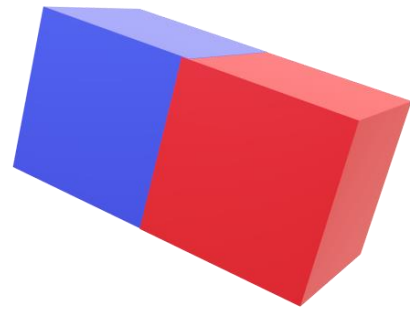
Temperatuur = 293 K

Straal kleurstofmolecuul = $1.0 \cdot 10^{-11} \text{ m}$

Constante van Boltzman = $1.38065 \cdot 10^{-23} \text{ Nm} \cdot \text{K}^{-1}$

De waarde voor V , A en x moet je zelf bepalen. Neem hiervoor aan dat de twee compartimenten allebei kubussen zijn met zijdes van 1 mm . De diffusie vindt plaats door één van de zijvlakken van de kubus.

Gebruik verder de startconcentraties kleurstof die je in opdracht 2 gevonden hebt.



Opdracht 4

Voer een simulatie uit van het model dat je zelf gemaakt hebt. Laat zien dat de grafiek die je krijgt, hetzelfde is als de grafiek die je aan het eind van opdracht 1 hebt gezien. Geef daarnaast voor de 4 plaatjes uit afbeelding 1 aan welk tijdstip uit de grafiek ze ongeveer aangeven.

Opdracht 5

Pas nu de startconcentratie kleurstof in het compartiment 'hoge concentratie' aan naar 50 mmol/L en voer een nieuwe simulatie uit. Wat gebeurt er met:

- De snelheid van de diffusie aan het begin?
- De evenwichtsconcentratie?
- De tijd die het duurt tot de evenwichtsconcentratie bereikt wordt?

Gebruik de formules die je hebt ingevuld in het model om uit te leggen waarom dit gebeurt.

Het model dat je in opdracht 1 t/m 5 gemaakt en getest hebt, is de meest versimpelde versie die er te bedenken valt. In de praktijk blijkt dit model niet voldoende te zijn om te beschrijven wat er in de microchip gebeurt: de concentratie verandert niet op elk punt in de buis even snel. Je kunt je misschien wel voorstellen dat de concentratie in het midden van de buis, op het raakvlak van de stroom mét kleurstof en de stroom zonder kleurstof, sneller verandert dan de concentratie aan de rand van de buis. Door een model te maken dat bestaat uit meer dan twee compartimenten, kan je een model maken dat dichter bij de werkelijkheid in de buurt komt. Hiervoor deel je zowel het compartiment 'hoge concentratie' als het compartiment 'lage concentratie' op in 3 nieuwe compartimenten.

Opdracht 6

Maak een (schematische) tekening van het kanaaltje op de chip met hierin de 6 compartimenten. Geef in je tekening aan wat de startconcentratie kleurstof voor elk van de compartimenten is. Geef daarnaast voor elk compartiment aan of er een 'inflow' en/of een 'outflow' van kleurstof is, en zo ja vanuit welke compartimenten.

Opdracht 7

Maak in Insight Maker een nieuw model voor de diffusie van kleurstof met 6 compartimenten. Gebruik hierbij je tekening uit de vorige opdracht als basis.

Als je de chip opdeelt in meer compartimenten, wordt de waarde van de diffusiecoëfficiënt ook anders. Dit komt doordat een aantal van de variabelen een andere waarde krijgt.

Opdracht 8

- Leg uit waarom je in dit model maar één waarde voor D nodig hebt
- Leg voor alle variabelen die je nodig hebt voor het berekenen van de diffusiecoëfficiënt (η , T , r , V , A en x) uit of ze in een model met 6 compartimenten dezelfde waarde hebben als in een model met 2 compartimenten. Als de waarde anders is dan in het model uit opdracht 3, reken dan de nieuwe waarde uit en vul deze in je model in.

Opdracht 9

Voer een simulatie uit van je nieuwe model, en maak een grafiek waarin je de concentratie kleurstof in elk van de 6 compartimenten uitzet tegen de tijd. Kies zelf een geschikte duur en tijdsstap voor je simulatie. Wat kan je zeggen over:

- De snelheid van de diffusie in de verschillende compartimenten?
- De evenwichtsconcentratie?
- De tijd die het duurt tot de evenwichtsconcentratie bereikt wordt?

