



rijksuniversiteit
 groningen

Zo.Leer.Ik!

Nieuwe logistieke beslisregels voor gepersonaliseerd leren:
 planning van personeel

Onderzoeksteam:

Drs. Imke Hakkens (Rijksuniversiteit Groningen)

Drs. Tonny Romensen (Rijksuniversiteit Groningen)

Drs. Wim Kokx (Openbare Scholengroep Vlaardingen Schiedam/Zo.Leer.Ik! netwerk)

Prof. dr. Iris Vis (Rijksuniversiteit Groningen)

Participerende scholen uit het Zo.Leer.Ik!-netwerk:

Picasso Lyceum

Kennemer College (Mavo)

Mariëndael

Subsidie: NRO subsidie in het kader van de pilot kenniscirculatie onder nummer 40.5.19861.025.

Contact: i.f.a.vis@rug.nl

Projectinformatie: Dit project is een onderdeel van het Onderzoeksprogramma Onderwijslogistiek aan de Rijksuniversiteit Groningen, zie: <https://www.rug.nl/cope/projecten/onderwijslogistiek>

De Rijksuniversiteit Groningen (RUG) biedt geen garantie terzake van de juistheid of de bruikbaarheid van het door haar ontwikkelde model en aanverwante documenten. De afnemer/gebruiker vrijwaart de RUG voor aanspraken van derden die jegens RUG mochten worden gedaan naar aanleiding van schades, voortvloeiend uit het gebruik of de toepassing van het model en aanverwante documenten.

Alle rechten, waaronder de intellectuele eigendomsrechten, op het model en bijbehorende documenten, blijven te allen tijde voorbehouden aan de RUG.

Samenvatting

Door het aanbieden van meer maatwerk streven scholen naar een grotere en actievere betrokkenheid van leerlingen tijdens de primaire onderwijsprocessen leren, onderwijzen en beoordelen. De scholen uit het Zo.Leer.Ik!-netwerk werken samen in het ontwikkelen van gepersonaliseerd leren in het voortgezet onderwijs. Het doel daarbij is om het eigenaarschap bij leerlingen te leggen van hun eigen leerroute waarbij snelheid en niveau kunnen verschillen tussen leerlingen onderling. Coaching is daarbij belangrijk om leerlingen te stimuleren het beste uit zich zelf te halen. Voor de scholen is het een belangrijke uitdaging om het onderwijsproces zo te organiseren dat op het juiste moment het juiste type onderwijs voor een vak aan elke leerling wordt aangeboden om zo verspillingen in het leerproces te voorkomen. Waar in de klassieke onderwijssituatie sprake is van jaarlijks vastgestelde lesroosters, zullen in gepersonaliseerd leren lesactiviteiten worden gepland in relatie tot leervragen van individuele leerlingen. Een nieuw logistiek paradigma is nodig om de school organiseerbaar te krijgen. Belangrijke elementen daarin zijn flexibiliteit in roostering, groepsamenstelling, inzet van leraren en keuze van werkmethoden. In een samenwerking tussen onderzoekers van de Rijksuniversiteit Groningen en de scholen uit het Zo.Leer.Ik! netwerk wordt gewerkt aan het ontwikkelen van nieuwe logistieke concepten in het project Onderwijslogistiek voor gepersonaliseerd leren. De inzichten uit dat project laten zien dat er een noodzaak is om nieuwe logistieke concepten te ontwikkelen en dat daarvoor kennis uit de logistiek kan worden gebruikt. In het voorliggende onderzoeksproject is het doel het ontwikkelen van nieuwe concepten die door het management van scholen kan worden gebruikt ter ondersteuning bij het nemen van beslissingen rondom het plannen van keuzewerktijduren en bijbehorende personeelsplanning. Daarnaast hebben we een aantal verfijningen doorgevoerd in het generieke simulatiemodel waarvan we de ontwikkeling in 2018 zijn gestart.

In de eerste fase van het onderzoek zijn we begonnen met uitgebreide observaties bij drie scholen uit het Zo.Leer.Ik!-netwerk, namelijk het Picasso Lyceum, het Kennemer College Mavo en Mariëndael. Alle drie de scholen hebben dit schooljaar een volgende stap gezet in de implementatie van gepersonaliseerd leren door de (verdere) introductie van keuzewerktijduren. Om de keuzewerktijduren voor leerlingen en docenten op een goede manier te kunnen vormgeven, is de volgende praktijkvraag geformuleerd: *Hoe zorg je dat elke leerling op elk moment op de juiste plek zit? Of te wel op de plek die het beste aansluit op de behoeftes van elke leerling op dat moment.* Deze praktijkvraag is vertaald naar een aantal onderzoeksvragen, namelijk welke vakken bied je tegelijkertijd aan tijdens een keuzewerktijdur, hoeveel uren van een bepaald vak bied je aan een periode van keuzewerktijduren en wat betekent dit voor de personeelsplanning.

We hebben gekozen voor het uitvoeren een ontwerpstudie waarin wiskundige modellering en simulatie centraal staan. In de eerste fase hebben we naast het doen van de observaties ook gekeken welke data beschikbaar zijn in de scholen gerelateerd aan dit vraagstuk. Dit om de ontwikkelde methodieken te kunnen valideren. En daarnaast om de scholen te kunnen adviseren welke data moeten worden verzameld om dit vraagstuk in de dagelijkse praktijk te kunnen oplossen. In hoofdstuk 2 beschrijven we de resultaten van de observaties en de analyse van beschikbare data. Door COVID-19 hebben we uiteindelijk geen dataverzameling in de scholen kunnen uitvoeren. Daarom hebben we gebruik gemaakt van expertschattingen en data die eerder in onderzoeksprojecten zijn verzameld. In hoofdstuk 4 beschrijven we deze data in meer detail.

In fase 2 van het onderzoek hebben we een tool voor het plannen van keuzewerktijduren ontwikkeld (zie hoofdstuk 5). Deze tool bestaat uit een nieuw ontwikkelde heuristiek die vanuit een startoplossing door de toepassing van operatoren toewerkt naar een planning. Een goede planning is in deze tool een planning waarbij zoveel mogelijk leervragen via lesactiviteiten kunnen worden beantwoord. Belangrijke input voor deze tool zijn de voorspellingen van leervragen voor de verschillende vakken van individuele leerlingen. Hiervoor is het dus van belang dat een school gedurende een langere periode deze data verzamelt. Met een simulatiemodel wordt voor elk planning een penalty berekend die het gemiddelde aantal keer aangeeft dat een leerling een vraag over een vak had maar zich niet voor dit vak kon

inschrijven. De tool probeert plannings te vinden met een zo laag mogelijke penalty. Zo kan de tool inzicht geven of het bijvoorbeeld beter is om het aanbod van een vak (zoals wiskunde) tegelijkertijd op één moment aan te bieden of dit aanbod over meerdere momenten te verspreiden. Ook wordt gekeken of door het toevoegen van een extra aanbod in dat vak (ten koste van een ander vak), de planning beter aan de leervragen van leerlingen voldoet. Naast een planning wordt ook aangegeven wat de verdeling van de docentencapaciteit over de verschillende vakken is (in % van het aantal fte).

In Fase 3 van het onderzoek is het eerder ontwikkelde simulatiemodel om managementbeslissingen ten behoeve van gepersonaliseerd onderwijs te ondersteunen, verder verfijnd. Dit bespreken we in hoofdstuk 6. Zo is bijvoorbeeld een koppeling gemaakt tussen de leersnelheden van leerlingen en de slagingskans die per module wordt gebruikt. Samen met stakeholders uit de praktijk zijn de wijzigingen getoetst door vele experimenten in de verificatie en validatie fase.

Met de tool voor het plannen van keuzewerktijdduren en met het generieke simulatiemodel is in Fase 4 een set van experimenten uitgevoerd. Daarbij zijn logistieke inzichten vertaald naar onderwijskundige implicaties. Uit de resultaten blijkt onder andere dat het voor scholen belangrijk is om af te wegen hoeveel extra docenten worden toegevoegd om de kwaliteit van de planning te verhogen. We zien een kantelpunt waarin het toevoegen van nog een extra docent voor beperkte kwaliteitsverhoging van de planning zorgt. Met behulp van het simulatiemodel hebben we onder andere gekeken naar de effecten van het verhogen van de effectiviteit van zelfstudie door leerlingen op de opleidingsduur.

In vervolgonderzoek willen we graag de ontwikkelde tool en het simulatiemodel bij een aantal scholen met werkelijke data toetsen. Hiermee beogen we ook om inzichten te verkrijgen over eigenschappen van goede plannings van keuzewerktijdduren. De ontwikkelde tool kan worden uitgebreid voor planning van bovenscholse leeractiviteiten en het combineren van meerdere leerjaren. Ook kan het generieke simulatie verder worden uitgebouwd door het uitbreiden van de mogelijkheid voor het invoeren van gegevens, algemene eigenschappen van het model en het ontwerpen en inbouwen van nieuwe beslisregels, bijvoorbeeld voor het maken van groepen van leerlingen.

Inhoudsopgave

1	Beschrijving van het project	6
1.1	Introductie	6
1.2	Achtergrond	6
1.3	Praktijkvraag	8
1.4	Onderzoeksvragen	9
1.5	Methodologie	9
1.6	Opmerking bij de uitvoering van het onderzoek	10
2	Fase 1: Observaties scholen	11
2.1	Observaties Kennemer College (mavo)	11
2.2	Observaties Picasso Lyceum	12
2.3	Observaties Mariëndael	13
2.4	Overgang naar keuzewerktijdduren: welke beslissingen	14
2.5	Beschikbare data	15
2.6	Conclusies	15
3	Wijziging onderzoeksopzet door COVID-19	16
4	Fase 1: Beschrijving data	18
5	Fase 2: Tool voor plannen keuzewerktijdduren	20
5.1	Methodologie	21
5.2	Modelbeschrijving	22
5.3	Adaptive Large Neighbourhoud Search (ALNS) Heuristiek	24
5.4	Voorbeeld	30
6	Fase 3: Doorontwikkeling generiek simulatiemodel	32
6.1	Introductie uitvoeren simulatiestudies	32
6.2	Beschrijving generiek simulatiemodel voor ontwerp gepersonaliseerd leren	32
6.3	Doorontwikkeling generiek simulatiemodel in dit project	36
7	Fase 4: Experimenten	37
7.1	Experimenten plannen van keuzewerktijdduren: Beschrijving school	37
7.2	Experimenten plannen van keuzewerktijdduren: Basis scenario	37
7.3	Experimenten plannen van keuzewerktijdduren: Alternatieve scenario's	39
7.4	Experimenten plannen van keuzewerktijdduren: wensen Mariëndael	47
7.5	Experimenten met generieke simulatiemodel	47
8	Conclusies en verder onderzoek	48

8.1	Ideeën voor verder onderzoek	49
9	Referenties	50
10	Appendix A: Verklaring afkortingen vakken	51
11	Appendix B: Details doorgevoerde wijzigingen generieke simulatiemodel	52
11.1	Profielen	52
11.2	Jaarlijkse instroom	52
11.3	Leersnelheden	52
11.4	Snelle leerlingen hebben een hogere kans van slagen	53
11.5	Beschikbaarheid docenten	53
11.6	Ziekteverloop	54
11.7	Maximale en minimale bezetting per klas	54

1 Beschrijving van het project

In deze paragraaf beschrijven we de aanleiding voor het onderzoek en de aanpak van het onderzoek zoals eerder deels opgenomen in het oorspronkelijke onderzoeksvoorstel dat is ingediend bij het Nationaal Regieorgaan Onderwijsonderzoek (NRO).

1.1 Introductie

Scholen streven naar meer actieve betrokkenheid van leerlingen in de kernonderwijsprocessen (leren, onderwijzen en toetsen). In het klassieke onderwijssysteem zien we verspillingen, zoals gebrek aan motivatie bij leerlingen ([1]), aantal zittenblijvers en schoolverlaters en gebrek aan de mogelijkheid om vakken op verschillende niveaus af te ronden. Bijna 50% van de leerlingen heeft tenminste een jaar in het PO of VO overgedaan ([2]); een dure verspilling met een schatting van directe kosten van 500 miljoen euro en indirecte kosten van 400 miljoen euro ([3]). Deze verspillingen verminderen bij gepersonaliseerd leren waar de betrokkenheid van leerlingen en docenten, cijfers en aanwezigheid stijgen en de uitval van leerlingen daalt ([4]). Het doel van gepersonaliseerd leren is dat elke leerling op het juiste moment voor elk vak het juiste type onderwijs krijgt om verspilling in het leerproces te voorkomen. Daarmee staan in een gepersonaliseerde leersituatie leerpaden van individuele leerlingen centraal. Alle coördinatie van activiteiten en besluitvorming met betrekking tot individuele leerbehoeften van leerlingen zal gaan plaatsvinden op de werkplek in een interactie tussen leraar en leerling. Het creëren van de hiervoor benodigde flexibiliteit in de organisatie van onderwijsprocessen is een grote uitdaging ([5]). Of zoals conrector Richard de Boef van het Picasso Lyceum in Zoetermeer in de NRC van 8 juni 2016 ([6]) zei: “dit zal nogal een logistieke nachtmerrie opleveren”. Logistieke activiteiten worden in het huidige VO-onderwijssysteem doorgaans op de lange termijn gepland, zoals jaarlijks vastgestelde lesroosters. Voor de organisatie van gepersonaliseerd leren is een nieuw paradigma voor onderwijslogistiek nodig om een situatie van hoge kwaliteit te bereiken waarbij elke leerling op elk moment op basis van zijn/haar eigen leersnelheid, niveau en ambitie de benodigde kennis van een specifiek vak op een kostenefficiënte manier kan verwerven. Het is de verwachting dat door het creëren van flexibiliteit in het plannen van leeractiviteiten, het samenstellen van groepen, het inzetten van docenten en het kiezen van werkmethoden, gepersonaliseerd leren kan worden gefaciliteerd.

