



Disclaimer

Deze brochure is gemaakt met uiterste zorg, we hebben ernaar gestreefd om de informatie compleet en correct in te vullen. Echter, imperfecties door menselijke fouten zijn mogelijk. Daarom kunnen wij niet garanderen dat de data in zijn volledigheid correct in deze brochure staat. Bij twijfel, raadpleeg de studiegids of de Brightspace pagina van het Bachelor Eindproject.

Contactgegevens

W.I.S.V. 'Christiaan Huygens'

Openingstijden

Maandag van 13:00 tot 17:00

Dinsdag tot vrijdag van 9:00 tot 17:00

E-mailadres

Algemeen - bestuur@ch.tudelft.nl

Onderwijs - onderwijs@ch.tudelft.nl

Adres

Mekelweg 4
2628CD Delft

Website

<https://ch.tudelft.nl>

Telefoonnummer

015-278 2532





Disclaimer	2
Contactgegevens W.I.S.V. 'Christiaan Huygens'	2
Inhoudsopgave	3
Voorwoord	4
Department Symposium	5
Algemene informatie Bachelor Eindproject	6
Studenten ervaringen	12
Algemene informatie Bachelor Eindproject 'Dubbele Bachelor'	30
Studenten ervaringen	36



Voorwoord

Deze brochure is bedoeld om de informatievoorziening omtrent het Bachelor Eindproject aan te vullen. Naast de algemene informatie voor wiskundestudenten en dubbele bachelorstudenten die je in deze brochure kunt vinden, vertellen een aantal studenten over hun BEP bij de verschillende afdelingen. Dit biedt wellicht inzicht in wat de verschillende afdelingen hebben te bieden, en wat er mogelijk is.

Mocht je nog vragen hebben, schroom niet om even langs de verenigings ruimte van Christiaan Huygens te komen, of om contact op te nemen met de BEP-coördinatoren (Zie pagina 11 en 34).

Annemieke Brouwer
Commissaris Onderwijs Wiskunde
cow@ch.tudelft.nl





Department Symposium

In week 3.1 zal het Department Symposium (voorheen: Verdiepingssymposium) plaatsvinden, georganiseerd door de studievereniging in samenwerking met de faculteit. De verschillende afdelingen van wiskunde zullen korte lezingen houden over het onderzoek dat zij doen. Dit kan helpen met de keuze tussen de verschillende Bachelorprojecten en afdelingen. Ook zal de algemene BEP-voorlichting van de faculteit plaatsvinden tijdens dit symposium.

Verder zal er gelegenheid zijn te lunchen met masterstudenten van de verschillende specialisaties van Applied Mathematics, waarbij je al je vragen kunt stellen. Ten slotte zal er tijdens de mastervoorlichting aandacht worden besteed aan de verschillende specialisaties binnen de master.

Programma

Dinsdag 12 februari

08:45-12:45 BEP-voorlichting en presentaties afdelingen
12:45-13:30 Oriëntatielunch met masterstudenten

Donderdag 14 februari

12:45-15:45 Mastervoorlichting Applied Mathematics
12:45-13:30 BEP-voorlichting voor dubbele bachelorstudenten

Toegang tot het Verdiepingssymposium is gratis, en tijdens de oriëntatielunch en de mastervoorlichting zal de lunch inbegrepen zijn.

Opgeven voor het Department Symposium is noodzakelijk als je deze bij wilt wonen, en kan via <https://wisv.ch/sympo>



Algemene informatie Bachelor Eindproject

Vakcode: TW3050

ECTS: 18

Q3 | Start: het vinden van een project

Vanaf januari zullen omschrijvingen van de verschillende aangeboden Bachelor Eindprojecten op Brightspace staan. Het is aan te raden om deze door te lezen, om aan de hand hiervan je voorkeur op te stellen voor welk project je zou willen doen. Aan het begin van het derde kwartaal wordt een informatiebijeenkomst georganiseerd over de verschillende keuzeonderwerpen bij het project, het Department Symposium (voorheen: Verdiepingssymposium). Voor meer informatie, zie “Department Symposium” op pagina 5.

Na deze voorlichtingsbijeenkomst kunnen de deelnemers zich via Brightspace op projecten inschrijven. Op basis van deze inschrijvingen worden de projecten verdeeld. De indeling zal een paar weken na het Department Symposium bekend worden gemaakt.

Als de keuze is gemaakt, is het aan te raden om een afspraak te maken met je begeleider om alvast de inhoud en planning van het project te bespreken. Dan kan je ook met je begeleider het projectformulier invullen. Dit formulier is ook op Brightspace te vinden en moet worden opgestuurd naar de examencommissie van de opleiding.

Bachelorcolloquium

Het is verplicht om voor je BEP het bachelorcolloquium te volgen, het onderdeel is 3 ECTS waard en vindt plaats in het derde kwartaal. Bij het bachelorcolloquium worden



vaardigheden verworven in het mondeling presenteren van een wiskundig onderwerp. Iedere week zijn er verplichte werkcolleges waarbij je in een kleine groep leert over presentatietechnieken, opbouw van een presentatie en het gebruik van audiovisuele hulpmiddelen. Dit leer je door in kleine groepen een aantal presentaties te houden, en door de presentaties van groepsgenoten te beoordelen. Tenslotte geef je een eindpresentatie over het onderwerp van je BEP, waardoor je je alvast kan inlezen over je BEP en je alle nieuwe presentatietechnieken kan toepassen.

Tot uiterlijk twee weken vóór de start van het derde kwartaal kunnen studenten zich voor deelname aan het bachelorcolloquium aanmelden. Je doet dit door het aanmeldingsformulier in te vullen. Dit formulier is te vinden op de Brightspace site van het Bachelorproject en dient te worden opgestuurd naar een verantwoordelijk docent van het bachelorcolloquium.

Bachelor Eindproject

De bedoeling van het project is de student vertrouwd te maken met het formuleren van problemen in een wiskundig model en het uitwerken daarvan. Afhankelijk van het gekozen onderwerp kan de nadruk liggen op de mogelijkheid die een wiskundig model biedt om een verschijnsel te beschrijven (en te voorspellen), dan wel op het hanteren van wiskundige methodieken en het verkennen van de bruikbaarheid ervan.

Bij het BEP is het vooral de bedoeling dat je onderzoeksvaardigheden leert. Zo zul je ervaring opdoen in het zelf aanpakken van het gestelde probleem, mede aan de hand van literatuur. Er ligt een focus op het vinden en lezen van wetenschappelijke artikelen, het schrijven van het verslag en uiteindelijk het presenteren van je bevindingen.

Mocht je een idee willen krijgen van andere BEPs, neem dan vooral een kijkje in de



education repository via <https://repository.tudelft.nl>. Hier kun je de verslagen van andere projecten vinden.