Uiteindelijk heeft een model pas toegevoegde waarde als het goed beschrijft wat er in werkelijkheid gebeurt. Om dit te controleren, ga een aantal experimenten uitvoeren (opdracht 10 t/m 12) en de resultaten hiervan vervolgens vergelijken met je model (opdracht 13 t/m 15).

Opdracht 10

In een microchip vindt diffusie plaats terwijl de vloeistofstromen zich van het begin naar het einde van de chip bewegen. In het model dat je in de vorige opdrachten gemaakt hebt, heb je daar geen rekening mee gehouden: je hebt gedaan alsof de compartimenten stilstaan.

- Leg uit of je denkt dat dit invloed heeft op de resultaten van je simulatie.
- Hoe kan je in een microchip de tijd waarin diffusie kan optreden, veranderen?

NB: in het model doe je dit door de simulatietijd te veranderen

Opdracht 11

Voer nu een diffusie-experiment uit op een simpele chip met een recht kanaal. Stel de stroomsnelheid van beide pompen in op $0.7\mu\text{l}/\text{min}$ en schrijf op hoe breed het kanaal op je chip is. Maak foto's van het begin, midden en eind van de chip om te kunnen beoordelen hoeveel diffusie er al is opgetreden.

Let op: vanwege de lage snelheid duurt het een tijdje tot de vloeistof door de hele chip bewogen is. Wacht dus zeker 8 minuten tot je de foto's maakt!

Opdracht 12

Voer nu een diffusie-experiment uit op een complexe chip waarop een vernauwing in het kanaal zit. Stel de stroomsnelheid van beide pompen in op $0.7\mu\text{l}/\text{min}$ en schrijf op hoe breed het kanaal op je chip is. Maak foto's van het begin, midden en eind van de chip om te kunnen beoordelen hoeveel diffusie er al is opgetreden.

Let op: vanwege de lage snelheid duurt het een tijdje tot de vloeistof door de hele chip bewogen is. Wacht dus zeker 8 minuten tot je de foto's maakt!

Opdracht 13

Vergelijk de resultaten van je grafieken in opdracht 4 en 8 met de resultaten uit je eerste experiment. Op welke punten komen ze overeen? Welke verschillen zie je? Noem ten minste 3 factoren die deze verschillen kunnen verklaren.

Let op: gebruik hiervoor niet alleen de resultaten van je eigen experiment, maar ook dat van de andere groepen! Zo kan je verschillende kanaalbreedtes en stroomsnelheden met elkaar vergelijken.

Opdracht 14

Vergelijk de resultaten van je grafieken in opdracht 4 en 8 met de resultaten uit je tweede experiment. Op welke punten komen ze overeen? Welke verschillen zie je? Noem ten minste 3 factoren die deze verschillen kunnen verklaren.

Let op: gebruik hiervoor niet alleen de resultaten van je eigen experiment, maar ook dat van de andere groepen! Zo kan je verschillende kanaalbreedtes en stroomsnelheden met elkaar vergelijken.

Opdracht 15

Je hebt je twee modellen voor diffusie vergeleken met de resultaten van je experiment. Vind je dat het model goed in staat is om te beschrijven wat er in de praktijk gebeurt? Welke aanpassingen zou je kunnen doen om te zorgen dat het resultaat (nog) beter is?