1.2 Achtergrond

In 2012 bracht een aantal scholen voor voortgezet onderwijs een bezoek aan het Zweedse Kunskapskolan. Dit Zweedse onderwijsconcept gaat uit van twee peilers. Allereerst eigenaarschap bij leerlingen van hun eigen leerroute, waarbij snelheid en niveau kunnen verschillen tussen leerlingen onderling en coaching belangrijk is, om leerlingen te stimuleren het beste uit zichzelf te halen. Verder werken leerlingen met leerdoelen (in tegenstelling tot leertaken) zodat leerlingen vrij zijn in het kiezen van vormen om zich het leerdoel eigen te maken. Feitelijk is het onderwijsconcept hiermee primair een pedagogisch/didactisch concept. Tegelijkertijd is het in Zweden gelukt om het geheel van het onderwijs georganiseerd te krijgen. De scholen die geïnspireerd zijn geraakt door dit Zweedse model hebben zich verenigd in een collegiaal netwerk ‘Zo.Leer.Ik!’ waarbij de deelnemende scholen van en met elkaar de Nederlandse vertaling van dit onderwijsconcept ontwikkelen. Dit was vooral noodzakelijk omdat de Nederlandse context anders is dan de Zweedse, o.a. meer vakken en geen heterogene klassen.

Een belangrijk uitdaging voor de Nederlandse scholen was om het georganiseerd te krijgen. Door de ambitie om leerlingen in hun eigen tempo en niveau de lesstof te laten doorlopen, moest het beproefde systeem van klassen/leerjaren worden losgelaten. Op elk moment in het schooljaar kan een leerling bij een bepaald vak toe zijn aan instructie of begeleiding. Om de school organiseerbaar te krijgen zou dan op elk moment onderzocht moeten worden of meer leerlingen op hetzelfde moment aan deze instructie behoefte hebben zodat deze groep leerling een docent en lokaal toegewezen krijgen voor het door hen

gewenste onderwijsmoment. Het op deze manier naar een schoolorganisatie kijken vergt een mindshift op systeemniveau.

De scholen van het Zo.Leer.Ik!-netwerk zijn na een voorbereidende fase vanaf 2014 gestart met het onderwijs op deze nieuwe manier en zijn in hun ontwikkeling over het algemeen door de hele school bezig met belangrijke onderdelen van het concept waarbij elk jaar stappen worden gezet om het uiteindelijke doel van volledig gepersonaliseerd onderwijs te bereiken.

Vanaf het begin en simultaan aan de ontwikkeling van de scholen is contact ontstaan met het Center for Operational Excellence (COPE) aan de Rijksuniversiteit Groningen. Onderzoekers binnen dit centrum werken aan het analyseren, ontwerpen en optimaliseren van logistieke processen in productieomgevingen (zoals fabrieken), distributiecentra en havens, en dienstenomgevingen (zoals ziekenhuizen en bibliotheken). In een samenwerking tussen onderzoekers van COPE, studenten en de Zo.Leer.Ik!-scholen is het project "Onderwijslogistiek voor gepersonaliseerd leren" gestart met projectleiders Wim Kokx (voorzitter Zo.Leer.Ik!-netwerk) en Iris Vis (hoogleraar RUG). Vanaf dat moment zijn vragen op schoolniveau vertaald naar wetenschappelijke onderzoeksvragen en hebben de uitkomsten van het wetenschappelijk onderzoek geholpen bij de verdere implementatie van gepersonaliseerd leren aan de scholen.

In de eerste verkenning is onderzocht of de kennis vanuit de logistiek bruikbaar is voor het vraagstuk met betrekking tot de organisatie van het gepersonaliseerd leren op de scholen voor voortgezet onderwijs. Deze verkenning bestond uit vier delen.

- **Conceptualisatie.** De insteek vanuit de genoemde sectoren buiten het onderwijs was vaak gerelateerd met 'Lean', een manier om naar organisaties te kijken waarbij eigenaarschap op de werkvloer wordt gecombineerd met het minimaliseren van verspillingen. In dit deel van het verkennend onderzoek is een vertaaltabel gemaakt tussen de termen die in de Lean-theorie belangrijk zijn en terminologie in het onderwijs. Uitgangspunt was dat als een dergelijke tabel gemaakt kon worden, het ook mogelijk moest zijn om de Lean-theorie verder toe te passen in de primaire processen van het onderwijs. Als essentieel voorbeeld hierbij is te noemen het begrip 'klant'. In de Lean-theorie wordt de waarde in een proces volledig bepaald door de waardering hiervan door de klant. Voor het onderwijs is niet meteen duidelijk wie de klant is: de leerling, de ouder, de maatschappij, Als je een leerling ziet als een pakketje dat de school doorloopt en waar docenten kennis en vaardigheden in stoppen, wie is dan de klant? Uit het onderzoek en gevalideerd in expertsessies met mensen van binnen én buiten het onderwijs is geconcludeerd dat de leerling zélf de klant is die van het onderwijs vraagt om ondersteuning bij het ontwikkelen van kennis en vaardigheden.
- **Kwaliteitssysteem.** Lean kent een uitgewerkt systeem van kwaliteitscontroles, bijvoorbeeld in een productie-omgeving om vast te stellen of een halffabricaat wel aan de kwaliteitseisen voldoet. Dit om te voorkomen dat een foutief halffabricaat een verdere bewerking ondergaat terwijl het eindproduct toch zal worden afgekeurd waarmee de tweede bewerkingsstap onder het begrip 'verspilling' valt. De onderzoeker kon een nagenoeg volledige match aanbrengen tussen het kwaliteitsmodel zoals dat bij Lean gebruikt wordt en kwaliteitsinstrumenten zoals dat in scholen wordt gebruikt. Zo kon een coachingsgesprek in een school een andere betekenis krijgen doordat het gesprek tussen coach en leerling het karakter kreeg van een gesprek dat gaat over het vermijden/minimaliseren van verspilling.
- **Visualisatie.** Bij het ontwerpen van een Lean-organisatie wordt gebruik gemaakt van zogenaamde Value Stream Mapping (VSM) waarmee zichtbaar gemaakt wordt hoe de organisatie werkt, hoe deze idealiter zou kunnen werken en hoe je van de huidige situatie komt tot de gewenste situatie. Deze VSM-methode is bij een aantal scholen toegepast om te beoordelen of het werken volgens deze methode van meerwaarde was voor de scholen om gestructureerd over hun schoolorganisatie en de processen daarbinnen na te denken. De scholen waren hier bijzonder positief over: het hielp hen bij de ontwikkeling van gepersonaliseerd onderwijs.

- Simulatie. Een essentiële vraag van de scholen was of gepersonaliseerd onderwijs überhaupt wel organiseerbaar was. Het klassen/leerjaarsysteem is immers een efficiënt systeem waarbij maximaal gebruik gemaakt wordt van docenten en lokalen om zoveel mogelijk leerlingen onderwijs te laten volgen. Dat voor veel leerlingen de lesstof niet wordt aangeboden op het voor hen juiste moment en op het juiste niveau is wellicht op diverse manieren merkbaar, zoals gebrekkige motivatie, lage resultaten en bijvoorbeeld bij doubleren. Bij dat laatste ontstaan dubbelingen in de lesstof van reeds eerder succesvol afgesloten onderdelen. Maar als je slechts naar de organisatie van het onderwijs kijkt, is het klassen/leerjaarsysteem zeer succesvol. Scholen waren niet zeker of het inhoudelijk betere idee van gepersonaliseerd onderwijs, wel organiseerbaar was. De onderzoeksgroep in Groningen begon met het ontwikkelen van een simulatiemodel om deze organiseerbaarheid te toetsen. In de simulatie wordt uitgegaan van het aanwezige docentenbestand van een school, de beschikbare lokalen en de aanwezige leerlingen. Nieuw was om deze leerlingen in tempo en niveau te laten verschillen en dan steeds opnieuw te kijken of er een groepje leerlingen te vinden is dat op hetzelfde moment aan een stuk lesstof toe is (zogenaamde 'batching'). Vervolgens wordt onderzocht of een vakdocent en lokaal beschikbaar is om deze leerlingen verder te helpen bij het beheersen van deze lesstof/leerdoelen. Het model is getest met een case studie bij een van de Zo.Leer.Ik!-scholen. De eerste en belangrijkste conclusie was dat het onderwijs op gepersonaliseerde basis organiseerbaar was. Leerlingen doorliepen in een combinatie van instructiemomenten en zelfstudie de lesstof in een redelijke tijd, er waren voldoende lokalen en ook de belasting van de docenten was acceptabel (ook in de zin van de arbeidsvoorwaarden). Tegelijkertijd gaf het simulatiemodel ook ondersteuning aan managementbeslissingen. Zo kon je door het instellen van de minimale groeps grootte waarbij een groep leerlingen instructie kreeg, beoordelen wat de gevolgen waren voor andere factoren in het model. Maak je bijvoorbeeld deze minimale groeps grootte hoger, dan loopt de wachttijd omhoog waarbij leerlingen moeten wachten op de door hen gewenste instructie. Maak je de minimale groeps grootte kleiner, dan neemt weliswaar de wachttijd voor leerlingen af, maar moeten docenten het aan kleinere groepjes uitleggen (en daardoor vaker) en neemt hun werkdruk toe. Hiermee geeft het simulatiemodel ook geen blauwdruk voor de beste wijze waarop een school georganiseerd moet worden, maar is het een middel om als schoolleiding mogelijke keuzes 'droog' te oefenen, effecten van beslissingen te analyseren en een voor hén gewenste situatie te kunnen gaan realiseren.

Na deze verkennende studies is een groter onderzoeksprogramma opgesteld om de onderzoeken te kunnen verdiepen, verbreden en concretiseren. Het voorliggende onderzoeksproject is een onderdeel van dit grotere geheel. We bespreken achtereenvolgens de praktijkvraag, onderzoeksvragen, en methodologie.

1.3 Praktijkvraag

De meer dan twintig scholen uit het Zo.Leer.Ik!-netwerk zijn op zoek naar manieren om hun onderwijs te personaliseren. Geïnspireerd door het Zweedse Kunskapskolan, aangevuld met inzichten specifiek voor de Nederlandse context, hanteren de Zo.Leer.Ik!-scholen twaalf bouwstenen om gepersonaliseerd onderwijs te kunnen bieden. De ambitie van het netwerk wordt samengevat in het doel: "Iedere leerling neemt zelf de regie over zijn of haar leerproces, omdat de school hem of haar eigenaarschap durft te geven".

De onderzoekers hebben met de scholen initiële studies uitgevoerd om te toetsen of kennis uit de logistiek kan worden gebruikt voor de organisatie van gepersonaliseerd leren, welke uitdagingen er zijn bij het ontwikkelen van nieuwe logistieke beslisregels en welke vragen eerst dienen te worden beantwoord ([7]). Deze inzichten laten zien dat er de noodzaak is om nieuwe logistieke concepten te ontwikkelen en dat daarvoor kennis uit de logistiek bruikbaar is.

De specifieke praktijkvragen die zijn geformuleerd voor dit project zijn:

Vraag op strategisch niveau:

- Hoeveel docenten hebben we komend jaar per vak nodig om aan de leerbehoefte van elke leerling te kunnen voldoen?

Vragen op operationeel niveau:

- Hoe kunnen we de leervragen van leerlingen het beste clusteren zodat we de beschikbare docenten op een goede manier kunnen inzetten?
- Hoe wijzen we docenten toe aan groepen van leerlingen?

1.4 Onderzoeksvragen

Grote veranderingen in de onderwijslogistiek zijn noodzakelijk om een goed kwalitatief en betaalbaar systeem voor gepersonaliseerd leren te kunnen ontwerpen. Onderzoek focust zich vooral op digitale leeromgevingen en software [8] en nauwelijks op conceptontwikkeling voor de organisatie van onderwijsprocessen. Een veel bredere blik is nodig om de noodzakelijke wijzigingen door te kunnen voeren [9]. Nieuwe logistieke beslisregels zijn nodig om de leervraag te bepalen, te voorspellen en te clusteren, en bijbehorende onderwijsactiviteiten flexibel in te plannen. Hiervoor moeten nieuwe modellen worden ontwikkeld. Binnen bedrijven, maar ook ziekenhuizen, zijn specifieke logistieke instrumenten ontwikkeld die op maat bediening van klanten mogelijk maken. Echter, deze concepten kunnen niet 1-op-1 worden vertaald naar een onderwijscontext en daarom is nieuwe wetenschappelijke kennis nodig.

Het doel van dit project is om met kennis uit het vakgebied logistiek nieuwe beslisregels te ontwikkelen - om zo bovenstaande praktijkvragen te kunnen beantwoorden - voor:

1. Het bepalen van de docent-formatie voor elk vak.
2. Het toewijzen van docenten aan leeractiviteiten.
3. Het clusteren van de leervragen van individuele leerlingen.

1.5 Methodologie

Ontwerpgericht onderzoek in combinatie met kwantitatief analytisch onderzoek staat centraal in deze studie. Het belangrijkste kenmerk van ontwerpgericht onderzoek is dat tijdens elke fase van het onderzoek vastgesteld wordt of het onderzoek nog steeds aansluit bij de praktijkvraag. We ontwerpen logistieke beslisregels op basis van kennis uit de logistiek en operations research. In ontwerpgericht onderzoek worden standaard vier fases onderscheiden die we in het onderzoek ook zullen volgen. We onderscheiden de volgende fases:

Fase 1: Ontwerpstudie voor één specifieke school. De junior onderzoeker zal samen met de medewerkers in de school een uitgebreide probleembeschrijving maken en data verzamelen. Daarna zal een ontwerptraject starten waarin beslisregels worden ontwikkeld om de gestelde vragen te kunnen beantwoorden. Bij het ontwikkelen van de beslisregels kunnen verschillende uitgangspunten in het plannen van personeel worden aangehouden, bijvoorbeeld voor elke leeractiviteit kan een leerling worden gekoppeld aan een andere docent, of binnen een module in een vak heeft een leerling altijd dezelfde docent etc. Via feedback-loops is het doel om onderzoek en praktijk continu op elkaar af te stemmen waarmee de aansluiting met de praktijkvraag wordt geborgd.