Toelatingseisen

De toelatingseis voor het eindproject is dat de 60 EC uit het eerste jaar zijn behaald, en tenminste 40 EC uit het tweede jaar zijn behaald. Indien naar het oordeel van een contactpersoon een essentieel vak of vakken op het gebied van het gekozen onderwerp ontbreken, kan die contactpersoon verlangen dat dit vak eerst alsnog wordt gehaald. Bij de start van dit project moet een student daarom desgevraagd een recente uitdraai van zijn/haar studieresultaten kunnen overleggen.

Literatuur en studiemateriaal

De literatuur is afhankelijk van het onderwerp van het project en wordt door de begeleider van het project uitgereikt. De literatuur voor het bachelorcolloquium wordt via Brightspace beschikbaar gemaakt. Tijdens het bachelorcolloquium word je ook geacht een cursus informatievaardigheden te behalen, waarbij je leert hoe en waar je wetenschappelijke artikelen kan vinden, en hoe je deze bronnen correct vermeld in je verslag. Daarnaast is een presentatie over het gebruik van de elektronische bronnen van de bibliotheek beschikbaar op Brightspace.

Beoordeling

Het bachelorproject kan pas afgesloten worden als het bachelorcolloquium met 'voldoende' is afgerond en minimaal een 6 is behaald voor het BEP. De beoordeling van het BEP vindt plaats aan de hand van de beoordelingsmatrix die op Brightspace te vinden is. Deze toetst vier onderdelen: onderzoek, proces, rapport en presentatie.

- **Onderzoek:** In dit onderdeel wordt getoetst hoeveel inzicht en achtergrondkennis

je over je probleem hebt, en je aanpak in het oplossen van het probleem (weging in eindcijfer 40%)

- **Proces:** Dit onderdeel gaat over je houding tijdens het project. Als je veel eigen inbreng hebt, kritisch kan zijn over je eigen werk en goed kan plannen zonder veel bijsturing van je begeleider, dan zal je hier hoog scoren (weging 20%)
- **Rapport:** Net als bij Modelleren word je geacht een rapport te schrijven over je BEP. Dit rapport wordt beoordeeld op wiskundige inhoud, leesbaarheid en zelfstandigheid bij het schrijven (weging 20%)
- **Presentatie:** De presentatie die je aan het einde van het project geeft, weegt mee voor je cijfer. Deze wordt getoetst op inhoud, presentatiestijl en techniek. Ook wordt meegenomen of je eigen bijdrage aan het onderwerp duidelijk is en hoe goed je de vragen hebt kunnen beantwoorden (weging 20%)

Het project wordt, aan de hand van het verslag en de presentatie, beoordeeld door de beoordelingscommissie. Deze stel je samen in overleg met je begeleider.

De beoordelingscommissie bestaat minimaal uit de volgende leden:

- De begeleider(s) (ten minste één lid van de vaste staf)
- Eén van de contactpersonen van de aandachtsgebieden (zie pagina 10)
- Medewerker werkzaam bij een andere sectie (lid van de vaste staf)
- Eén van de docenten van het bachelorcolloquium (zie pagina 11)

Het streven is de commissie uit drie personen te laten bestaan: De medewerker van het eerste en tweede item kan dezelfde persoon zijn, de medewerker van het tweede en derde item kan dezelfde persoon zijn en ook de medewerker van het derde en vierde item kan dezelfde persoon zijn.

Het Bachelorproject moet binnen één studiejaar worden afgerond. Dat betekent dat

bij aanmelding in het najaar het project volledig moet zijn afgerond (inclusief het bachelorcolloquium) vóór 1 september van het volgende jaar.

Contactpersonen

Er zijn zes aandachtsgebieden waaronder de verschillende BEPs vallen. Als je vragen hebt over een BEP uit een bepaald aandachtsgebied, of zelf een BEP wilt opzetten in een van deze gebieden, kun je contact opnemen met de volgende mensen:

Vakgebied	Contactpersonen	E-mailadres
Analyse	Wolter Groenevelt	W.G.M.Groenevelt@tudelft.nl
	K.P. Hart	K.P.Hart@tudelft.nl
	Mark Veraar	M.C.Veraar@tudelft.nl
Toegepaste Kansrekening	Dorota Kurowicka	D.Kurowicka@tudelft.nl
	Wioletta Ruszel	W.M.Ruszel@tudelft.nl
Mathematische Fysica	Johan Dubbeldam	J.L.A.Dubbeldam@tudelft.nl
	Arnold Heemink	A.W.Heemink@tudelft.nl
	Ramses van der Toorn	R.vanderToorn@tudelft.nl
Numerieke Wiskunde	Kees Vuik	C.Vuik@tudelft.nl ¹
	Fred Vermolen	F.J.Vermolen@tudelft.nl
	Neil Budko	N.V.Budko@tudelft.nl
Optimalisatie	Karen Aardal	K.I.Aardal@tudelft.nl
	Dion Gijswijt	D.C.Gijswijt@tudelft.nl
	Leo van Iersel	L.J.J.vanIersel@tudelft.nl
Statistiek	Frank van der Meulen	F.H.vanderMeulen@tudelft.nl
	Juan-Juan Cai	J.J.Cai@tudelft.nl

¹ Not a typo



Er zijn vijf docenten voor het bachelorcolloquium; onderstaand volgen hun contactgegevens:

Contactpersoon	E-mailadres
Bart van den Dries	B.vandenDries@tudelft.nl
Emiel van Elderen	E.M.vanElderen@tudelft.nl
Joost de Groot	J.A.M.deGroot@tudelft.nl
Marleen Keijzer	M.Keijzer@tudelft.nl
Jeroen Spandaw	J.G.Spandaw@tudelft.nl

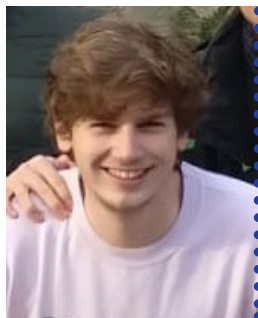
De coördinator voor dit vak is Arnold Heemink, A.W.Heemink@tudelft.nl.

Voor algemene vragen en problemen kun je bij hem terecht.

Richtlijnen presentatie

Voor je presentatie zijn een aantal richtlijnen opgesteld

- De presentatie moet voldoen aan de TW-richtlijnen. Dat betekent dat
 - de presentatie 30 minuten duurt
 - hoogstens de laatste 10 minuten op expert-niveau zijn
 - ongeveer de eerste 10 minuten op lekeniveau zijn (familie, vrienden) en de tweede 10 minuten op peer-niveau. Hierbij moet je bij een lekeniveau denken aan de wetenschapsbijlage van bijvoorbeeld de Volkskrant of het NRC. Een leek is dus een ontwikkeld persoon, maar in het algemeen geen "beta". Een peer is een derdejaars TW en/of TN-student met een andere specialisatie.
- De ondervraging van de kandidaat doen we besloten als het project met name is uitgevoerd bij TN. Als het met name is uitgevoerd bij TW, dan gebeurt dit openbaar.
- Het gebruikte BEP-beoordelingsformulier is het TN-formulier.