Bijlage B

Handleiding Werken met Insight Maker

Modelleren in Insight Maker

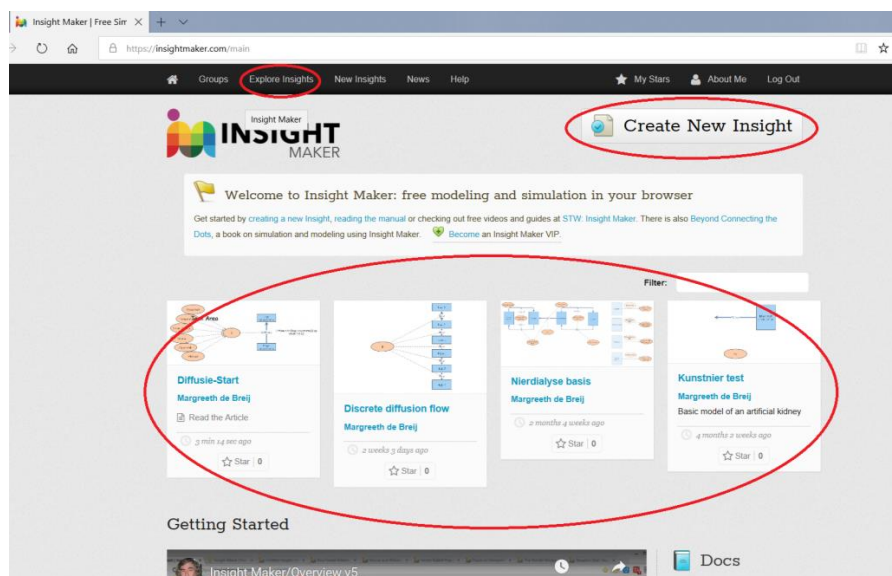
Insight Maker is een online programma voor het maken van grafische of agent-based modellen. Het programma is te vinden op www.insightmaker.com en is met een persoonlijk account vanaf elke computer te gebruiken. De modellen die je in Insight Maker maakt, zijn voor alle andere gebruikers beschikbaar. Als je dat wilt, kan je ze

gebruikers van Insight Maker maken, zijn publiek beschikbaar. Indien gewenst kunnen ze door middel van de storytel-modus stapsgewijs worden opgebouwd en toegelicht.

Deze handleiding is alleen bedoeld voor het vinden, creëren en simuleren van grafische modellen. Het publiceren van een model en het werken met agent-based modellen is achterwege gelaten.

1. Toegang tot Insight Maker en modellen

Voordat je met Insight Maker aan de slag kunt, moet je een account aanmaken op www.insightmaker.com (rechts bovenin → 'create free account'). Zodra je dit gedaan hebt, kom je op een pagina zoals in figuur 1 en kan je aan de slag met het programma. Hiervoor zijn drie relevante opties:



Figuur 1. Het startscherm van Insight Maker

1. Een nieuw model maken

Door op de knop 'Create New Insight' te drukken, kom je op de pagina waar de modellen gemaakt kunnen worden. Zodra je op de gele knop 'Click me to Clear this Demo Model' drukt, wordt het scherm leeg gemaakt en kan je zelf aan de slag in het veld dat je ziet in figuur 2. Je model wordt pas bewaard

zodra je voor het eerst op 'save' hebt gedrukt en een naam hebt opgegeven; vanaf dat punt worden wijzigingen automatisch opgeslagen.

2. Verder werken aan je eigen modellen

Zodra je één of meer modellen hebt gemaakt en opgeslagen, verschijnen deze in je startscherm van Insight Maker. Door op het model te klikken, kan je er aan verder werken.

3. Zoeken naar en bekijken van modellen van anderen

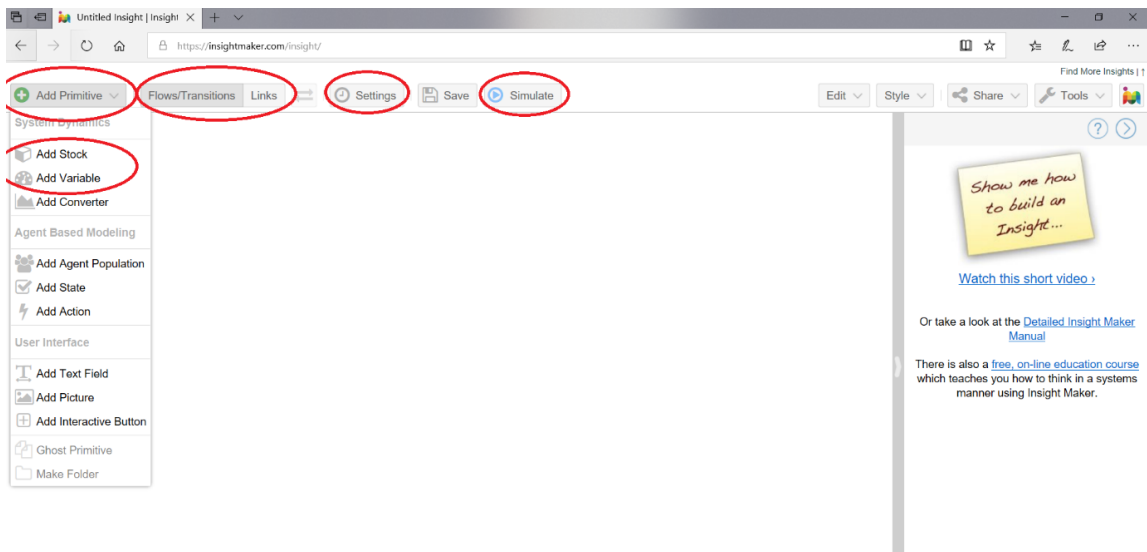
Door links bovenin op de knop 'Explore Insights' te drukken, kom je op de pagina waar je Insights van anderen kunt zoeken en bekijken. Door één of meer trefwoorden op te geven en vervolgens op 'Search' te drukken, krijg je een lijst met modellen die bij deze trefwoorden aansluiten. Als je op een model uit de lijst klikt, kan je het bekijken en simulaties uitvoeren op dezelfde manier als in je eigen modellen