Fase 2: Valideren, evalueren en verbeteren van het ontwerp. Vaak zien we dat ontwikkelde concepten met vallen en opstaan in de werkomgeving worden getest om te zien wat goed werkt en wat

beter kan. Een duidelijk nadeel van deze methode is dat er in feite experimenten met leerlingen en leraren worden gedaan. We zullen de concepten die zijn ontwikkeld in fase 1 evalueren door middel van voor de school op maat gemaakte computersimulatiestudies met werkelijke data uit de schoolsituatie om zo aanbevelingen voor de school te doen waarvan de relevantie met de geformuleerde praktijkvraag wordt getoetst.

Fase 3: Theorievorming. In deze fase zullen de onderzoekers het ontwerp van de school uit fases 1-2 gaan testen door de gevonden oplossingen via gesprekken en experimenten te toetsen of deze ook gebruikt kunnen worden in andere scholen. De participerende scholen zijn verspreid over het gehele land en bieden alle mogelijke onderwijstypes aan (vmbo-basis tot en met tweetalig VWO/gymnasium, ISK en speciaal onderwijs). Enkele van deze scholen zijn nieuw, anderen maken de stap van klassiek naar gepersonaliseerd leren. Deze grote diversiteit geeft de ideale onderzoekscontext om resultaten te generaliseren voor de VO-sector in het algemeen die, zoals genoemd in het sectoraccord, streeft naar het mogelijk maken van meer gepersonaliseerd leren.

Fase 4: Generalisatie Door middel van numerieke experimenten zal worden onderzocht in hoeverre de ontwikkelde beslisregels generiek toepasbaar zijn. Door het testen van meerdere scenario's kunnen verschillende organisatorische concepten worden vergeleken en kan de bruikbaarheid voor de dagelijks schoolpraktijk worden bestudeerd onder verschillende omstandigheden (e.g., aantal leerlingen, leraren en vakken). Om deze fase te kunnen uitvoeren is het ontwikkelen van een generiek simulatiemodel noodzakelijk. Dit zal door de programmeur in het team worden uitgevoerd. Het beoogde doel is dat het generieke simulatiemodel bruikbaar is voor andere scholen als ondersteuning voor beslissingen in de (logistieke) organisatie van die vragende scholen.

1.6 Opmerking bij de uitvoering van het onderzoek

We zijn in februari het onderzoekstraject gestart met observaties in drie scholen om te komen tot de school die centraal zou staan in fase 1. Deze drie scholen waren het Picasso Lyceum uit Zoetermeer, Het Kennemer College (Mavo) uit Heemstede en Mariëndael uit Arnhem. Deze observaties waren half maart afgerond. De uitkomsten van deze observaties worden beschreven in hoofdstuk 2. Door COVID-19 kon het onderzoek echter niet in de hierboven beschreven vorm plaatsvinden. Daarom is een wijziging van de onderzoeksopzet voorgesteld en akkoord bevonden door het NRO. In hoofdstuk 3 beschrijven we deze wijzigingen. In de daarop volgende hoofdstukken beschrijven we de resultaten van het onderzoek.

2 Fase 1: Observaties scholen

In de periode februari - maart 2020 zijn intensieve werkbezoeken bij drie scholen uitgevoerd. De doelen van de werkbezoeken waren als volgt:

- verkrijgen van een accuraat en volledig beeld van de huidige situatie van de school, met focus op gepersonaliseerd leren;
- verkrijgen van een zo accuraat en volledig mogelijk beeld van de toekomstplannen van de school, met focus op gepersonaliseerd leren;
- verkrijgen van inzicht in de onderzoeksvragen die naar voren komen bij het realiseren van het toekomstplan vanuit de huidige situatie;
- verkrijgen van inzicht in de beschikbare data van de school;
- verkrijgen van inzicht welke data eventueel nog mist voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen.

De uitkomsten van deze werkbezoeken zijn hieronder in de vorm van probleembeschrijvingen per school beschreven. Daarnaast zijn op basis van deze probleembeschrijvingen specifieke vervolgonderzoeksvragen geformuleerd die in de ontwerpstudie centraal zullen staan.

2.1 Observaties Kennemer College (mavo)

Het werkbezoek aan het Kennemer College (Mavo) heeft plaatsgevonden op 24 en 25 februari 2020. Gesprekken zijn gevoerd met de directie, de projectleider gepersonaliseerd leren, de roostermakers, docenten van verschillende vakken (wiskunde, aardrijkskunde, geschiedenis, lichamelijke opvoeding, Engels en Spaans) en een aantal leerlingen (uit leerjaren 2 en 4).

Beschrijving huidige situatie

Het *gebouw* van het Kennemer College (mavo) laat zich als volgt beschrijven. Het gebouw heeft drie verdiepingen waarvan de begane grond en de derde verdieping deels zijn verbouwd. Op die verdiepingen zijn er open lokalen met glazen wanden. Op de eerste en tweede verdieping zijn er dichten lokalen met stenen muren. De gangen zijn breed en er is een plein tussen lokalen. Studieplekken zijn gemaakt in het midden van de gang.

Elk jaar wordt een *rooster* gemaakt waarbij elke week hetzelfde is. Bij het roosteren worden parallelsessies gefaciliteerd, of te wel er wordt naar gestreefd om klassen uit hetzelfde leerjaar op hetzelfde moment hetzelfde vak aan te bieden. Daarnaast is voor bepaalde vakken van belang om ze in blokken van twee lesuren aan te bieden. Het eerste uur wordt vrijgehouden voor de dagstart en er kunnen dan geen lessen worden gepland.

De docent bepaalt per *les* de invulling en of het een instructie- of werkles betreft. Als een leerling de les niet nuttig vindt of denkt dat de tijd beter kan worden besteed aan iets anders, dan kan de leerling dit aangeven bij de docent. De docent bepaalt vervolgens of de leerling de les moet volgen of zelfstandig mag werken in het lokaal of op de studiehoeve. Als lessen samenvallen kunnen parallelsessies worden gehouden. In dat geval bespreken de docenten onderling hoe de verschillende groepen worden ingedeeld. Op het moment van het schoolbezoek werd dit alleen door de docenten Nederlands gedaan.

De *begeleiding* van de leerlingen in het gepersonaliseerd leren wordt als volgt gedaan. Voor de onderbouw is er een dagelijkse dagstart van 20 minuten in een vaste groep. Bovenbouw leerlingen hebben een paar keer per week een dagstart van 40 minuten. Een wekelijks coachgesprek wordt gepland

tussen coach en leerling. Leerlingen kunnen hun ambities in die gesprekken kenbaar maken en dan kan op individueel niveau worden gekeken hoe daarmee om te gaan. In daaropvolgende gesprekken wordt dit vervolgens geëvalueerd.

Een *leerweg* van een leerling begint op mavo/havo niveau. Dit betekent opdrachten op mavo niveau en verdiepende en verbredende opdrachten op havo niveau. Een leerling ontvangt voor elke toets twee cijfers, namelijk een mavo en een havo cijfer. Tijdens de wekelijkse coachgesprekken en per periode tijdens oudergesprekken worden de cijfers besproken. Als het havo niveau voor een bepaald vak te moeilijk blijkt dan maakt de leerling voor dat specifieke vak alleen nog de mavo-opdrachten en krijgt daar dan alleen nog het mavo cijfer voor.

Aan het begin van 3 mavo maakt de leerling een keuze voor zijn/haar *vakkenpakket*. Hierbij kan de leerling kiezen voor een verzwaarde leerweg door of te wel de theoretische kant of de praktische kant met extra vakken op de praktijkschool te kiezen. Als een leerling een vak versneld wil afronden, dan wordt daarvoor een individueel plan opgesteld en worden onderlinge afspraken gemaakt tussen de leerling, de coach, de docent(en) en de ouders. In het rooster wordt geen rekening gehouden met deze individuele plannen.

Beschrijving komend schooljaar

Per september 2020 wil het Kennemer College (Mavo) leerlingen keuzes bieden in het rooster. Het jaarlijkse rooster met vaste klassen blijft behouden. Dagen zullen worden opgedeeld in blokken. In *blok 1* worden het coachingsmoment, dagstart en eventuele ondersteunende lessen gepland. In *blok 2* worden verplichte lessen met een klas gepland via een vast rooster. In *blok 3* worden keuzewerktijdmomenten gepland door het aanbieden van verschillende lessen tegelijkertijd. Een leerling kiest één keer per week tijdens het coachingsgesprek welke vakken hij/zij de komende week gaat volgen.

2.2 Observaties Picasso Lyceum

Het werkbezoek aan het Picasso Lyceum heeft plaatsgevonden op 3 en 4 maart 2020. Gesprekken hebben plaatsgevonden met de rector, de conrectoren, de roostermaker, de verantwoordelijke voor de personeelsplanning en een docent.

Beschrijving huidige situatie

Het *gebouw* van het Picasso Lyceum bestaat uit een begane grond, eerste en tweede verdieping. Het gebouw is opgedeeld in domeinen (talen, bèta, etc.) die elk een set van lokalen en een domeinplein hebben. Het domeinplein is voorzien van studieplekken. De lokalen zijn dicht met stenen muren en hebben volgens de roostersoftware een capaciteit van 30 leerlingen. Als het lokaal kleiner is dan 30 plekken dan wordt er ook plek op het domeinplein gereserveerd voor de les die in dat lokaal plaatsvindt.

Het Picasso Lyceum gebruikt een *rooster* dat jaarlijks wordt vastgesteld en wisselt in de oneven en even weken. Deze wisseling komt door het vak lichamelijke oefening, dit wordt namelijk de ene week twee uur en de andere week vier uur aangeboden, omdat het in blokken gegeven moet worden.

Het rooster geeft alleen aan dat er een lesactiviteit is. De docent bepaalt de invulling van de *les* en of dit een instructie-, werkles of een combinatie daarvan is. Het domeinplein kan voor de les worden gebruikt door de docent voor een deel van of voor alle leerlingen.

De leerlingen worden als volgt *begeleid* bij het gepersonaliseerd leren. Elke leerling heeft een wekelijks coachmoment van 15 minuten. Een aantal keer per week is er een dagstart en een dagafsluiting van 30 minuten met de gehele klas. In de eerste klas is dit vier keer per week, in de tweede klas drie keer per week, in de derde klas twee keer per week en één keer per week in de bovenbouw.

De *leerweg* van een leerling sluit aan bij mavo/havo/vwo groepen. Elke leerling wordt ingedeeld bij een stamgroep van ongeveer 60 leerlingen. Elke stamgroep is onderverdeeld in twee basisgroepen. De praktijkvakken (lichamelijke opvoeding, muziek, ...) worden gevolgd met de basisgroep. Voor de theorievakken geldt dat de stamgroep wordt verdeeld in een A en een B-groep. Deze indeling wordt gemaakt op basis van het niveau waarop de leerling het vak volgt zodat elke leerling per vak de les op zijn/haar eigen niveau kan volgen. In een wekelijks evaluatiemoment wordt gekeken of de leerling nog in de juiste groep zit voor elk van de vakken. Per stamgroep worden de A en B lessen op hetzelfde moment gepland, zodat er geen complicaties in het rooster optreden als een leerling wisselt van groep.

In de bovenbouw is er geen verschil in A en B groepen, maar zijn er mavo, havo en vwo klassen met mentoren in plaats van coaches. Een leerling maakt de keuze voor zijn/haar pakket aan het einde van de tweede klas voor de mavo, en aan het einde van de derde klas voor havo en vwo. Er wordt rekening gehouden met ambities voor leerlingen als zij/hij een extra vak kiest. Elke leerling mag één extra vak laten inroosteren, meer dan 50% van de leerlingen doet dit. Een leerling heeft de mogelijkheid om vakken versneld of verzaamd te volgen, bijvoorbeeld op het niveau van 4 havo terwijl hij/zij in 3 havo zit of op het niveau van 4 vwo als hij/zij in 4 havo zit. Deze optie wordt ook vaak toegepast als leerlingen doubleren; ze gaan dan verder met vakken die goed gingen en vakken die ze moeilijk vonden worden opnieuw of op een lager niveau gedaan.

Beschrijving komend schooljaar

Het rooster zal worden ontworpen voor een jaar opgebouwd uit een rooster voor een aantal weken dat steeds wordt herhaald. Door bezuinigingen wordt een vak van vier uur bijvoorbeeld 3,3 uur per week aangeboden aan elke leerling. Dit kan dan worden vormgegeven door dat vak per docent twee weken lang drie uur per week aan te bieden en dan in de derde week met vier uur. Op die manier wordt er met een terugkerende cyclus van drie weken gemiddeld 3,3 uur per week aangeboden.

In elk leerjaar zullen *keuzewerktijdmomenten* worden aangeboden. Vaste en keuzewerktijduren worden door elkaar heen aangeboden. Het aantal uur per vak staat vast waarvan een aantal uur in de keuzewerktijdmomenten zullen vallen. De verdeling tussen het aantal vaste en het aantal keuzewerktijduren per week per vak wordt extern bepaald. Het eerste lesuur van elke dag voor elk leerjaar wordt gebruikt voor de dagstart. Het laatste lesuur van elke dag voor elk leerjaar wordt gebruikt voor de dagsluit.

In elk leerjaar krijgt een leerling een *coach* en zullen er geen mentoren voor klassen meer zijn. In het rooster zullen er *geen tussenuren* meer zijn. Elk lesuur wordt gebruikt voor een lesactiviteit. Dit kan zijn een les van een vakdocent, zelfstudie op de domeinruimte, het maken van een groepsopdracht etc. Op de domeinpleinen zullen altijd onderwijsassistenten aanwezig zijn.

2.3 Observaties Mariëndael

Het werkbezoek aan Mariëndael heeft plaatsgevonden op 9, 10, 11 en 13 maart 2020. Gesprekken zijn gevoerd met de directeur, de roostermaker, verschillende teamleiders, docenten en leerlingen uit de jaren 1 tot en met 5.

Beschrijving huidige situatie

Het *gebouw* wordt momenteel verbouwd. Er is een begane grond, eerste en tweede verdieping. Op de begane grond zijn er 39 ruimtes, een gang met kantoren en de aula. Op de eerste verdieping zijn er 39 ruimtes. Op de tweede verdieping zijn er 11 ruimtes. De lokalen hebben (deels) glazen wanden. Op de gangen zijn nisjes waar leerlingen kunnen werken.