Naam: Rens Breunissen
Afdeling: Analyse
Titel: Random Matrices

Mijn BEP ging over Random Matrices. Het doel was om van een (semi-)willekeurige matrix de eigenwaardeverdeling te bepalen. Ik heb mijn BEP bij de afdeling Analyse gevolgd, onder begeleiding van Wolter Groenevelt.

Proces

Voor mijn onderzoek had ik dus niet alleen kennis van analyse nodig, maar ook van lineaire algebra, en ook wat kansberekening, omdat ik met stochastische variabelen te maken kreeg. Het was leuk om deze verschillende vakgebieden samen te kunnen gebruiken. Het grootste deel van het werk was literatuuronderzoek. Mijn begeleider had me wat boeken aangeraden, deze boeken zijn van hoog niveau, dus niet altijd even makkelijk te begrijpen, maar gelukkig kon ik altijd bij je begeleider terecht met vragen. Ik had wekelijkse meetings met mijn begeleider waar we mijn voortgang besproken en waar ik vragen kon stellen. Dit was voor mij een fijne manier om mijn voortgang te meten en te zien of ik op het goede pad was.

Resultaten

Omdat ik vooral een literatuurstudie heb gedaan, betekent dit dat ik geen nieuwe resultaten heb neergezet met mijn BEP, maar alleen bestaande resultaten heb gereproduceerd. In het begin voelde dat wel een beetje

Het was zeker een interessant project om me een kwartaal mee bezig te houden. Ik vond het leuk dat ik kennis uit meerdere vakgebieden moest toepassen en combineren. Ik vond het onderwerp ook erg interessant, wellicht iets waar ik me verder in ga verdiepen met mijn master.



Naam: Marianne Schaaphok
Afdeling: Mathematische Physica
**Titel: A data-driven model
for magnetostatics**

Afgelopen jaar heb ik mijn BEP gedaan bij de afdeling Mathematische Fysica, waar ik meewerkte aan het onderzoek naar een Closed Loop Degaussing System voor marineschepen. In het kort zal ik vertellen wat mijn onderzoeksvraag was, hoe het proces verliep en mijn persoonlijke ervaringen.

Introductie en onderzoeksvraag

Mijn onderzoek was onderdeel van een groot onderzoek bij TNO ¹ in opdracht van DMO ². Het doel van het onderzoek is om marineschepen 'onzichtbaar' te maken voor magnetische metingen in zeemijnen. Schepen hebben een magnetische signatuur doordat het staal van het schip gemagnetiseerd wordt door het aardmagneetveld. Deze magnetisatie bestaat uit een permanent deel door de magnetische geschiedenis en een geïnduceerd deel door het aanwezige magneetveld. In mijn onderzoek was het doel om de totale magnetisatie van een object (in mijn geval een stalen doos) in een wisselend achtergrondsveld te modelleren om daarmee zo nauwkeurig mogelijk de magnetische signatuur op een afstand van het object te kunnen voorspellen. Hierbij werden sensoren in het object gebruikt om de permanent magnetisatie te kunnen benaderen.

¹The Netherlands Organization for Applied Scientific Research

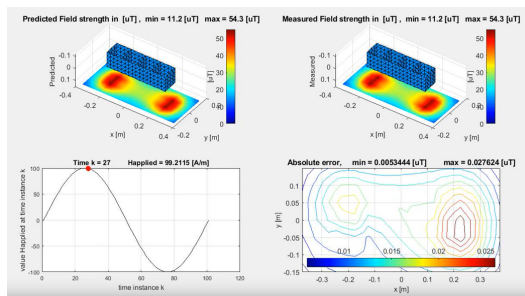
²Defense Material Organization

Proces

Het begin van het onderzoek bestond voornamelijk uit literatuuronderzoek. Binnen een korte tijd moest ik veel nog niet behandelde kennis onder de knie krijgen, waaronder de Finite Element Method, magnetostatica en het modelleren daarvan, inverse problemen en regularisatie. Zelf vond ik het erg uitdagend en leuk om veel nieuwe kennis op te doen die je direct kunt gebruiken in het onderzoek. Door de samenwerking kon ik ook een paar keer naar TNO om daar met de testopstelling te werken, waarmee metingen van de stalen doos konden worden gedaan. Binnen het onderzoek waren er veel uitbreidingen en mogelijkheden, die ook de moeilijkheid gaven om zelf te bepalen wat mogelijk was binnen de gegeven tijd. Uiteindelijk is het gelukt om mooie voorspellingen van de magnetisatie en de magneetvelden te krijgen. Een voorbeeld van zo'n voorspelling kan gezien worden in figuur 1.

Ervaring

Persoonlijk vond ik het erg gaaf en leerzaam om aan dit project mee te werken. In je BEP kom je vaak minder voor de hand liggende problemen tegen, waar het uitdagend is om een goede oplossing te vinden. Daarnaast gaf het mij veel voldoening om mee te werken aan een groot onderzoek waarin wat je hebt bereikt ook direct wordt gebruikt in vervolgonderzoek. Als laatste spraken de fysische achtergrond en praktische toepassing van het onderzoek mij erg aan.



Figuur 1: Predictie van het magnetisch veld onder de doos.



Naam: Myrte van Belkom
Afdeling: Numerieke Wiskunde
Titel: Analysis of Microscopic Images

Een aantal weken voor het begin van het tweede semester krijg je een lijst van onderwerpen die je kunt kiezen als BEP. Dan is er zelfs nog de optie om zelf een onderwerp en begeleider te kiezen. Ik werd overdonderd door de hoeveelheid keuze die je krijgt. Gelukkig wist ik al dat ik de afdelingen Optimalisatie en Numerieke Wiskunde het leukst vond.

Ik begon maar door de enorme lijst projecten heen te lezen, en opeens zag ik daar *Analysis of Microscopic Images*. Nu was ik zelf bezig met de minor Biomedical Engineering en had ik dus net een hoop geleerd over microscopie en beeldverwerking, beide erg nuttig bij dit onderwerp. Ook zou er worden geprogrammeerd in Python, waar ik al vrij veel ervaring mee had. Mijn keuze was dus toch makkelijk gemaakt, en na de selectie kreeg ik te horen dat ik er ook echt mee aan de slag mocht.