2. Primitives plaatsen en verbinden

Een grafisch model in Insight Maker bestaat uit een aantal variabelen waartussen verbindingen gelegd worden. Deze verbindingen beschrijven welke variabelen elkaar beïnvloeden en hoe de waarde van verschillende variabelen varieert door de tijd. Er zijn verschillende typen van deze primitives:

TYPE PRIMITIVE	BESCHRIJVING	DIRECTE VERBINDINGEN MOGELIJK MET...
Stock	'Opslagvat' voor een bepaalde grootte. Via een flow de stock in neemt de grootte toe, en via een flow de stock uit neemt de grootte af. De waarde x van een stock hangt af van de tijd en wordt elke tijdsstap opnieuw berekend: $x(t) = x(t - \Delta t) + flow_{in} \cdot \Delta t - flow_{uit} \cdot \Delta t$	Flow, Link
Variable	Constante waarde of formule. De waarde van een variable wordt elke tijdsstap opnieuw berekend volgens de formule in het invoerveld. De variable is niet afhankelijk van de tijd, maar kan variëren als hij gelinkt is aan een stock.	Link
Flow	Een flow is een 'stroom' de stock in of uit. Door flows neemt de waarde van de stock toe (inflow) of af (uitflow). Een flow kan van de ene naar de andere stock gaan, maar kan ook verbonden zijn aan één stock. In dat geval heeft de flow een open eind.	Stock, Link
Link	Een link geeft aan dat er een relatie bestaat tussen twee van de andere primitives. Als je de waarde van primitive A wil gebruiken in de formule voor vergelijking B, moet er een link van A naar B gaan.	Stock, Variable, Flow

De Stocks en Variables kunnen in het model geplaatst worden door links bovenin te klikken op 'add primitive' en vervolgens de juiste primitive te selecteren. Zij kunnen vervolgens vrij door het veld versleept worden. Flows en Links kunnen geplaatst worden door eerst links bovenin het gewenste type verbinding te selecteren, en vervolgens de twee gewenste stocks met elkaar te verbinden.



Figuur 2. Het modelleerveld van Insight Maker

3. Naam wijzigen en (start)waarden en formules invoeren

Een model in Insight Maker werkt pas als aan alle stocks, variables, converters en flows een waarde hebben. Zolang je deze waarde niet gespecificeerd hebt, kiest Insight Maker zelf de waarde 0. Door te klikken op de primitive waarvan je de (start)waarde of formule in wilt geven, verschijnt rechts in beeld een menu met dingen die je aan kunt passen. Hier kan je ook de naam van je primitive wijzigen. Voer hiervoor onder het kopje 'general' de gewenste naam achter het veld '(name)' in te vullen.

Onder het kopje 'Configuration' vind je een veld waar je de startwaarde (stock), flow rate (flow) of waarde (variable) in kunt vullen. Door op dit veld te klikken kom je in een scherm waar je de waarde of formule in kan voeren. Hiervoor kan je ook gebruik maken van stocks, variables en flows die je direct gelinkt hebt aan de primitive waar je een waarde voor wilt invullen.