In het *rooster* staat een dagstart voor alle leerlingen gepland om 8:40u. De dag eindigt voor iedere leerling om 14:30u. Iedere leerling heeft 35 lesmomenten per week. Alleen in de bovenbouw is er af

en toe een tussenuur. Vaste en keuzewerktijduren staan door elkaar in het rooster. In de onderbouw worden vakken deels in keuzewerktijduren aangeboden. Het roosterprogramma krijgt dit mee als input. In de bovenbouw worden de vaste uren eerst in het rooster gezet. De keuzewerktijduren vullen de 'gaten' in het rooster. Beschikbare docenten worden dan ingezet om de keuzewerktijduren in te vullen. Leerlingen kunnen zich tot 15:00u inschrijven voor *keuzewerktijduren* die voor de volgende dag staan gepland. Als een les vol zit, verdwijnt deze uit de keuzemogelijkheden: leerlingen kunnen dan niet aangeven dat ze deze les liever hadden gekozen. Als een leerling zich vergeet in te schrijven, dan wordt de leerling automatisch door het systeem ingedeeld voor een vak dat hij/zij in zijn/haar pakket heeft. Het systeem zorgt daarbij voor verspreiding van deze leerlingen over de verschillende vakken. Alle vakken worden door elkaar heen aangeboden, zo kan bijvoorbeeld de keuze tussen wiskunde en lichamelijke opvoeding worden gemaakt.

Een docent geeft zelf invulling aan een *les* tijdens een *vast* uur. Het is afhankelijk van de samenstelling van de groep of een docent klassikaal kan lesgeven. De docent kan ook groepjes van leerlingen vormen, en deze leerlingen apart langsgaan of leerlingen het aan elkaar laten uitleggen. Tijdens een *keuzewerktijduur* loopt de docent langs de leerlingen om te inventariseren wat de leervragen zijn, om vervolgens vragen te beantwoorden en specifieke dingen uit te leggen. Soms is er een docentgestuurd keuzewerktijduur om een bepaald onderdeel te bespreken. Dit is een mondeling afspraak en niet terug te zien in het systeem waar leerlingen hun keuzes aangeven.

Leerlingen worden als volgt *begeleid* bij het gepersonaliseerd leren. Elke dag is er een dagstart met de mentorklas en wordt gekeken of het dagrooster duidelijk is, worden plannings besproken etc. Elke leerling heeft een wekelijks coachgesprek van 15 minuten dat tijdens een lesuur wordt gepland. In dat gesprek worden de voortgang en motivatie voor gemaakte keuzes in de keuzewerktijd besproken. Leerlingen kunnen ook tussendoor bij de coach of mentor terecht.

De *leerweg* van een leerling start bij de aanmelding bij de school. Onderwijsspecialisten kijken of de leerling past bij deze school voor speciaal onderwijs en er volgt een oriëntatiegesprek met de leerling. De commissie van plaatsing wijst vervolgens de leerling toe aan een klas. Een leerling volgt lessen met de klas en kan zelf aangeven wanneer hij/zij klaar is voor een toetsmoment. In het voorexamenjaar kan een leerling al examen doen in bepaalde vakken. De resterende vakken worden dan in het examenjaar gedaan.

Beschrijving komend schooljaar

Komend jaar zullen in het *rooster* eerst de keuzewerktijden worden ingeroosterd en daarna de vaste uren. Keuze tussen vakken wordt gemaakt vanuit een visie op welk aanbod nodig is in plaats van op basis van beschikbaarheid. Modules (zoals lichamelijke opvoeding en cultuur) en leervakken worden gespreid over twee soorten keuzewerktijduren. Leerlingen kunnen zich voor modules voor langere tijd inschrijven zodat ze zes weken aan hetzelfde kunnen werken. Docenten en leerlingen kunnen doelen van de les aangeven in de keuzewerktijduren. Tussenuren vinden niet meer plaats, maar leerlingen werken dan op domeinpleinen onder begeleiding van onderwijsassistenten.

2.4 Overgang naar keuzewerktijduren: welke beslissingen

Voor alle drie de scholen geldt dat ze komend jaar een verdere stap maken naar gepersonaliseerd leren door (verdere) invoering van keuzewerktijduren. Voor alle drie de scholen komt de volgende vraag naar voren in de overgang van het huidige naar het volgend schooljaar:

Hoe zorg je dat elke leerling op elk moment op de juiste plek zit (bij de juiste docent, lokaal, lesmethode, niveau, onderwerp, etc.)?

De *juiste plek* betekent in dit geval de plek die het beste aansluit op de behoeftes van elke leerling op dat moment.

Om deze vraag goed te kunnen beantwoorden, is het nodig om een antwoord te vinden op vragen als:

- Hoe bepaal je welke vakken je tegelijk aanbiedt tijdens een keuzewerktijd uur?
- Hoe bepaal je welke leerlingen je tegelijkertijd een keuzewerk uur aanbiedt?
- Hoeveel uur per vak wordt in keuzewerktijden aangeboden?
- Wat betekent dit voor je personeelsplanning?

Deze vragen hebben duidelijke raakvlakken met elkaar. Het doel van al deze vragen is om zo goed mogelijk te voldoen aan leerbehoeftes van leerlingen. Of te wel om het aanbod te laten bepalen door de leervragen die er zijn.

2.5 Beschikbare data

Op alle drie de scholen is een inventarisatie gemaakt welke data beschikbaar zijn die kunnen helpen bij het maken van beslissingen rondom het aanbieden van keuzewerktijden en het beantwoorden van de in de vorige paragraaf geschetste vragen.

Tabel 1 geeft een overzicht van welke data beschikbaar is binnen de verschillende scholen. Op basis van de gegevens in deze tabel concluderen we dat informatie over keuzegedrag van leerlingen slechts in één van de drie scholen aanwezig is. Daarnaast wordt ook duidelijk dat het niet mogelijk is om de originele keuzes van leerlingen te herleiden. Namelijk, als een bepaald vak vol is in een keuzewerktijd uur, dan kan een leerling dit vak niet meer kiezen. Hierdoor is niet te bepalen of de gemaakte keuzes van een leerling één-op-één corresponderen met de eerste voorkeuren.

Tabel 1: Beschikbaarheid Data.

Benodigde Data	Picasso Lyceum	Kennemer College (Mavo)	Mariëndael
Niveau/stroming leerlingen	ja	ja	ja
Pakketkeuzes leerlingen	ja	ja	ja
Lessentabel	ja	ja	ja
Type en capaciteit per flexles	ja	ja	ja
Clustering leerlingen in klassen	ja	ja	ja
Klassen per flexuur	ja	ja	ja
Inschrijvingen leerlingen voor flexuur	nee	nee	ja
Aantal flexuren per dag	nee	nee	ja
Aangeboden keuzes per flexuur	nee	nee	ja
Ingeschreven of automatisch ingedeeld	nee	nee	ja
Motivatie keuzes leerlingen	nee	nee	nee
Lesdoel docent keuzeur	nee	nee	nee
Eerste voorkeur leerlingen ongeacht of flexuur vol is	nee	nee	nee

2.6 Conclusies

Op basis van de in dit hoofdstuk besproken observaties in de drie scholen uit het Zo.Leer.Ik!-netwerk gedurende de eerste zes weken van het project, is duidelijk geworden dat het nodig is om een aanvullende deelvraag te stellen naast de drie reeds geformuleerde praktijkvragen. Namelijk, hoeveel uur van elk vak bieden we per week aan tijdens flexuren/keuzewerktijden en in welke combinaties van vakken doen we dit om aan de leerbehoefte van elke leerling te kunnen voldoen.

3 Wijziging onderzoeksopzet door COVID-19

In deze paragraaf beschrijven we de wijzigingen in de onderzoeksopzet zoals opgenomen in het wijzigingsverzoek dat begin april 2020 is ingediend bij het Nationaal Regieorgaan Onderwijsonderzoek (NRO). De wijzigingen zijn akkoord bevonden.

Door de ontwikkelingen rondom het COVID-19 virus en de daaropvolgende maatregelen van de overheid rondom onder andere het fysiek sluiten van schoolgebouwen, was het niet meer mogelijk voor de onderzoekers en vertegenwoordigers van de scholen om het onderzoek op de geplande manier door te laten gaan. Namelijk, in de oorspronkelijke opzet zou in fase 1 een intensieve ontwerpstudie in één van de scholen inclusief dataverzameling worden uitgevoerd. In fase 3 zou de validatiefase van de ontwikkelde concepten met andere scholen worden uitgevoerd. De bijbehorende activiteiten (observaties, gesprekken, discussiesessies en dataverzameling) bleken niet mogelijk. In onderlinge afstemming tussen de praktijk- en onderzoekspartners is een nieuw plan geformuleerd. Belangrijke input daarvoor waren de uitkomsten zoals beschreven in hoofdstuk 2 van dit rapport.

In het wijzigingsverzoek was sprake van twee mogelijke scenario's, namelijk 1) dat tegen de zomer als nog activiteiten als dataverzameling en expertsessies in de scholen deels mogelijk zijn en 2) dat de maatregelen of gevolgen naar aanleiding van de maatregelen langer duren dan de aanstellingsperiode van de junior onderzoekers. Scenario 2 bleek het geval te zijn. Om die reden bespreken we in dit rapport alleen dat scenario.

Hieronder beschrijven we de gewijzigde invulling van de verschillende fases:

Activiteiten Fase 1

- Observaties en probleembeschrijvingen in drie scholen uit het netwerk om te komen tot definitie ontwerp van het project (zie hoofdstuk 2).
- Het origineel geplande traject van dataverzameling dat oorspronkelijk bij deze fase 1 hoorde, hebben we moeten afbreken door de maatregelen. Daarom is er voor gekozen om te werken met numerieke data die zijn gebaseerd op in eerdere projecten verzamelde data en expertschattingen voor het type data waarvoor geen gegevens beschikbaar zijn en die momenteel niet kunnen worden verzameld (zie hoofdstuk 4).

Activiteiten Fase 2

- Ontwikkelen van een tool voor het doen van scenariostudies voor het bepalen van de frequentie waarmee vakken worden aangeboden in keuzewerktijdduren en in welke combinaties van vakken gegeven leervragen (zie hoofdstuk 2.4). De constructie van de tool wordt gedaan via een continu proces feedback-loops tussen de vertegenwoordiger van het Zo.Leer.Ik! netwerk en onderzoekers om onderzoek en praktijk continu op elkaar af te stemmen.
- Validatie en het doen van experimenten met de tool met de numerieke data (zie fase 1).
- Ontwikkelen van besturingsregels voor het clusteren leervragen en toewijzen docenten.
- Ontwikkelen van een methode om de vertaalslag te maken van aanbod naar benodigde hoeveelheid personeel.

In hoofdstuk 5 beschrijven we de uitkomsten van deze fase.

Activiteiten Fase 3

Deze fase is grotendeels gebaseerd op de originele fase 4a zoals beschreven in hoofdstuk 1. Daaraan wordt toegevoegd een uitgebreid proces van verificatie en validatie van het generieke simulatiemodel. In hoofdstuk 6 bespreken we de uitkomsten van deze fase.

Activiteiten Fase 4

Deze fase is grotendeels gebaseerd op de originele fase 4b (zie hoofdstuk 1). Echter, er zal sprake zijn van numerieke validatie en experimenten met numerieke data gebaseerd op schattingen vanuit de praktijk. Op basis hiervan kunnen algemene uitspraken worden gedaan over de bruikbaarheid van de tool voor het plannen van keuzewerktijdduren en het generieke simulatiemodel voor scholen. Op een later moment kunnen de scholen de tool gebruiken voor het bepalen van specifieke resultaten voor hun school. De resultaten van de experimenten met zowel de tool voor de keuzewerktijdduren als met het generieke simulatiemodel worden besproken in hoofdstuk 7.

In een eindpresentatie zijn de resultaten gedeeld met de directies van de drie scholen. De inzichten uit die sessie gecombineerd met de opgedane inzichten van de onderzoekers vormen de basis voor de suggesties voor vervolgonderzoek in hoofdstuk 8.

4 Fase 1: Beschrijving data

Zoals genoemd is door COVID-19 het origineel geplande traject van dataverzameling niet mogelijk. In plaats daarvan werken we met twee type data:

1. data die zijn verzameld in eerdere projecten;
2. expertschattingen voor het type data waarvoor geen gegevens beschikbaar zijn uit eerdere projecten en die tijdens het project door genoemde omstandigheden niet konden worden verzameld.

Voor alle onder punt [2] bedoelde ontbrekende data zoals leersnelheden van leerlingen, leervragen, etc. heeft Wim Kokx in eerste instantie als expert input aan de onderzoekers geleverd. Met een korte survey over wensen rondom keuzewerktijdroosters zijn aanvullende expertschattingen verzameld bij de scholen (zie hoofdstuk 5).

Data uit eerdere projecten

We hebben gebruik gemaakt van data die binnen het Zo.Leer.Ik!-netwerk zijn verzameld in eerdere onderzoekersprojecten in de periode 2015-2017. In die periode zijn data verzameld bij het Picasso Lyceum en Het Lyceum Vos. Het Picasso Lyceum is ook één van de drie participerende scholen in dit onderzoek (zie hoofdstuk 2). De kenmerken van de data van het Picasso Lyceum zijn naar verwachting ongewijzigd gebleven. De data betreffen namelijk fysieke kenmerken zoals lokalen, (oude) beschikbaarheid van docenten, lessentabellen en lesroosters. Deze data zijn vooral gebruikt voor de experimenten in hoofdstuk 6.