Onderzoek

Het project zelf hield in dat ik met een specifieke numerieke methode celwanden in microscopische afbeeldingen moest gaan vinden. Om te beginnen heb ik een paper over de numerieke methode morfologische geometrisch actieve contours gelezen. Dit zijn een soort gesloten krommen die worden voortbewogen door een algoritme op basis van (wiskundige)



Naam: Yanna van der Vlugt
Afdeling: Numerieke Wiskunde
Titel: Large-scale SVD Algorithms for Latent Semantic Indexing, Recommender Systems and Image Processing

Onder begeleiding van Martin van Gijzen, bij de afdeling Numerieke Wiskunde, deed ik tijdens mijn BEP onderzoek naar verschillende toepassingen en berekeningmethodes van de singulierewaardeontbinding (SWO). Tijdens het project kreeg ik de vrijheid om zelf ideeën in te brengen en toepassingen te onderzoeken die ik interessant vond.

Na een vrije minor bij Informatica te hebben gedaan, wou ik graag een BEP doen waarin deze nieuwe interesse van pas kwam. Al snel stond een project over Latent Semantic Indexing, een methode om documenten te zoeken met behulp van de singulierewaardeontbinding, bovenaan mijn lijstje.

Doordat ik voor het Bachelor colloquium al veel artikelen had gelezen over het onderwerp, kon ik aan het begin van het project meteen al beginnen met voorbeelden van de methode programmeren in Matlab. Dit ging sneller dan gedacht, en na twee weken werd al duidelijk dat ik de opdracht zou moeten uitbreiden.

Zo kreeg het project twee facetten: een theoretische en een toegepaste. Enerzijds onderzocht ik verschillende algoritmen waarmee de SWO kan worden berekend. De SWO is een ontbinding van een matrix als een product van drie matrices, waaruit men veel informatie kan halen over de data in



de originele matrix. Wanneer je real-world data gebruikt, krijg je al snel erg grote en ijlle matrices. Hierdoor is het van belang dat een snel SWO algoritme wordt gebruikt, die ook voor ijlle matrices nauwkeurig blijft.

Anderzijds verbreedde ik mijn BEP door naar meer toepassingen te kijken dan alleen documenten zoeken. Zo vond ik dat de SWO ook gebruikt kan worden als recommender system en om foto's te vergelijken en zoeken. Het leukste hieraan vond ik dat ik deze applicaties zelf kon implementeren. Met gebruik van een IMDB database maakte ik een aanbevelingssysteem voor films, en met een database van foto's van gezichten testte ik hoe goed de SWO werkte voor gezichtsherkenning.

Deze twee facetten bracht ik samen door de verschillende SWO-algoritmen te gebruiken voor de verschillende toepassingen. Ik vergeleek daarbij de werking van de algoritmen op basis van tijd en de gemaakte fout. Bij sommige toepassingen onderzocht ik ook andere algoritmen, om te vergelijken of deze beter konden presteren dan de SWO.

Uiteindelijk heb ik erg veel geleerd van mijn BEP; niet alleen over wiskunde, maar ook over verslaglegging, presenteren, artikelen zoeken en lezen, en onderzoek doen. Vooral de vrijheid en ruimte om het project te vormen naar mijn interesses maakte het een leuke en motiverende ervaring!



Naam: Erik ten Hagen
Afdeling: Optimalisatie
Titel: Comparing Sequential and Cooperative Erasure Repairing.

Als je een bericht verstuurt kan een gedeelte onherkenbaar of onleesbaar zijn. Doordat we meer informatie versturen dan alleen het bericht kunnen we beschadigde berichten alsnog lezen.

Tijdens mijn BEP ben ik bezig geweest met het vergelijken van erasure repairing codes. Hiervoor werk je met lineaire codes, ofwel vectoren. Een lineaire code is een code die uit twee onderdelen bestaat. Dat is je bericht met lengte k en $n - k$ beschermbits, hierdoor is de code een deelruimte van F_2^n met dimensie k .

Bij het versturen van codes beschouwen we twee woorden c en v , hierbij is c het verzonden woord en v het ontvangen woord. Als de woorden hetzelfde zijn, ofwel $v_i = c_i$ voor alle posities i dan zijn er geen erasures opgetreden. Als er wel erasures zijn dan geven we dat aan als $v_i = ?$ op positie i . Om de erasures te herstellen moeten we weten waar ze zich bevinden, hiervoor gebruiken we de verzameling $E = \{i | v_i = ?\}$.

Voor het herstellen van een erasure hebben we de nulruimte A van de lineaire code nodig. Voor elke $c \in C$ en $a \in A$ geldt $c \cdot a = 0$. Als er nu een erasure optreedt in c , kunnen we door een juiste a te kiezen de erasure herstellen. Alle posities die gebruikt worden om een erasure te herstellen vormen samen de repair set R .

Vervolgens heb ik dit gebruikt om twee soorten codes te vergelijken op drie eigenschappen. Hierbij is de éne code vooral geschikt om sequentiële erasures te herstellen, de ander is ook geschikt om coöperatief erasure te herstellen. De eigenschappen die ik vergeleken heb zijn de lengte, dimensie, de verhouding tussen de lengte en de dimensie, het aantal erasures en welke invloed dit heeft op de grootte van de repair set.



Naam: Josephine Keim
Afdeling: Optimalisatie
Titel: Annualised Hours

Bij het kiezen voor een BEP vond ik het belangrijk om iets te doen dat toegepast was en wat je in het dagelijks leven ook nog tegen zou kunnen komen. Zo kwam ik snel op de vakgebieden Optimalisatie en Numeriek uit en koos ik uiteindelijk voor het BEP *Annualised Hours*.

Het leuke aan dit BEP was dat het in samenwerking was met het bedrijf ORTEC en dat je van hen de opdracht kreeg om een werkuren voor een gegeven aantal werkweken te optimaliseren. Het ging er hierbij om de vraag naar werk en aanbod van werknemers te optimaliseren en tegelijkertijd te zorgen dat werknemers zo min mogelijk over en onder uren maken. Het project was zo goed als verdeeld in vier delen: een model maken op papier, het model implementeren, een methode verzinnen waardoor het model snel kan runnen en de gevonden methode analyseren. Het was een integer linear probleem, zoals je misschien kan herinneren van het vak optimaliseren. Hierbij had je een vergelijking die je wilt minimaliseren en een voorwaarden waaraan voldaan moet worden. Bij voorwaarden moet je denken aan dat een werknemer niet kan werken als hij op vakantie is of dat hij een minimum en maximum aantal uur mag werken per week of maand.