4. Simulatie instellen en uitvoeren

Voordat je een simulatie van je model kunt uitvoeren, moet je eerst de juiste tijdsinstellingen voor de simulatie invoeren. Dit doe je in het menu dat je bereikt door bovenin op 'settings' te klikken. In dit menu kan je ingeven hoe lang je het gedrag van je systeem wilt simuleren, in welke tijdseenheid je de simulatie wilt uitvoeren, en welke tijdsstap je wilt gebruiken.

Zodra je model af is en alles goed is ingesteld, kan je het model runnen. Dit doe je door bovenin op de knop 'Simulate' te drukken. Er verschijnt nu een grafiek met de resultaten van je simulatie.

5. Gewenste data in een diagram zetten

Na het uitvoeren van de simulatie kan je de grafiek nog aanpassen zodat de resultaten getoond worden die jij wilt laten zien. Hiervoor druk je in het scherm met je grafiek op 'Configure'. In het scherm dat nu verschijnt, kan je onder 'Data' aanklikken welke gegevens je wel en niet in je grafiek wilt hebben. Verder naar onder kan je onder 'X-axis' en 'Y-axis' de aslabels aanpassen.

Bijlage C

Aanvullende toetsvraag

AFRONDING MODELLEEROPDRACHT 'MENGEN OP EEN MICROCHIP'

Naam: _____

Welke opgaven van de opdracht 'Mengen op een Microchip' heb je gemaakt?

Start-opdracht

- ☐ Opgave 1
- ☐ Opgave 2
- ☐ Opgave 3
- ☐ Opgave 4
- ☐ Opgave 5

Gevorderden-opdracht

- ☐ Opgave 6
- ☐ Opgave 7
- ☐ Opgave 8
- ☐ Opgave 9

Expert-opdracht

- ☐ Opgave 10
- ☐ Opgave 11
- ☐ Opgave 12
- ☐ Opgave 13
- ☐ Opgave 14
- ☐ Opgave 15

Het model waarmee je in de start-opdracht gewerkt hebt, is een twee-compartimenten model van diffusie. Hierin neemt de concentratie kleurstof in de ene helft van het kanaal toe en in de andere helft af. Je kunt ook een model met meer compartimenten gebruiken, om te laten zien dat de concentratie niet op elk punt in het kanaal even snel verandert. Een schematische tekening van de startsituatie in zo'n model met vier compartimenten staat hiernaast.



1. Op de volgende pagina zie je een opzet voor een diffusiemodel met vier compartimenten. Voer de volgende opdrachten uit.
 - a. Teken d.m.v. een pijltje de **flows** die in dit model horen. Let hierbij op de richting!
 - b. Geef voor elke **flow** de formule die erbij hoort
 - c. Teken d.m.v. een stippellijn de **links** die in dit model horen

2. Legt zo goed mogelijk uit hoe je een model maakt

Compartiment 4 -
startconcentratie 10
mmol/L

Compartiment 3 -
startconcentratie 10
mmol/L

Compartiment 2 -
startconcentratie 10
mmol/L

Compartiment 1 -
startconcentratie 10
mmol/L

Diffusieconstante

Bijlage D

Vragenlijst na de start-opdracht

VRAGENLIJST NA START-OPDRACHT

Hieronder vind je een aantal vragen over hoe goed jij denkt dat je Insight Maker snapt, en over de gebruiksvriendelijkheid van het programma.

Vraag					
	Helemaal niet	Een beetje	Redelijk goed	Heel erg goed	
Het is mij gelukt om een model in Insight Maker te maken					
De knoppen en functies die ik nodig had, kon ik snel vinden					
Ik vind dat de knoppen en functies die ik nodig had op een logische plek staan					
De beschrijving 'werken met Insight Maker' hielp mij om te vinden wat ik nodig had					
Ik denk dat ik ook zonder de beschrijving 'Werken met Insight Maker' goed met het programma had kunnen werken					
Het is voor mij een probleem dat Insight Maker een Engelstalig programma is					
Het 'verhaal' waarin het model langzaam werd opgebouwd, hielp me om het model te snappen					
Het 'verhaal' waarin het model langzaam werkd opgebouwd, hielp me om Insight Maker te snappen					
Als ik een blok wilde (ver)plaatsen of een verbinding tussen twee blokken wilde leggen, reageerde Insight Maker hier snel op					
Ik denk dat ik een klasgenoot zou kunnen uitleggen hoe hij/zij een simpel model in Insight Maker kan maken					
Hoeveel minuten ben je met de start-opdracht bezig geweest?	<20	20-40	40-60	60-80	>80