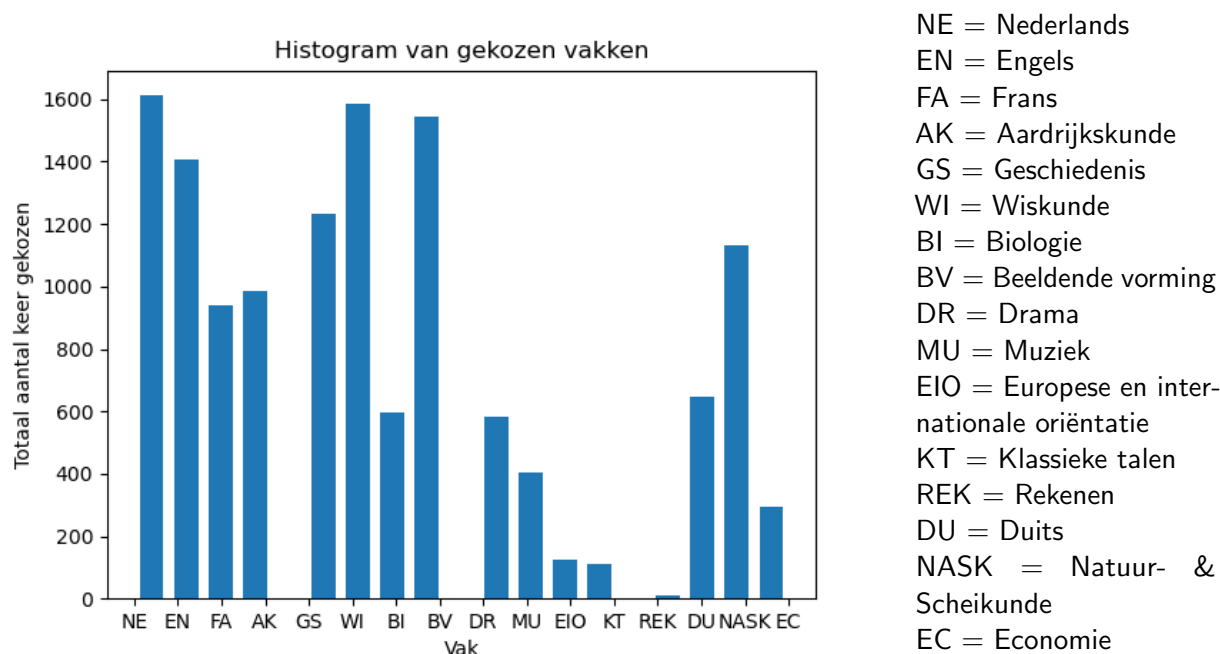
Daarnaast hebben we van Het Lyceum Vos een dataset met de vraag naar keuzewerktijduren. Deze data zijn verzameld tijdens een pilot van twee weken die in de onderbouw (jaren 1-3) is uitgevoerd in het schooljaar 2015-2016. Gedurende deze pilot hadden de leerlingen een rooster dat volledig bestond uit keuzewerktijdmomenten. Voor elk leerjaar was er een apart rooster. Leerlingen hadden de keuze uit 2, 3 of 4 vakken per moment. Het betreft data van 135 leerlingen uit jaar 1, 130 leerlingen uit jaar 2 en 94 leerlingen uit jaar 3. De data bestaan uit:

1. keuzewerktijdrooster met daarin een overzicht van alle vakken die op elk moment werden aangeboden aan elk van de leerjaren
2. inschrijvingen van leerlingen voor vakken waarbij de leerlingen konden kiezen uit vakken die op het moment van het maken van de keuze nog niet vol waren.

Als een leerling zich nergens voor in heeft geschreven op een bepaald moment, is hier geen data over beschikbaar. We kunnen dan dus niet zien wat deze leerling op dat moment gedaan heeft. Gedurende de twee pilotweken hadden de leerlingen zich gemiddeld voor 80% van de momenten ingeschreven. Van het aantal inschrijvingen per student is een verdeling gemaakt van het percentage van inschrijvingen ten opzichte van het totaal aantal momenten. Deze verdeling is gebruikt om te bepalen hoeveel vragen een leerling heeft, gegeven het aantal keuzemomenten dat wordt aangeboden.

Deze data zijn voldoende voor de testfase van de te ontwikkelen tool om daarbij de validatie van de tool te kunnen uitvoeren (zie hoofdstuk 5). Daarvoor hebben we een empirische distributie opgesteld om leervragen van leerlingen weer te geven. We gebruiken de onder [2] genoemde data als schatting voor de werkelijke onderliggende leervraag. Een leervraag is gedefinieerd als het vragen om de mogelijkheid om gedurende een keuzewerktijduur het bijbehorende vak te kunnen volgen. We gaan er daarbij vanuit dat in één keuzewerktijduur, de leerling precies genoeg tijd krijgt om zijn/haar vraag voor dat vak beantwoord te krijgen. Dit betekent niet persé dat deze leerling het volledige keuzewerktijduur nodig heeft om zijn/haar vraag beantwoord te krijgen, maar dat de aandacht die de docent tijdens dat lesuur

aan de leerling kan besteden voldoende is. Een leerling heeft een aantal vragen voor bepaalde vakken per week. De leerling kan ook meerdere vragen voor hetzelfde vak hebben. In Figuur 1 geven we de empirische verdeling weer.

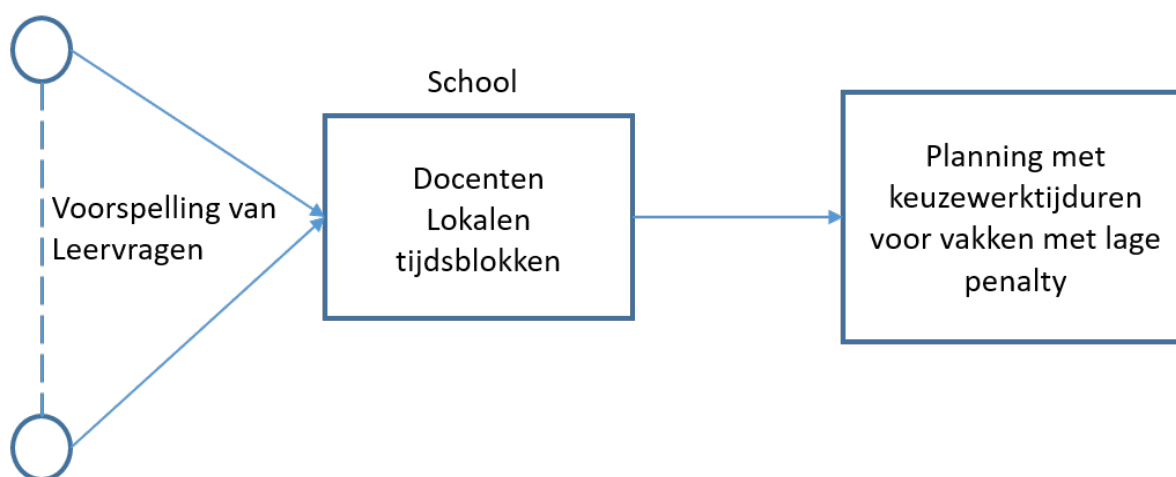


Figuur 1: Empirische distributie van vraag leerlingen

5 Fase 2: Tool voor plannen keuzewerktijduren

In Fase 2 van het onderzoek is gewerkt aan het ontwikkelen van een tool voor het plannen van keuzewerktijduren. Belangrijke input hiervoor zijn voorspellingen van leervragen van leerlingen. Deze voorspellingen kunnen worden gemaakt op basis van historische data. Met plannen bedoelen we in dit geval het bepalen van welke vakken in een combinatie tegelijkertijd met elkaar worden aangeboden om zo te kunnen voldoen aan leervragen van leerlingen. Bij het maken van de planning is er een maximaal aantal lessen dat in totaal kan worden aangeboden, om zo rekening te houden met het totaal beschikbare aantal fte. Een school kan deze combinaties vervolgens alloceren aan specifieke tijdsslots, aan lokalen en aan docenten. In Figuur 2 geven we het plannen van keuzewerktijduren schematisch weer.

Leerlingen



Figuur 2: Plannen van keuzewerktijduren

Deze tool kan ondersteunen bij het nemen van de praktijkbeslissingen zoals geformuleerd in hoofdstuk 2.4 en hieronder kort samengevat.

Hoe zorg je dat elke leerling op elk moment op de juiste plek zit (bij de juiste docent, lokaal, lesmethode, niveau, onderwerp,...)?

Juist betekent in dit geval dat het aansluit op de leerbehoeftes van de leerling op dat moment.

De volgende twee subvragen worden via kwantitatief analytisch onderzoek (zie volgende paragraaf) onderzocht.

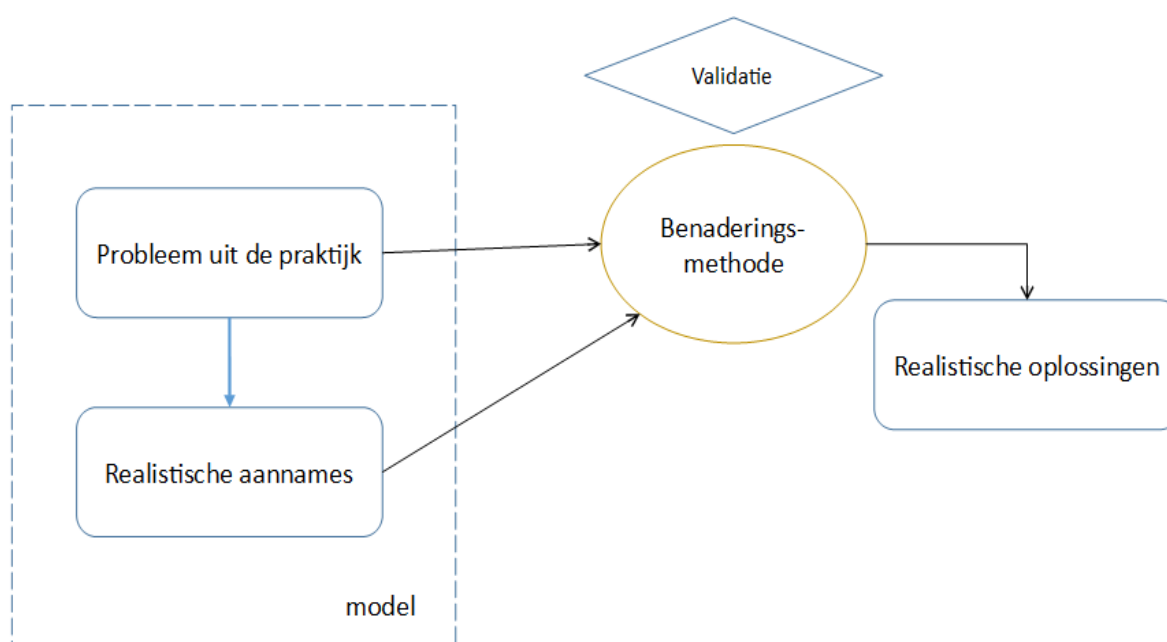
- Hoe bepaal je welke vakken je tegelijk aanbiedt tijdens een keuzewerktijduur?
- Hoe bepaal je hoeveel uur per week je een vak aanbiedt in een keuzewerktijduur?

Beide vragen zijn belangrijk bij het plannen van keuzewerktijduren. Een antwoord op beide vragen is dus van belang voor het functioneren van de keuzemomenten op operationeel niveau. De tweede vraag heeft echter ook een structurele component. Het aantal uur dat per vak aangeboden wordt tijdens de keuzemomenten heeft namelijk direct invloed op het aantal docenten dat er per vak nodig is voor het komende jaar. Het beantwoorden van deze vraag is dus van belang voor het kunnen vaststellen van de personeelsplanning voor het komende jaar.

5.1 Methodologie

In het ontwerpen van een tool voor het plannen van keuzewerktijdduren kiezen we voor een kwantitatieve analytische opzet van het onderzoek. In Figuur 3 tonen we schematisch de gevolgde stappen om te komen tot de tool.

Op basis van de probleembeschrijvingen van het praktijkprobleem uit hoofdstuk 2 is een wiskundige beschrijving gemaakt (zie paragraaf 5.2). Doordat in de tool rekening wordt gehouden met leervragen van individuele leerlingen is het noodzakelijk om een grote hoeveelheid van mogelijke oplossingen te bekijken voordat een goede oplossing wordt gevonden. Hoe meer leerlingen, hoe complexer het probleem en hoe langer de rekestijden. Om die reden is gekozen voor een benaderingsmethode (i.e., heuristiek) en niet voor een optimale methode. De gevonden oplossing is dus niet dé optimale oplossing. Maar met de benaderingsmethode zoeken we naar het rooster met een zeer goede score voor de vraag of elke leerling op elk moment op de juiste plek zit. We proberen de heuristiek zo te ontwerpen dat deze score dicht tegen de optimale situatie aanligt. In paragraaf 5.3 beschrijven we het ontwerp van de heuristiek. Door middel van experimenten met numerieke data (zie hoofdstuk 4) laten we zien dat met de heuristiek realistische en goede oplossingen kunnen worden verkregen.



Figuur 3: Methodiek (gebaseerd op [10])

5.2 Modelbeschrijving

De probleemdefinitie is vertaald naar een modelbeschrijving bestaande uit benodigde input (i.e., parameters), randvoorwaarden, beslissingsvariabelen en een prestatie maat. We bespreken deze onderdelen hieronder.

Input en randvoorwaarden

Om de tool te kunnen gebruiken is het van belang om vooraf gegevens te verzamelen, een aantal keuzes te maken en randvoorwaarden te definiëren. Met randvoorwaarden bedoelen we eisen waaraan de planning moet voldoen zodat deze toelaatbaar is binnen de kaders die door de school zijn gesteld. Deze input kan als volgt worden samengevat:

- historische data over leervragen voor vakken van individuele leerlingen;
- samenstelling van groepen van leerlingen om per groep een planning te maken;
- periode waarvoor een planning wordt gemaakt;
- maximale aantal lessen dat in totaal kan worden aangeboden in de keuzewerkijduren;
- aantal momenten waarop keuzewerkijduren worden aangeboden;
- eventuele randvoorwaarden omtrent het aantal vakken dat tegelijkertijd kan worden aangeboden;
- randvoorwaarden omtrent het aantal leerlingen dat tegelijkertijd een les van een bepaald vak kan volgen.

Op basis van de *historische data* over leervragen van individuele leerlingen kunnen voorspellingen worden gedaan over toekomstige leervragen. Deze schattingen worden per leerling gedaan en gebruikt in de tool om zo ook rekening te kunnen houden met mogelijke relaties tussen vraagpatronen over verschillende vakken heen. Bijvoorbeeld: komen vragen voor Frans vaak samen met vragen voor Duits? Hoe meer leerlingen dezelfde vraag hebben, hoe belangrijker het wordt om in de planning lesactiviteiten voor dat vak op te nemen. Dit zal worden vertaald naar de kwaliteitsmaat hieronder.