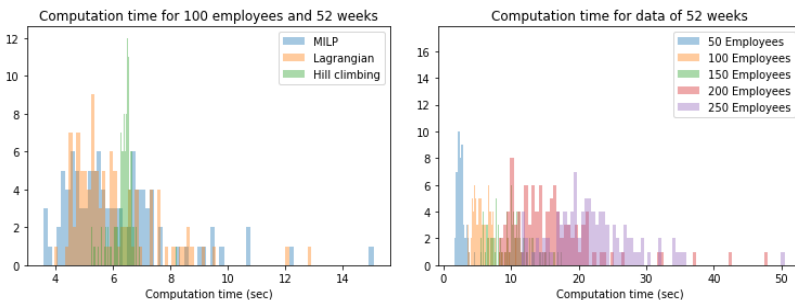
Vervolgens heb ik het hele probleem in python geïmplementeerd en was dit op te lossen met een standaard ILP-solver (ik had Gurobi solver gebruikt). Het kostte nog best wat tijd om alles goed te krijgen en gaande weg kom je er achter dat je sommige voorwaarden anders moet formuleren om de uitkomst te krijgen die je wilt. Hierbij was de wekelijkse meeting



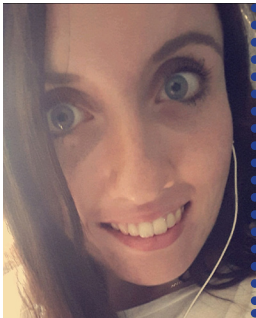
met mijn begeleider heel fijn. Hier kom je vaak samen problemen tegen en kan je ook samen brainstormen op wat voor manier je het een probleem het beste kan benaderen.

Het derde deel van mijn BEP was eigenlijk het belangrijkste onderdeel. Hier was het een bedoeling om een slim algoritme te ontwerpen zodat je controle hebt over hoe lang een algoritme er over doet om een oplossing te vinden en deze zo snel mogelijk te maken. Hiervoor bestaan allemaal methoden, die heuristische methodes heten en voor elke probleem is een andere methode handig om te gebruiken. Ik heb zelf een local search methode en een Lagrange relaxatie gebruikt. Een simpel voorbeeld is hierbij als je een kamer indeling gaat maken voor een groepsvakantie. Hierbij heb je vele opties wie je met wie in welke kamer kan doen. Zonder een heuristische methode ga je alle mogelijk opties af tot je de beste optie gevonden hebt. Maar met een heuristische methode kan je bijvoorbeeld beginnen met goede oplossing en dan mensen schuiven tot je de beste oplossing gevonden hebt, dit heet local search. Of als je een voorwaarde hebt dat twee mensen sowieso bij elkaar willen, zet je deze voorwaarde als een soort boete in te minimaliseren vergelijking, dit maakt het makkelijker om een oplossing te vinden die toegestaan is en geeft zo een snellere optimale oplossing.

Het laatste onderdeel analyseerde ik de verschillende methodes en verschillende grote datasets, zoals ook in het Figuur hieronder.



Figuur 1: Computation time (in seconds)



Naam: Laura Middeldorp
Afdeling: Kansrekening
Titel: Thurstone's Pairwise Comparison Model to explore preferences of humans for different food items

Hoi! Mijn naam is Laura en voor mijn bachelor eindproject heb ik de voorkeuren van mensen voor bepaalde voedingsmiddelen proberen te modelleren aan de hand van Thurstone's Pairwise Comparison Model.

Steeds meer mensen zijn zich tegenwoordig bewust over het belang van gezond en gevarieerd eten. Vraag een willekeurig persoon of hij erop let of hij gezond eet en de kans is groot dat diegene ja zegt. Maar klopt dit eigenlijk wel? Eten we wel zo gezond als we zeggen dat we doen?

Een manier om dit te achterhalen is met behulp van een paarsgewijs vergelijkingsonderzoek. In dit onderzoek wordt een verzameling van objecten, bijvoorbeeld voedingsmiddelen, in paren voorgelegd aan een sample van individuen. Elk individu geeft voor elk paar van objecten aan welke van de twee hij prefereert over de andere. Een paarsgewijs onderzoek brengt echter wel een risico met zich mee, mensen kunnen namelijk intransitief reageren. Stel dat ik 3 objecten heb, A , B en C , dan is een intransitieve reactie gedefinieerd als:

$$A > B > C > A.$$

Dit noemen we ook wel een circular triad. Aan het einde van het onderzoek hebben we data verkregen die laat zien hoe vaak een object geprefereerd wordt over een ander object. Gegeven deze data, willen we graag weten welk object nu het meest geprefereerd wordt en welke het minst. Een manier om dit te doen is om te kijken naar de ranking van de objecten.



Maar hoe verkrijgen we zo een ranking?

Hiervoor bestaan verschillende modellen, waaronder Thurstone's Pairwise Comparison Model. In dit model veronderstellen we dat elk object een bepaalde impressie, zeg X_i , oproept bij een individu. Thurstone's model neemt aan dat deze impressies normaal verdeeld zijn:

$$X_i \sim \mathcal{N}(\mu_i, \sigma_i^2).$$

Gegeven een dataset kunnen de parameters geschat worden door middel van een kleinste kwadratenoplossing. De rankings worden uiteindelijk bepaald door de gemiddelden van de bijbehorende impressies: hoe hoger het gemiddelde, hoe hoger het object staat in de ranking. Thurstone's Pairwise Comparison Model kan dus gebruikt worden om te onderzoeken of mensen wel zo gezond eten als ze beweren. Echter hoe geschikt is een paarsgewijs experiment en hoe hangt dit samen met hoe erg de voedingsproducten op elkaar lijken?

Om dit te analyseren heb ik zelf een data onderzoek opgezet waarin ik twee verzamelingen van zeven producten heb samengesteld. Een verzameling bestond uit algemene producten die niet erg op elkaar lijken, zoals een pizza en een avocado, de andere verzameling bevatte producten die vaak als tussendoortje worden gegeten zoals een snickers en een eierkoek. Het paarsgewijze onderzoek heb ik zelf via een Google form gemaakt. Vervolgens heb ik mijn netwerk (en die van anderen!) gebruikt om zoveel mogelijk data te vergaren. Ik vond het data onderzoek erg leuk om te doen en kreeg veel positieve reacties.

Vervolgens heb ik de geschiktheid van een paarsgewijs experiment onderzocht door te kijken naar het aantal circular triads. Hieruit bleek dat hoe meer de voedingsexperimenten op elkaar leken, hoe meer circular triads er ontstonden in de reacties van mensen. Dit had te maken met het feit dat veel mensen alle snacks wel lekker vonden en het dus moeilijk vonden om te kiezen. Ook bleek uit het data onderzoek dat mensen, ondanks hun goede intenties, stiekem nog steeds voor het ongezonde kiezen! De pizza, snickers en chips eindigden namelijk hoog in de ranking. Maar zeg nou zelf, iedereen is af en toe toch wel eens toe aan een ongezonde snack?



Naam: Dion van Lange
Afdeling: Statistiek
**Titel: Financial market crashes:
Predicting bubbles using the
Johansen-Ledoit-Sornette model**

De financiële markt is iets fascinerends. De impact van extreme gebeurtenissen is gigantisch. Voornamelijk negatieve, extreme gebeurtenissen: Financiële crashes. Het zou fantastisch zijn als we deze crashes zouden kunnen voorspellen, en zelfs nog beter misschien kunnen voorkomen.