Heb je nog opmerkingen over Insight Maker die niet in de vragen aan bod zijn geweest? Schrijf ze hieronder op

Heb je nog opmerkingen over het document 'Werken met Insight Maker' die niet in de vragen aan bod zijn geweest? Schrijf ze hieronder op.

Bijlage E

Criteria deelvraag 1

OPDRACHT	EIS	CRITERIA	AANTONEN MET
START-3	Bouw model na	<i>Zie voorbeeldmodel</i> * Minimaal 2 stocks (hoog/laag) * Verschillende initiële concentraties (vb. 10 en 0) * Flow met juiste richting (hoog --> laag) * Juiste formule voor flow (gebruikmakend van variabele D en variabele startconcentraties) * Diffusieconstante gelinkt aan variabelen (minimaal alle variabele factoren, evt. kB en pi) * Diffusieconstante gelinkt aan flow	* Functionerend model * (Afbeelding van) model met correcte structuur * correcte simulatie-resultaten
START-4	Voer simulatie uit	* Druk op goede knop	Grafiek van een (juiste of onjuiste) simulatie
START-4	Pas simulatie-instellingen aan	* Grafiek met juiste vorm: tijdsstap klein genoeg om vloeiende grafiek te krijgen * Grafiek met juiste x-as: 0-100 seconden ipv 0-20 jaar	Grafiek van een juiste simulatie
START-5	Pas start-concentratie aan	* Initiële concentratie van minimaal één stock aangepast	* Grafiek van een simulatie met andere startconcentratie dan eerder * Beschrijving van dergelijke grafiek

Bijlage F

Criteria deelvraag 2

OPDRACHT	EIS	CRITERIA	AANTONEN MET	VAARDIGHEID
START - 2	Bepaal start-concentratie	* Juiste startconcentraties	* Noemen startconcentraties	Interpreteren
START - 3	Bepaal juiste waarden voor V, A, x	* Juiste waarde V, A, x	* Berekening + waarde V, A, x * Uitleg + waarde V, A, x	mathematiseren
START - 4	Koppel plaatjes aan grafiek	* Correcte koppeling plaatjes aan grafiek	* Afbeelding grafiek met plaatjes op juiste punt * Beschrijving van tijdstip en plaatjes met uitleg * Uitleg welk deel grafiek waar in proces van diffusie	Interpreteren
START - 5	Beschrijf wat er gebeurt met factoren	Juiste antwoorden: * Snelheid neemt toe * Evenwichtsconcentratie blijft gelijk, maar gemiddelde * Tijd blijft gelijk	Beschrijving grafiek	Interpreteren
START - 5	Leg uit wat er gebeurt met factoren	Juiste antwoorden: * dC neemt toe * Diffusie stopt als dC == 0, dus als concentraties gelijk * --	Uitleg	Interpreteren
TOETS - 1A	Teken flows	3 flows tussen de 4 compartimenten (1-2, 2-3, 3-4)	Tekening	Conceptualiseren/syntax
TOETS - 1A	Geef flows juiste richting	Pijl van hoog naar laag (1-->4, andersom als toegelicht dat fout in opdracht)	Tekening	Conceptualiseren/syntax
TOETS - 1B	Geef formule bij flows	* Formule D(C1-C2) * Juiste 'richting' C1-C2 * Gespecificeerd dat C1-C2 verschillend per flow	Formule in/bij tekening, gekoppeld aan een flow	Mathematiseren

TOETS - 1C	Teken links	* Vanuit D * Naar Flow	Tekening	Syntax
TOETS - 2	Leg uit hoe je een model maakt	* Situatie analyseren --> wat gebeurt er, waar heb je 'stocks', 'flows', welke variabelen belangrijk * Bedenken welke stocks nodig * Bedenken welke verbindingen tussen stocks * Juiste variabelen * Juiste links * Juiste formules	Beschrijving	Alle