Verschillende *groepen* van leerlingen kunnen een verschillende planning van keuzewerkijduren hebben. Dit kan bijvoorbeeld per leerjaar. Maar de keuze kan ook worden gemaakt om meerdere leerjaren te combineren, of binnen een leerjaar meerdere opleidingsniveaus te combineren. De samenstelling van groepen wordt door de school vooraf bepaald. De tool kan met deze verschillende mogelijkheden omgaan. Daarom spreken we hieronder over groepen leerlingen met dezelfde planning van keuzewerkijduren zonder daarmee te bedoelen dat dit om een specifiek leerjaar gaat.

De voorspellingen worden voor een bepaalde *periode* gedaan. Bijvoorbeeld voor een dag, week of maand. Dit is afhankelijk van de keuze die de school maakt voor de periode waarvoor een planning wordt gemaakt. Hoe korter de planning hoe vaker aanpassingen in de combinaties van keuzewerkijduren kan worden gedaan. Hierdoor kan flexibeler worden ingespeeld op veranderingen in de vraag van leerlingen. Een langere planning kan meer duidelijkheid geven wat de komende periode te verwachten. Het is aan de school om hierin een keuze te maken. Met de tool kan worden geanalyseerd wat het effect is van het veranderen van de lengte van de periode.

Ook is het van belang om helder te hebben wat het *maximale aantal lessen* is dat in totaal kan worden aangeboden in de keuzewerkijduren in een bepaalde periode. Dit aantal lessen wordt bepaald door de totaal beschikbare capaciteit in fte (of te wel het budget). Door dit onafhankelijk van het aantal vakken te doen, kan ook worden geanalyseerd wat de meest effectieve verdeling van de beschikbare fte over de verschillende vakken is.

Als de periode is gedefinieerd waarvoor de planning wordt bepaald, is de volgende stap om het *aantal*

momenten waarop keuzewerktijduren worden aangeboden, vast te stellen. De tool zal dan voor elk van deze momenten met een combinatie van vakken komen die samen de planning van de keuzewerktijduren maken.

Een randvoorwaarde is om te bepalen of op voorhand aan de tool wordt meegegeven of er een maximaal aantal vakken is dat *tegelijktijd* mag worden aangeboden op een bepaald moment. De keuze kan ook worden gemaakt om dit geheel vrij te laten en tool de meest effectieve indeling van het gedefinieerde maximale aantal lessen te laten bepalen over de verschillende momenten. Bijvoorbeeld, in een planning met drie momenten kan een school aangeven dat er op elk moment exact drie vakken moeten worden aangeboden en dat dit niet mag variëren. Het alternatief is om aan te geven dat er maximaal 9 lessen kunnen worden aangeboden en het daarbij aan de tool laten om de verdeling over de drie momenten te bepalen.

Als laatste specificeert een gebruiker per vak of er *een maximaal aantal leerlingen* is dat tegelijkertijd een les kan volgen. Als er meer leerlingen zijn met dezelfde vraag, dan betekent dit automatisch dat het nuttig kan zijn om een vak meerdere keren aan te bieden.

Beslissingsvariabelen

De beslissingsvariabelen geven aan voor welke aspecten de tool een besluit neemt op een zodanige manier dat aan alle randvoorwaarden wordt voldaan en een goede prestatie wordt gerealiseerd. De definitie van een goede prestatie wordt hieronder gegeven. De tool werkt voor elke groep toe naar het vinden van combinaties van vakken voor de verschillende momenten waarop keuzewerktijduren zijn gepland in de school. Het is vervolgens aan de gebruiker om het exacte moment te kiezen waarop deze combinatie wordt aangeboden, en docenten en lokalen te alloceren aan de verschillende vakken. Specifiek zijn de beslissingsvariabelen te beschrijven als:

- Welke vakken maken een combinatie die op hetzelfde moment worden gepland?
- Hoe vaak bieden we een vak aan in de keuzewerktijduren in een bepaalde periode?

Het antwoord op deze vragen geeft een set van vakken die een combinatie vormen. Zie bijvoorbeeld een planning van keuzewerktijduren voor een school die op vijf momenten keuzewerktijduren wil aanbieden met maximaal 20 lessen. Tabel 2 geeft een antwoord op de beslissingsvariabelen die hierboven zijn beschreven. Namelijk in elke kolom staan de vakken die samen een combinatie vormen op bepaald moment. Aan elke combinatie wordt *zelfstudie* toegevoegd, om er zo voor te zorgen dat leerlingen die geen plek kunnen krijgen in een van de aangeboden lessen, zelfstudieactiviteiten kunnen uitvoeren voor een zelfgekozen vak. In de planning zien we hoe vaak een vak wordt aangeboden. Zo wordt bijvoorbeeld Wiskunde drie keer aangeboden.

Tabel 2: Voorbeeld van een planning van keuzewerktijduren voor een willekeurige groep.

	Combinatie 1	Combinatie 2	Combinatie 3	Combinatie 4	Combinatie 5
Willekeurige groep	Biologie	Geschiedenis	Engels	Frans	Duits
	Rekenen	Wiskunde	Geschiedenis	Duits	Frans
	Biologie	Rekenen	Nederlands	Wiskunde	Klassieke Talen
	Nederlands	Rekenen	Zelfstudie	Zelfstudie	Aardrijkskunde
	Wiskunde	Biologie			Zelfstudie
	Zelfstudie	Zelfstudie			

In dit specifieke geval was er geen randvoorwaarde gespecificeerd dat op elk moment hetzelfde aantal vakken moest worden aangeboden. In de planning in de tabel blijkt dat er twee momenten zijn waarop vijf vakken worden aangeboden, een moment met vier vakken, en twee momenten met drie vakken. Vakken kunnen meerdere keren terugkomen, zelfs binnen één combinatie. Zie bijvoorbeeld het vak

rekenen in combinatie 2. Dit betekent dat er meer dan het maximale aantal leerlingen dat tegelijkertijd een les kan volgen, dezelfde vraag had voor het vak rekenen. De tool maakt de afweging of een vak wel of niet meerdere keren wordt aangeboden op basis van de waarde van de kwaliteitsmaat.

Kwaliteitsmaat

Gegeven een planning met keuzewerktijdduren, willen we iets kunnen zeggen over de mate van effectiviteit van de planning, of te wel in hoeverre de gevonden planning aansluit op de behoefte van de leerlingen. Voor dit doel definiëren we een *penalty* als kwaliteitsmaat, namelijk:

Het gemiddelde van het aantal keer dat een leerling een vraag over een vak had, maar zich hier niet voor in kon schrijven gedurende de gekozen periode (bijv. één week).

Een voorbeeld: neem een planning van keuzewerktijdmomenten voor de komende week. De tool geeft aan dat bij een gegeven vraagpatroon de penalty 1,024 is. Dit betekent dat na een week een leerling gemiddeld genomen 1,024 onbeantwoorde vragen heeft. Het doel is om deze penalty waarde zo laag mogelijk te krijgen. De beste waarde is een penalty van 0, omdat dan leerlingen gemiddeld genomen 0 onbeantwoorde vragen hebben. De tool probeert hier zo dicht mogelijk bij te komen. Om dit te realiseren is het van belang om populaire vakken op te nemen in de planning. Populaire vakken zijn vakken die een grote invloed hebben op de uiteindelijke penalty. In feite heeft elk vak een eigen penalty, die gelijk is aan het aantal leerlingen dat een vraag heeft. Als zo'n vak wordt opgenomen in de planning telt de penalty voor dat deel van de leerlingen dat het vak kan volgen, namelijk niet meer mee in de uiteindelijke penalty van de planning.

5.3 Adaptive Large Neighbourhood Search (ALNS) Heuristiek

De ontwikkelde heuristiek maakt gebruik van een *Adaptive Large Neighbourhood Search (ALNS)* methode om de oplossing te vinden. Dit is een techniek om goede of bijna-optimale oplossingen te vinden door meerdere keren te proberen om een oplossing te transformeren in een nieuwe oplossing die in de *nabijheid* van de vorige oplossing ligt. Met nabijheid wordt bedoeld een oplossing die met een beperkt aantal wijzigingen lijkt op de vorige oplossing. De kunst is om op een slimme manier de juiste wijzigingen aan te brengen om zo de kwaliteit van de oplossing te verbeteren. Deze wijzigingen zijn probleemafhankelijk en worden bij de definitie van de heuristiek geformuleerd, zoals ook hieronder zal gebeuren.

Deze methode is eerder omschreven in [11], waar de methode wordt toegepast om een snelle route tussen verschillende bezorgadressen te vinden. In [12] wordt een generieke beschrijving van de methode gegeven.

De stappen in de ALNS Heuristiek voor het plannen van keuzewerktijdmomenten kunnen als volgt worden beschreven:

1. Start met een oplossing, of te wel een planning van keuzewerktijdmomenten, die aan alle randvoorwaarden voldoet (zie paragraaf 5.2).
2. Bereken voor deze oplossing de waarde van de gemiddelde penalty over alle leerlingen.
3. Formuleer een nieuwe oplossing door het doorvoeren van een aantal wijzigingen met behulp van operators. Denk daarbij aan het wisselen van twee vakken. De operators worden hieronder nader uitgewerkt.
4. Controleer of de nieuwe oplossing aan alle randvoorwaarden voldoet. Anders, vergeet de nieuwe oplossing en ga naar stap 6.
5. Bereken voor de nieuwe oplossing de waarde van de gemiddelde penalty over alle leerlingen. Als deze score lager is dan die van de vorige oplossing, dan wordt de nieuwe oplossing bewaard. Als de score hoger is dan wordt de nieuwe oplossing niet bewaard en gaan we door met de oude oplossing.
6. Herhaal stappen 3-5 totdat het maximale aantal herhalingen (i.e., iteraties) dat vooraf is gedefinieerd, is bereikt. Anders ga naar stap 7.
7. De als laatste bewaarde oplossing uit stap 5 wordt als uiteindelijke oplossing gepresenteerd.

Het aantal iteraties bepaalt de uiteindelijke rekentijd van de heuristiek.

Stap 1: Startoplossing

Een startoplossing heeft de vorm van een planning zoals beschreven in paragraaf 5.2. Dus een set van combinaties van vakken die tegelijkertijd worden aangeboden. In de tool kan de startoplossing op verschillende manieren worden bepaald.

Als eerste kan een gebruiker een *willekeurige startoplossing* meegeven. Deze willekeurige oplossing kan door de tool worden gemaakt of de school kan ervoor kiezen om de huidige planning van keuzewerktijdmomenten mee te geven. De tool maakt een willekeurige startoplossing door het maximale aantal lessen willekeurig te verdelen over alle momenten en vervolgens aan elke les een willekeurig vak toe te wijzen. Als laatste wordt aan elk moment zelfstudie toegevoegd.

De tweede optie is dat de tool start met een *slimmer gekozen planning* waarvoor eerst berekeningen worden uitgevoerd. We maken een slimmere startoplossing op basis van het vraagpatroon van leerlingen. We kunnen bijvoorbeeld vakken in dezelfde verhoudingen aanbieden als dat ze gevraagd worden door leerlingen. Als vragen van leerlingen 50% van de tijd voor wiskunde zijn, zullen 50% van de aangeboden lessen wiskunde zijn. Dit gaat als volgt:

1. bereken op basis van de voorspellingen van de leervragen (zie paragraaf 5.2) de vraagkans V_{vg} voor elk vak v voor elke groep g .
2. bereken voor elk vak v voor elke groep g de *relatieve vraag* X_{gv} als volgt waarbij C_{max} is het maximale aantal lessen, Z_g is het aantal leerlingen in een groep g en Z het totaal aantal leerlingen: $X_{gv} = V_{vg} * C_{max} * Z_g / Z$. Deze relatieve vraag geeft aan hoe vaak een vak moet worden aangeboden gegeven het aantal lessen dat aan groep g is toegewezen, namelijk $C_{max} * Z_g / Z$. Het aantal lessen per groep g is dus proportioneel aan het percentage van alle leerlingen dat in groep g zit.
3. Rond elke waarde X_{vg} af naar beneden. Deze afgeronde waarde \tilde{X}_{vg} geeft aan hoe vaak in de startoplossing een vak moet worden herhaald. Bijvoorbeeld, als de relatieve vraag voor Nederlands 4,3 is, dan herhalen we Nederlands vier keer. Door het naar beneden af te ronden

weten we zeker dat de som van alle \tilde{X}_{vg} over alle v en g niet groter is dan het maximale aantal lessen C_{max} . Uiteraard kan op een later moment in de tool worden besloten om het vak nog een extra keer aan te bieden als hierdoor de waarde van de penalty daalt.

4. Sorteert X_{vg} over \forall vakken v en \forall groepen g .
5. Maak voor elke groep g een *vector* met daarin elk vak v zo vaak als \tilde{X}_{vg} . Start met het vak dat de hoogste relatieve vraag X_{vg} heeft voor een bepaalde groep en ga zo verder tot aan het vak met de laagste relatieve vraag. Bijvoorbeeld, neem de situatie met drie vakken waarbij \tilde{X}_{vg} voor Nederlands vier voor groep 1, voor Wiskunde twee en voor Duits één. De vector is dan (Nederlands, Nederlands, Nederlands, Nederlands, Wiskunde, Wiskunde, Duits)
6. Begin bij de eerste groep, $g := 1$ waarbij G het totaal aantal groepen is dat keuzemomenten aangeboden krijgt.
7. $k := 1$ waarbij K is het totaal aantal keuzewerktijdmomenten dat wordt aangeboden.
8. $i := 1$ waarbij I is de totale lengte van de vector voor groep g uit stap 5.
9. Voeg het vak uit entry i van de vector toe aan de combinatie k van de planning van de bijbehorende groep g .
10. $k := k + 1$. Als $k > K$ zet $k := 1$.
11. $i := i + 1$. Als $i \leq I$ ga naar stap 9. Als $i > I$, ga naar stap 12.
12. $g := g + 1$. Als $g \leq G$, ga naar stap 7. Als $g > G$, ga naar stap 13.
13. Bereken voor elk vak v en groep g , $\Delta X_{vg} = X_{vg} - \tilde{X}_{vg}$. Dit geeft dus het getal achter de komma van X_{vg} .
14. Bereken het totale aantal lessen dat tot nu toe in de planning wordt aangeboden, noteer dit met C . Als $C < C_{max}$, ga naar stap 15. Als $C = C_{max}$, ga naar stap 17.
15. Sorteert ΔX_{vg} voor alle vakken v en groepen g .
16. Voeg het vak v toe aan de planning van groep g waarvoor ΔX_{vg} het hoogst is. Voor dit vak en deze groep, $\Delta X_{vg} := \Delta X_{vg} - 1$. Ga naar stap 14.
17. Voeg aan elke combinatie zelf-studie toe.