Tijdens mijn bachelor eindproject heb ik me verdiept in het voorspellen van financiële crashes. Hiervoor heb ik het werk van Didier Sornette bestudeerd. Houd er rekening mee dat voordat je begint met je onderzoek, je eerst heel veel literatuur moet lezen over het onderwerp. Dit duurt meestal wel drie weken lang. Nadat ik meerdere artikelen en een boek van de heer Sornette gelezen had, kon ik gaan beginnen met het implementeren van het Johansen-Ledoit-Sornette (JLS) model in R. Dit model gebruikt historische data van financiële markten om aan de hand daarvan een voorspelling te maken wanneer de eerstvolgende crash zal zijn. Ik heb mijn BEP dus bij de afdeling statistiek gedaan.

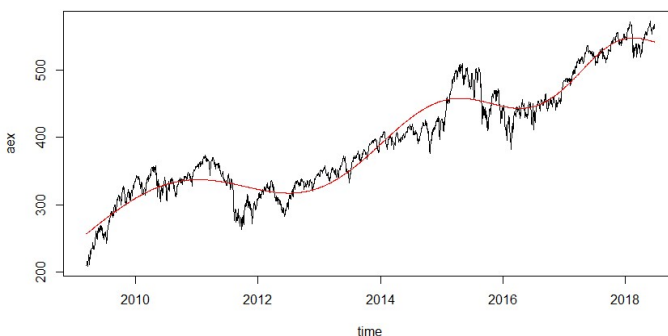
Eerst wilde ik het model gaan toepassen op cryptocurrencies, omdat ik dit zelf namelijk erg interessant vond. Helaas werkte dit niet zo goed, waardoor ik later besloten heb om het model toe te passen op actuele data van de Amsterdam Exchange Index (AEX), wat overigens ook erg leuk was. Het is heel fijn tijdens je BEP dat je heel vrij bent om te doen wat



je wil. Je kan zelf best een andere richting opgaan als je dat wil, zolang je goede redenen ervoor hebt en je begeleider het ermee eens is.

Uiteindelijk heb ik gekeken of ik met het JLS-model de eerstvolgende crash van de AEX kon voorspellen. Natuurlijk is dat enorm lastig, omdat er heel veel variabelen zijn die meespelen. Zo heb je bijvoorbeeld startparameters in het model die jezelf moet kiezen. Afhankelijk van deze keuze worden er vaak verschillende resultaten verkregen. Het model is dus erg sensitief voor deze startparameters. Deze sensitiviteit heb ik onder andere onderzocht tijdens mijn BEP.

In de laatste weken moet je conclusies gaan trekken wat soms heel erg lastig kan zijn. Bij mijn BEP kreeg ik heel veel verschillende resultaten die erg afhankelijk waren van allemaal verschillende parameters. Daarom heb ik uiteindelijk niks met zekerheid kunnen concluderen, maar wel kunnen zeggen dat het aannemelijk is dat er binnen twee jaar een financiële crash kan zijn bij de AEX.



Figuur 1: In deze grafiek zie je de waarde van de AEX tegen de tijd. Het JLS-model is aangegeven met de rode lijn.

Department Symposium EEMCS

Applied Mathematics and Double Bachelor students

Bachelor thesis & research groups:

8:45 - 12:45 in D@TA
Tuesday 12 February

Free lunch, while talking with master
students:

12:45 - 13:30 in Restaurantszaal
Tuesday 12 February

Master Orientation:

12:45 - 15:30 in Chip
Thursday 14 February

Double Bachelor student only:

Bachelor thesis information:

12:30 - 13:30 in D@TA
Thursday 14 February

12-14 February

Costs: Free! Register at wisv.ch/sympo





with

1-on-1 company talks with mathematicians

SAVE THE DATE:
3 APRIL, WEDNESDAY

Interested?
wisv.ch/MCOD

010101100101010110010

Algemene informatie Bachelor Eindproject

‘Dubbele Bachelor’

Vakcode: TWN3002

ECTS: 24

Het Bachelorproject voor de dubbele bachelor TW-TN zit anders in elkaar dan een regulier Bachelorproject. Het is immers een eindproject voor twee studies, en telt voor meer ECTS dan een regulier project. Het project moet zowel wiskundig als natuurkundig van aard zijn en heeft een grootte van ongeveer 21 EC. Een ander onderdeel van het vak is het Bachelorcolloquium, ter grootte van ongeveer 3 EC. Voor beide onderdelen samen krijg je één eindcijfer. Hieronder vind je een overzicht van de gang van zaken omtrent het Bachelorproject voor de dubbele bachelor TW-TN.

Q2 | Start: het vinden van een project

Aan het Bachelorproject is allereerst een toelatingseis verbonden. De toelatingseis voor het project is dat de propedeuse TWN is behaald, en dat van het eerste- en tweede-jaarsprogramma TWN in totaal tenminste 120 EC zijn behaald. Indien naar het oordeel van een TW begeleider of contactpersoon, dan wel de TN begeleider, essentiële vakken op het gebied van het gekozen onderwerp ontbreken, kan die contactpersoon verlangen dat dit vak eerst alsnog gehaald wordt. Bij de start van het project moet een student daarom desgevraagd een recente uitdraai van zijn/haar studieresultaten kunnen overleggen.



Als je aan de toelatingseis voldoet kun je beginnen! Althans, voor je aan een project kunt beginnen, zul je er eerst een moeten vinden. Het is raadzaam dit grotendeels in Q2 te doen zodat je al direct in Q3 van start kunt gaan met het project. In principe doet een student één project van 21 EC wat zowel een wiskunde- als natuurkundecomponent bevat. Als startpunt voor een project kun je uitgaan van een project wat reeds geformuleerd is voor TW of TN. Hiervoor kun je gebruik maken van het aanbod aan projecten op de Brightspace-site van TW3050 en TN2983.

Wanneer je een interessant onderwerp gevonden hebt, kun je contact opnemen met de begeleider. Je dient dan aan te geven dat je een dubbele bachelor student bent en dus op zoek bent naar een groter project waarin een component van beide studies te vinden is. Samen met de begeleider kun je dan nadenken over een manier om het project uit te breiden naar de andere studie. Nu moet je ook op zoek naar een begeleider van de andere studie. Hiervoor heeft je huidige begeleider wellicht suggesties. Nadat je een tweede begeleider gevonden hebt met interesse in het onderwerp, kun je samen met je twee begeleiders een duidelijker doel/onderwerp beschrijven voor het project.

Alternatief kun je ook beginnen met het vinden van een begeleider. Wanneer je voorkeur hebt voor een bepaald vakgebied, kun je een gesprek inplannen met een docent van dit vakgebied. Soms is het mogelijk in overleg met een docent een onderwerp te zoeken en daar rond een project te formuleren.

Ook is het mogelijk een project deels bij een bedrijf uit te voeren. Dit is echter heel lastig te regelen.

Een laatste mogelijkheid is om twee aparte projecten bij TN en TW te doen van elk ongeveer 12 EC. Dan gelden de eisen van TN en TW respectievelijk.

Q3 | Bachelorcolloquium

Het Bachelorcolloquium is een verplicht onderdeel dat je moet volgen in Q3 voor je je Bachelorproject kunt afronden. Tijdens dit onderdeel van ongeveer 3 EC zal er gewerkt worden aan presentatievaardigheden. Het vak wordt dan ook afgesloten met een presentatie. Voor het Bachelorcolloquium moet je je tijdig aanmelden, zodat de groepen goed ingedeeld kunnen worden. Je meldt je aan met het Aanmeldformulier Bachelorcolloquium dat op Brightspace (TWN3002-16) staat onder “Algemene Informatie”. De deadline voor het inleveren ligt een paar weken voor het begin van het derde kwartaal. Het formulier lever je in bij één van de docenten van het studentencolloquium zoals vermeld bovenaan het formulier. De werkcolleges van het Bachelorcolloquium zijn ingeroosterd en te vinden in je rooster. Dit formulier is tevens de check of je aan de ingangseisen voor het Bachelorproject hebt voldaan.

Q3 – Q4 | Uitvoering van het project

Na het vinden van een project en twee begeleiders kun je aan de slag. De uitvoering van het project zelf wordt begeleid door je twee begeleiders. Hiermee zul je ongeveer eens per week afspreken om de voortgang van het project te bespreken. Tijdens deze meetings kun je aangeven waar je tegenaan loopt en je bevindingen bespreken. Vaak kom je bij het project in aanraking met wiskunde en natuurkunde van een hoger niveau dan je reeds binnen je studie bent tegengekomen. Je begeleiders kunnen hier dan toelichting en uitleg bij bieden. Ook zullen je begeleiders aangeven waar je na de meeting mee aan de slag kunt. De frequentie van de meetings verschilt afhankelijk van je eigen voorkeur en die van je begeleiders.



Afsprakenformulier

Het project moet echter nog worden goedgekeurd door de examencommissies van beide studies. Vul hiervoor samen met je begeleider het afsprakenformulier voor het BEP-TWN in. Dit moet worden ingediend bij de examencommissie TW en bij de eindprojecten-administratie van TNW. Zorg ervoor dat je echt het afsprakenformulier TWN gebruikt, te vinden op de BS-pagina's van TWN3002-16! Het moet in tweevoud worden ingevuld en ongeveer drie maanden voor de beoogde einddatum van je project zijn ingeleverd bij de adressen zoals vermeld bovenaan het formulier.

Op het afsprakenformulier vul je ook je beoordelingscommissie in. Deze bestaat uit je twee begeleiders en nog eens twee beoordelaars. Hieraan zijn enkele eisen verbonden. Voor een BEP-TWN (ook bij twee gescheiden projecten) moet één commissie samengesteld worden die minimaal uit de volgende leden bestaat (zie ook het afsprakenformulier):

- Een lid van de vaste staf van DIAM (in principe de begeleider vanuit TW)
- Een lid van de vaste staf van TN (in principe de begeleider vanuit TN)
- Een lid van de vaste staf van DIAM werkzaam op één van de andere secties dan lid 1 (zie de Brightspace pagina van TWN3002-16 voor een overzicht van de secties)
- Een onafhankelijk tweede lid van de vaste staf van TN

Eén van de leden 1 en 3 moet BEP-contactpersoon van één van de secties TW zijn. (Zie "Contactpersonen" op pagina 10 voor een lijst van deze contactpersonen)

Q4 | Afronding

Je dient met je begeleiders te communiceren wanneer je het project ongeveer wilt afronden. Hier kunnen zij dan rekening mee houden tijdens de voortgang van het project en dit voorkomt misverstanden. Het Bachelorproject sluit je af met een eindvoordracht. De regelingen rondom de eindpresentaties zijn bij de twee opleidingen TW en TN verschillend. Daarom is door de beide opleidingen voor studenten TWN het volgende afgesproken:

- De presentatie moet voldoen aan de TW-richtlijnen. Dat betekent dat
 - de presentatie 30 minuten duurt
 - hoogstens de laatste 10 minuten op expert-niveau zijn
 - ongeveer de eerste 10 minuten op lekeniveau zijn (familie, vrienden) en de tweede 10 minuten op peer-niveau. Hierbij moet je bij een lekeniveau denken aan de wetenschapsbijlage van bijvoorbeeld de Volkskrant of het NRC. Een leek is dus een ontwikkeld persoon, maar in het algemeen geen “beta”. Een peer is een derdejaars TW en/of TN-student met een andere specialisatie.
- De ondervraging van de kandidaat doen we besloten als het project met name is uitgevoerd bij TN. Als het met name is uitgevoerd bij TW, dan gebeurt dit openbaar.
- Het gebruikte BEP-beoordelingsformulier is het TN-formulier.

Bespreek tijdig een tijdstip en datum waarop je gehele examencommissie aanwezig kan zijn. Docenten hebben een drukke agenda, vandaar dat je dit vroeg moet polsen. Wanneer je een datum en tijdstip besproken hebt, kun je een zaal reserveren.

De coördinator voor dit vak is Joost de Groot, J.A.M.deGroot@tudelft.nl.

Voor algemene vragen en problemen kun je bij hem terecht.



Naam: Rik Westdorp
Afdeling: Kansrekening & QuTech
Titel: Scaling limits of long-range quantum random walks

Tijdens een uitdagend project op het grensvlak van kansrekening en kwantum mechanica deed ik onderzoek naar limieten van de quantum random walk.

Om met mijn bachelor eindproject te beginnen had ik eest een begeleider nodig. Zodoende ben ik eens op gesprek geweest bij Prof. Frank Redig van de afdeling kansrekening. Zijn vak 'Inleiding Kansrekening' uit het eerste jaar beviel mij goed en het leek me interessant om een project te doen over een combinatie van de onderwerpen kansrekening van wiskunde en kwantum mechanica van natuurkunde. We kwamen uit op het onderwerp 'quantum random walks', een stochastisch proces dat als model kan dienen voor sommige kwantum mechanische systemen. Samen met Dr. Slava Dobrovitski van natuurkunde gingen we toen op zoek naar een invulling voor het project die voor beide begeleiders interessant zou zijn, en tevens behapbaar voor mijzelf. In deze gesprekken had ik vaak weinig inbreng, de inhoud kon ik vaak maar deels begrijpen en ik moest vaak tussendoor worden bijgepraat. Hoewel ik niet op hetzelfde niveau als Frank en Slava kon meespreken, was het leuk om een discussie over wiskunde en natuurkunde op hoog niveau bij te wonen. Het precieze doel van het project bleef nog even onduidelijk.