Uit de experimenten blijkt dat deze laatste slimmere startoplossing iets beter presteert dan een willekeurige oplossing. Of te wel, door te starten met deze slimmer startoplossing wordt een betere eindoplossing gevonden in een mogelijk snellere rekentijd.

Stappen 2 en 4: Bepalen van de waarde van de gemiddelde penalty over alle leerlingen

De planning van de keuzewerktijduren wordt bepaald op basis van de voorspelde leervragen van leerlingen (zie paragraaf 5.2). Echter, de uiteindelijke kwaliteit van de planning wordt bepaald door de gemiddelde penalty over alle leerlingen op basis van hun daadwerkelijke leervragen. Omdat we deze vragen nog niet kennen op het moment van het bepalen van de planning, is het nodig om door middel van simulatie de effecten van de willekeurigheid van de keuzes van leerlingen op de kwaliteit van de planning te toetsen. We hebben daarvoor een apart simulatiemodel gebouwd om zo de waarde van de gemiddelde penalty te kunnen bepalen die in stappen 2 en 4 wordt gebruikt. Met dit simulatiemodel kunnen we de werkelijkheid naspelen door leerlingen gedurende een week hun leervragen te laten

koppelen aan het aanbod in een gevonden planning van keuzewerktijd momenten (een oplossing van de heuristiek). Op basis van de uitkomsten van het model kunnen we dan zien hoe vaak het is voorgekomen dat een leerling geen vak kon volgen dat aansloot bij zijn/haar leervragen. Door dit voor elke leerling te bekijken, kunnen we de gemiddelde penalty bepalen voor de gevonden planning. Door herhaald gebruik van de operatoren kunnen we zo het aanbod en de de kwaliteit van de planning verbeteren en dit toetsen met behulp van de simulatie. Om te analyseren hoe robuust de uitkomsten zijn voor verschillende vraagpatronen draaien we elke simulatie 100 keer. Figuur 4 geeft het conceptueel model voor het simulatiemodel.

Stap 3: Operators

Met behulp van operators kunnen we wijzigingen in de startoplossing aanbrengen (zie stap 3). Zoals genoemd willen we deze wijzigingen op een zo slim mogelijke manier aanbrengen om de kwaliteit van de gevonden oplossing te verbeteren. Om de operators probleemspecifiek te kunnen formuleren is het van belang om een goed beeld te hebben bij hoe een mogelijke oplossing eruit ziet.

Zoals in paragraaf 5.2 beschreven bestaat een oplossing uit een planning van keuzewerktijduren. Op elk uur is een combinatie van vakken gegeven die samen de set vormen waaruit een leerling op dat moment kan kiezen. Een totaalplanning voor een groep (bijv. een jaarlaag) van leerlingen bestaat uit een verzameling van deze combinaties. Voor elke groep is zo'n verzameling gedefinieerd.

Om een wijziging in een totaalplanning te maken, kunnen we kiezen voor het toevoegen of verwijderen van vakken. Meer specifiek zouden we de volgende vragen kunnen stellen bij het aanbrengen van wijzigingen in de oplossing. Deze vragen staan aan de basis van het definiëren van de operators die worden toegepast in stap 3. Het antwoord op vraag 1 is het startpunt voor vraag 2 etc.

1. voor welke groep willen we een vak toevoegen of verwijderen?
2. aan welke combinatie van vakken willen we een wijziging aanbrengen door het verwijderen of toevoegen van een vak voor de groep uit vraag [1]?,
3. welk vak willen we toevoegen of verwijderen aan de combinatie gevonden in vraag [2]?

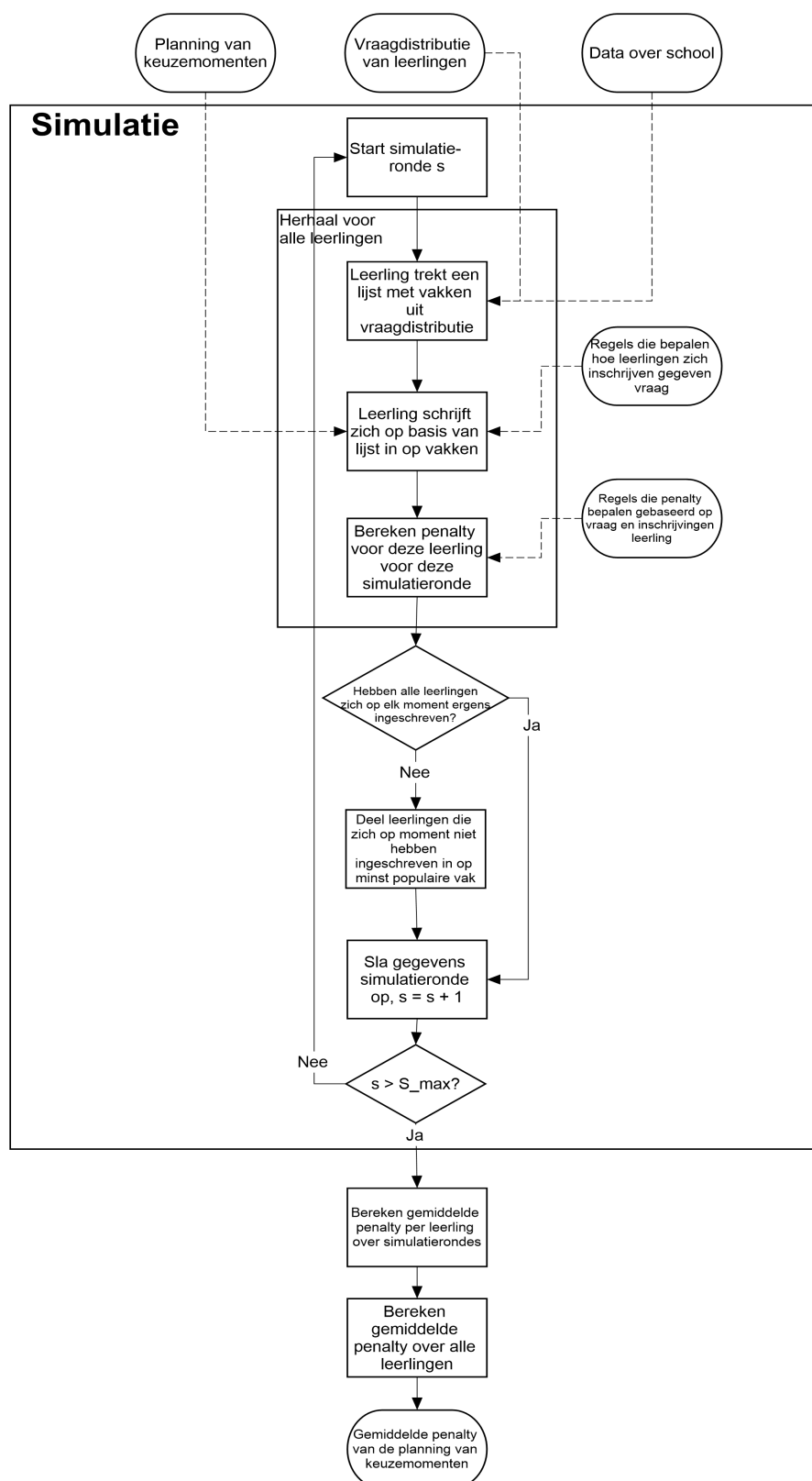
In stap 3 van de heuristiek formuleren we een nieuwe oplossing door twee wijzigingen aan te brengen, namelijk als eerste het verwijderen van een vak en als tweede het toevoegen van een vak. Hieronder staan de verschillende werkwijzes (i.e. operators) waarop deze wijzigingen kunnen worden doorgevoerd. We definiëren een set van operators voor het verwijderen van een vak en een set van operators voor het toevoegen van een vak.

Mogelijke operators voor het verwijderen van een vak

Hieronder presenteren we in Tabel 3 hoe de verschillende operators zijn opgebouwd voor het *verwijderen* van een vak uit een gevonden oplossing. De uitkomst van kolom 2 wordt meegegeven aan kolom 3 en de uitkomsten van kolommen 2 en 3 worden meegegeven aan kolom 4. De basiscomponenten bestaan uit het vinden van een willekeurig vak of het vak met het laagste aantal voorspelde leervragen (i.e., het minst populaire vak).

Tabel 3: Operators voor het verwijderen van een vak.

Operator	Deel 1: Welke Groep?	Deel 2: Welke combinatie van vakken voor deze groep?	Deel 3: Welk vak in deze combinatie?
1	Kies een willekeurige groep	Kies een willekeurige combinatie	Kies een willekeurig vak
2	Kies een willekeurige groep	Kies een willekeurige combinatie	Kies het minst populaire vak
3	Kies een willekeurige groep	Kies de combinatie met het minst populaire vak	Kies het minst populaire vak
4	Kies de groep met het minst populaire vak	Kies de combinatie met het minst populaire vak	Kies het minst populaire vak



Figuur 4: Conceptueel model voor simulatiemodel.

Mogelijke operators voor het toevoegen van een vak

Hieronder presenteren we in Tabel 4 hoe de verschillende operators zijn opgebouwd voor het toevoegen van een vak aan een gevonden oplossing. De uitkomst van kolom 2 wordt meegegeven aan kolom

3 en de uitkomsten van kolommen 2 en 3 worden meegegeven aan kolom 4. De basiscomponenten bestaan uit het toevoegen van hetzelfde vak dat is verwijderd maar dan aan een andere combinatie, het toevoegen van een vak aan een combinatie met vakken die allen een groot aantal leervragen hebben (i.e., meeste conflict), een willekeurig vak, het vak met waarmee het hoogste aantal leervragen van leerlingen kan worden beantwoord, en het vak waarmee de grootste daling van de penalty kan worden verkregen.

Tabel 4: Operators voor het toevoegen van een vak.

Operator	Deel 1: Welke Groep?	Deel 2: Welke combinatie van vakken voor deze groep?	Deel 3: Welk vak in deze combinatie?
1	Kies een willekeurige groep	Kies een willekeurige combinatie	Kies een willekeurig vak
2	Kies een willekeurige groep	Kies een willekeurige combinatie	Kies het vak met het hoogste aantal leervragen
3	Kies een willekeurige groep	Kies een willekeurige combinatie	Kies het vak dat de penalty het meest verlaagt
4	Kies een willekeurige groep	Kies de combinatie met het meeste conflict tussen vakken	Kies een willekeurig vak
5	Kies een willekeurige groep	Kies de combinatie met het meeste conflict tussen vakken	Kies het vak met het hoogste aantal leervragen
6	Kies een willekeurige groep	Kies de combinatie die de penalty het meest verlaagt	Kies een willekeurig vak
7	Kies een willekeurige groep	Kies de combinatie die de penalty het meest verlaagt	Kies het vak met het hoogste aantal leervragen
8	Kies een willekeurige groep	Kies de combinatie die de penalty het meest verlaagt	Kies het vak dat de penalty het meest verlaagt
9	Kies de groep met de hoogste penalty per leerling	Kies een willekeurige combinatie	Kies een willekeurig vak
10	Kies de groep met de hoogste penalty per leerling	Kies een willekeurige combinatie	Kies het vak met het hoogste aantal leervragen
11	Kies de groep met de hoogste penalty per leerling	Kies een willekeurige combinatie	Kies het vak dat de penalty het meest verlaagt
12	Kies de groep met de hoogste penalty per leerling	Kies de combinatie met het meeste conflict tussen vakken	Kies een willekeurig vak
13	Kies de groep met de hoogste penalty per leerling	Kies de combinatie met het meeste conflict tussen vakken	Kies het vak met het hoogste aantal leervragen
14	Kies de groep met de hoogste penalty per leerling	Kies de combinatie die de penalty het meest verlaagt	Kies een willekeurig vak
15	Kies de groep met de hoogste penalty per leerling	Kies de combinatie die de penalty het meest verlaagt	Kies het vak met het hoogste aantal leervragen
16	Kies de groep met de hoogste penalty per leerling	Kies de combinatie die de penalty het meest verlaagt	Kies het vak dat de penalty het meest verlaagt
17	Kies dezelfde groep als waar de les is verwijderd	Kies dezelfde combinatie waar de les is verwijderd	Kies een willekeurig vak
18	Kies dezelfde groep als waar de les is verwijderd	Kies dezelfde combinatie waar de les is verwijderd	Kies het vak met het hoogste aantal leervragen
19	Kies dezelfde groep als waar de les is verwijderd	Kies dezelfde combinatie waar de les is verwijderd	Kies het vak dat de penalty het meest verlaagt
20	Kies dezelfde groep als waar de les is verwijderd	Kies een willekeurige combinatie	Kies hetzelfde vak dat is verwijderd
21	Kies dezelfde groep als waar de les is verwijderd	Kies een willekeurige combinatie	Kies een willekeurig vak
22	Kies dezelfde groep als waar de les is verwijderd	Kies een willekeurige combinatie	Kies het vak met het hoogste aantal leervragen
23	Kies dezelfde groep als waar de les is verwijderd	Kies een willekeurige combinatie	Kies het vak dat de penalty het meest verlaagt
24	Kies dezelfde groep als waar de les is verwijderd	Kies de combinatie met het meeste conflict tussen vakken	Kies een willekeurig vak
25	Kies dezelfde groep als waar de les is verwijderd	Kies de combinatie met het meeste conflict tussen vakken	Kies het vak met het hoogste aantal leervragen
26	Kies dezelfde groep als waar de les is verwijderd	Kies de combinatie met het meeste conflict tussen vakken	Kies het vak dat de penalty het meest verlaagt
27	Kies dezelfde groep als waar de les is verwijderd	Kies de combinatie die de penalty het meest verlaagt	Kies een willekeurig vak
28	Kies dezelfde groep als waar de les is verwijderd	Kies de combinatie die de penalty het meest verlaagt	Kies het vak met het hoogste aantal leervragen
29	Kies dezelfde groep als waar de les is verwijderd	Kies de combinatie die de penalty het meest verlaagt	Kies het vak dat de penalty het meest verlaagt

Kiezen van de operators

In elke iteratie van de heuristiek kiezen we een combinatie van een verwijder- en toevoegoperator. Hoewel het binnen één iteratie het effectiefst is om het vak toe te voegen dat de penalty het meest verlaagd, aan de combinatie die de penalty het meest verlaagd, in het jaar waar de penalty het meest verlaagd, willen we ook andere combinaties van operators toepassen. Dit voorkomt namelijk dat we vast komen te zitten in een lokaal minimum in plaats van dat we het daadwerkelijke minimum vinden. Het toevoegen van een willekeurig vak kan ons bijvoorbeeld naar een hele andere oplossing brengen, vanuit waar we verder kunnen verbeteren. Dit kan een betere eindoplossing opleveren. Ook heeft de keuze om verschillende operators te gebruiken te maken met rekentijd van de operators. Simpele operators zijn vaak sneller, waardoor we deze in dezelfde rekentijd vaker kunnen toepassen.