Aanvankelijk moest ik de bestaande theorie over het onderwerp zo goed mogelijk doorgronden. Het uitgangspunt hiervoor was een artikel van Grimmett et al. waarin een belangrijk resultaat over de quantum random



walk wordt afgeleid, namelijk, een limietverdeling voor het proces. Zoals je wellicht weet convergeert een reguliere random walk na deling door de wortel van het aantal stappen naar een normale verdeling. Voor een quantum random walk is dat anders. Een gedetailleerde uitleg van het resultaat uit het artikel vormt nu ook een groot deel van mijn verslag. Nadat dit belangrijke vooronderzoek achter de rug was kon er gewerkt worden aan eigen nieuwe resultaten over de quantum random walk. We hebben ervoor gekozen een variatie op de quantum random walk te definiëren waarin meerdere stappen gezet kunnen worden. Het was de vraag of in deze situatie nog steeds de limietverdeling zou gelden zoals beschreven in het artikel van Grimmett et al. Hiervoor heb ik de technieken die gebruikt werden in het artikel uitgebreid en toegepast op de nieuwe situatie. Hierna heb ik een verslag geschreven over mijn bevindingen en een presentatie gegeven. Hierbij was het erg lastig om de abstracte materie op een inzichtelijke manier te presenteren voor verschillende doelgroepen. Wel heeft het Bachelor Colloquium hierbij geholpen.

Tijdens het Bachelor eindproject werk je aan vaardigheden die nog niet eerder in je studie sterk naar voren zijn gekomen. Zo zal je waarschijnlijk voor het eerst wetenschappelijke artikelen lezen. Dit is beslist anders dan het lesmateriaal dat je gewend bent. Ook schrijf je tijdens het project een groot verslag. Het overzichtelijk presenteren van je bevindingen op papier vereist een goed begrip van de stof. Verder is het doel van een project vaak onduidelijker dan tijdens een opdracht van een vak. Wanneer je nieuwe inzichten probeert op te doen weet je niet altijd waar je naar op zoek bent en wat de betekenis is van je berekeningen. Een ander aspect van het eindproject is de samenwerking met je begeleider(s). Ikzelf vond het erg leuk samen met mijn begeleiders na te denken over de vraagstukken van het project. Op momenten dat ik inbreng had gaf me dit het idee dat ik scherp inzicht had gekregen in de stof. De intensieve samenwerking met je begeleider(s) maakt het ook belangrijk dat je bij hen goed aansluiting vindt. Een belangrijke keuze dus.

Succes met je keuze en de uitvoering van het Bacheloreindproject!



Naam: Nelleke Scheijen

Afdeling:

**Titel: Plastic litter in the ocean,
modeling of the vertical transport
of micro plastics in the ocean**

Mijn BEP heb ik bij het Delftse onderzoeksinstituut Deltares gedaan, als onderdeel van de bachelors Technische Wiskunde en Technische Natuurkunde. Ik vond het erg leuk om mijn BEP bij Deltares te doen en ik zal iets vertellen over mijn ervaringen en resultaten.

Voordat ik met mijn BEP ben begonnen, heb ik gekeken welke onderwerpen ik leuk vond en een bijpassend project gezocht. Ik koos ervoor om op zoek te gaan naar een project in de richting van transport verschijnselen en wiskundige fysica, en besloot dat ik graag mijn BEP bij een bedrijf zou willen doen. Martin Verlaan, hoogleraar aan de TU Delft en onderzoeker bij Deltares, had een interessant project dat bij mijn interesses aansloot: De modellering van plastic in de oceaan.

In de eerste weken van mijn BEP heb ik me ingelezen in het plastic probleem en een onderzoeksvraag vastgesteld. In dit project zijn micro plastic deeltjes bestudeerd ($< 5\text{mm}$), vanwege de kleine afmetingen worden de plastic deeltjes gemodelleerd als deeltjes in vloeistof. Er zijn twee veelvoorkomende manieren om deeltjes transport te modelleren. Een manier is het oplossen van de advection-diffusie vergelijking om een concentratie functie te vinden. Een andere manier is om een stochastisch model af te leiden uit de advection-diffusie vergelijking, een random walk model genoemd. Met dit model kan een enkel deeltjes traject worden gesimuleerd. Wanneer een grote hoeveelheid deeltjes wordt gesimuleerd met dit model, is de verspreiding van de deeltjes gelijk aan de concentratie functie van



de advection-diffusion vergelijking.

Het kan wiskundig worden afgeleid dat de methoden gelijk zijn voor een ideale situatie. Beide modellen hebben hun eigen specifieke voordelen en nadelen voor specifieke (niet ideale) gevallen. Het interessante deel over het modelleren van plastic deeltjes in de oceaan, zijn de fysische eigenschappen van plastic die in het model moeten worden opgenomen. Kunststoffen hebben een drijvend karakter, omdat de dichtheid van kunststoffen vaak lager is dan de dichtheid van water. De twee bestaande modellen moeten worden aangepast om geschikt te zijn voor het modelleren van plastic transport. Omdat het drijvende karakter van plastic de belangrijkste factor van plastic is, ging mijn BEP over het tweedimensionale verticale transport van plastic.

Na het theoretische onderzoek over de modellen en aanpassingen voor het gebruik op plastic, heb ik beide modellen in Matlab geïmplementeerd met een numerieke benadering. Ik heb vier testcases gebruikt in het project om de verschillende aspecten (verspreiding, advection en drijfvermogen) van het deeltjes transport te laten zien. Na vergelijking van de verschillende test gevallen, kon ik concluderen dat de aanpassingen aan het transport model geschikt zijn om plastic deeltjes te modelleren. Na het bekijken van verschillende test gevallen en de theoretische achtergrond van de modellen, vond ik ook een aantal voor- en nadelen voor beide modellen. De advection-diffusion vergelijking heeft voornamelijk numerieke problemen, een numerieke oplossing voor dit model is moeilijk te verkrijgen of zeer tijdrovend. Het random walk model zal onnauwkeurig worden op grotere afstanden en grotere tijdschalen, als gevolg van een eindige hoeveelheid deeltjes. De beste oplossing zou een combinatie van beide modellen zijn om de voordelen van beide modellen te gebruiken. Mijn BEP was zeker een uitdaging, want het was de eerste keer dat ik een groot project individueel moest uitvoeren. Ik vond het erg leuk om bij Deltares te werken, want mijn onderzoek kon echt worden uitgevoerd als een klein onderdeel van een lopend onderzoeksproject bij Deltares. Het was ook leuk om mijn theoretische kennis van wiskunde en natuurkunde in de praktijk te brengen.