Om te bepalen welke operator gekozen wordt, worden de volgende stappen uitgevoerd:

1. Y is de verzameling van mogelijke combinaties van verwijder- en toevoegoperators (zie Tabellen 3 en 4). Met y verwijzen we naar een specifieke combinatie uit deze verzameling.
2. Het aantal keer dat y wordt gebruikt is $T_y := 0 \forall y$ én het aantal keer dat y zorgt voor een betere penalty is $U_y := 0 \forall y$.
3. In de eerste 10% van de iteraties heeft elke y dezelfde kans p_y om te worden gekozen.
4. Kies in iteratie i , de combinatie y uit de verzameling van combinaties waarbij elke combinatie een kans p_y heeft om te worden gekozen.
5. Als combinatie y gebruikt is, dan $T_y := T_y + 1$.
6. Als combinatie y in deze iteratie een oplossing met een lagere penalty vond, dan $U_y := U_y + 1$.

7. Nadat 10% van het totaal aantal iteraties is uitgevoerd, worden de kansen dat een set van operators wordt geselecteerd geupdated. Namelijk, $p_y = (p_y + U_y)/T_y$. Hierna worden de kansen geschaald zodat ze opgeteld weer op 1 uitkomen.
8. De volgende 10% van de iteraties worden gedaan met de geupdated kansen.
9. Stappen 4-8 worden herhaald totdat het maximale aantal iteraties voltooid is.

5.4 Voorbeeld

Voor het vraagpatroon uit Figuur 1 van drie verschillende groepen, creëren we de volgende startoplossing (door gebruik te maken van de methodiek beschreven in stap 1 van de heuristiek voor relatieve vraag) in Tabel 5:

Tabel 5: Startoplossing van een planning van keuzewerktijden.

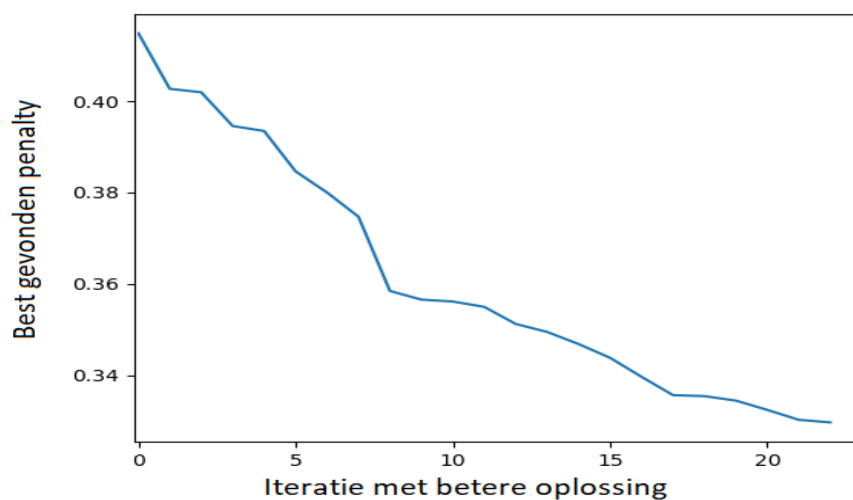
	Combinatie 1	Combinatie 2	Combinatie 3	Combinatie 4	Combinatie 5	Combinatie 6
Groep 1	EN	EN	EN	EN	WI	WI
	WI	WI	NE	NE	NE	BV
	BV	BV	GS	GS	GS	DR
	DR	DR	MU	MU	FA	FA
	AK	AK	BI	BI	NE	BV
	MU	GS	FA	AK	ZS	ZS
	ZS	ZS	ZS	ZS		
	Combinatie 1	Combinatie 2	Combinatie 3	Combinatie 4	Combinatie 5	Combinatie 6
Groep 2	WI	WI	WI	WI	NE	NE
	NE	NE	BV	BV	BV	NASK
	NASK	NASK	EN	EN	EN	DU
	DU	AK	AK	GS	GS	FA
	FA	BI	DR	BV	BI	NASK
	DU	AK	EIO	GS	ZS	ZS
	ZS	ZS	ZS	ZS		
	Combinatie 1	Combinatie 2	Combinatie 3	Combinatie 4	Combinatie 5	Combinatie 6
Groep 3	NASK	NASK	NASK	NASK	NE	NE
	BV	BV	GS	GS	EC	EC
	WI	WI	EN	EN	DU	AK
	FA	NE	BV	DU	AK	GS
	ZS	ZS	ZS	ZS	ZS	ZS

Uitgaande van het vraagpatroon gegeven in Figuur 1, is de kwaliteit van deze planning van keuzewerktijdmomenten gelijk aan 0,406. Dit houdt in dat leerlingen gemiddeld genomen nog 0,406 onbeantwoorde vragen hebben aan het einde van de week. Het kan echter ook zo zijn dat de meeste leerlingen geen vragen meer hebben, maar enkele leerlingen nog met meerdere vragen overblijven aan het eind van de week. Vervolgens kunnen we met een operator deze startoplossing gaan aanpassen. Neem bijvoorbeeld de set van operators waar eerst uit een willekeurige combinatie van een willekeurige groep, een willekeurig vak wordt verwijderd. Vervolgens wordt bij de groep met de hoogste penalty per leerling, bij een willekeurige combinatie, het vak toegevoegd dat de penalty het meest verlaagd. We gebruiken hierbij dus operator 1 uit Tabel 3 en operator 11 uit Tabel 4. De nieuwe planning van keuzewerktijden is gegeven in Tabel 6. In deze planning is van de tweede groep, van het vijfde moment, het vak Engels verwijderd. Hierna is bij het tweede jaar, aan het derde moment, het vak Nederlands toegevoegd. De penalty die bij deze aangepaste planning hoort is 0,404. Dit is een kleine

daling ten opzichte van de penalty van de oorspronkelijke planning. Als we nu met deze nieuwe planning doorgaan, en meerdere keren nieuwe sets van operators toepassen is het mogelijk de penalty nog verder te verlagen. Dit is wat de heuristiek een groot aantal keer doet zoals beschreven in paragraaf 5.3. De bijbehorende daling bij een stijgend aantal iteraties is te zien in Figuur 5.

Tabel 6: Oplossing van een planning van keuzewerktijduren na één iteratie van operators.

	Combinatie 1	Combinatie 2	Combinatie 3	Combinatie 4	Combinatie 5	Combinatie 6
Groep 1	EN	EN	EN	EN	WI	WI
	WI	WI	NE	NE	NE	BV
	BV	BV	GS	GS	GS	DR
	DR	DR	MU	MU	FA	FA
	AK	AK	BI	BI	NE	BV
	MU	GS	FA	AK	ZS	ZS
	ZS	ZS	ZS	ZS		
Groep 2	WI	WI	WI	WI	NE	NE
	NE	NE	BV	BV	BV	NASK
	NASK	NASK	EN	EN		DU
	DU	AK	AK	GS	GS	FA
	FA	BI	DR	BV	BI	NASK
	DU	AK	EIO	GS	ZS	ZS
	ZS	ZS	NE	ZS		
		ZS				
Groep 3	NASK	NASK	NASK	NASK	NE	NE
	BV	BV	GS	GS	EC	EC
	WI	WI	EN	EN	DU	AK
	FA	NE	BV	DU	AK	GS
	ZS	ZS	ZS	ZS	ZS	ZS



Figuur 5: Effect meerdere iteraties op penalty

6 Fase 3: Doorontwikkeling generiek simulatiemodel

Zoals genoemd in hoofdstuk 1 bouwen we in dit project voort op onder andere de resultaten zoals beschreven in [7]. In de eerdere projecten is onder andere onderzocht hoe kennis over logistieke processen zoals in productie- en distributiesectoren kan worden toegepast in de organisatie van gepersonaliseerd (voortgezet) onderwijs. Naast conceptualisatie van gepersonaliseerd onderwijs, een vergelijking tussen kwaliteitssystemen van 'Lean'-processen en onderwijskwaliteitsprocessen en het toepassen van Value Stream Mapping in het onderwijs, is eerder een start gemaakt met het bouwen van simulatiemodellen. In eerste instantie door een simulatiemodel te maken voor het Picasso Lyceum. Daarna is gestart met het bouwen van een generiek simulatiemodel dat door scholen kan worden gebruikt voor ondersteuning bij managementbeslissingen om zo andere wijzen van schoolorganisatie virtueel te testen en daarmee voorgenomen beleidsbeslissingen te toetsen zonder dat het via 'trial and error' hoeft te gebeuren. Het generieke simulatiemodel is voor scholen binnen een virtueel lab te gebruiken. Voor meer informatie kan contact worden opgenomen met het onderzoeksteam.

Hieronder beschrijven we eerst de algemene stappen voor het uitvoeren van simulatiestudies. Vervolgens beschrijven we de eerste basisversie van het generieke simulatiemodel zoals gebouwd in 2018. Daarna geven we een overzicht van de in dit project uitgevoerde werkzaamheden in het kader van dit generieke simulatiemodel.

6.1 Introductie uitvoeren simulatiestudies

Simulatiemodellen worden gebouwd om zo de werkelijkheid in een de computer na te kunnen bootsen. Hierbij wordt een aantal stappen gevolgd zoals beschreven in Figuur 6.



Figuur 6: Proces simulatiestudies

In een eerste stap wordt de werkelijkheid in de vorm van een conceptueel model beschreven. In dit conceptuele model wordt aangegeven welke processen en interacties er zijn, welke beslissingen moeten worden genomen en welke data, aannames en randvoorwaarden daarbij een rol spelen. Vervolgens wordt dit conceptueel model geïmplementeerd zodat een simulatiemodel ontstaat. In de verificatiestap wordt gekeken of het model correct is geïmplementeerd. Vervolgens wordt het model gevalideerd met stakeholders uit de praktijk om te toetsen of de werkelijkheid op de juiste manier is nagebootst en de verkregen resultaten overeenkomen met de werkelijke resultaten. Daarna kan het simulatiemodel worden gebruikt om experimenten mee te doen om zo de invloed van veranderingen op de prestatie van het systeem te analyseren en alternatieve ontwerpen te toetsen. Simulatiemodellen kunnen het systeem over een langere periode doorrekenen (bijv. 20 jaar) en wijzigingen kunnen worden uitgetoetst zonder dat er in de werkelijkheid op dat moment zaken worden aangepast en een rechtstreeks invloed hebben op de mensen die onderdeel zijn van het systeem. De uitkomsten van deze experimenten kunnen vervolgens het management ondersteunen bij het nemen van beslissingen.

6.2 Beschrijving generiek simulatiemodel voor ontwerp gepersonaliseerd leren

Het generieke simulatiemodel is in een eerste versie gebouwd in 2018. Een printscreen van het voorscherm van de gebruikersomgeving is te zien in Figuur 7.

Gepersonaliseerd leren **Prototype** Home Gegevens Simuleer Resultaten

Dit is een prototype
 Hoewel we hopen dat deze applicatie naar behoren werkt, is het niet onwaarschijnlijk dat er nog enkele imperfecties inzitten. Mocht u ergens tegenaan lopen dat niet werkt of onduidelijk is, aarzel dan niet om contact op te nemen met edulab@rug.nl.

Wat wilt u doen?

- Beheer gegevens
- Simuleer
- Bekijk resultaten

Doel

Om gepersonaliseerd leren te kunnen organiseren is het van belang om het onderliggende logistieke systeem goed te ontwerpen om zo flexibiliteit in roostering, groepsamenstelling, inzet van leraren en keuze van werkmethoden te faciliteren. Dit met het doel dat elke leerling op elk gewenst moment op basis van eigen leertempo, niveau en ambitie voor elk vak zijn/haar doelen kan bereiken. De organisatie van gepersonaliseerd leren kan per school verschillen.

Scholen maken vele keuzes om gepersonaliseerd leren te organiseren. Een aantal voorbeelden: bij hoeveel leerlingen wordt een instructiemoment gepland? Wat is het gevolg voor de belasting van docenten? Hoe veel verschil in leertempo kan de organisatie van de school aan?

In het onderzoeksproject naar de logistiek van gepersonaliseerd leren hebben onderzoekers van de Rijksuniversiteit Groningen een simulatiemodel ontwikkeld waarmee gebruikers de werkelijkheid van de processen in een school kunnen nabootsen. Het doel van het model is om analyses uit te kunnen voeren om te zien wat de gevolgen zijn van de te maken keuzes en aangebrachte veranderingen in het systeem. Zo kan bijvoorbeeld worden geanalyseerd wat het effect is van het variëren van de minimum groeps grootte voordat een les wordt gegeven. Veranderingen waarvan de effecten kunnen worden bekeken zijn bijvoorbeeld een wijziging in het aantal leerlingen of de beschikbaarheid van een docent.

Door verschillende experimenten uit te voeren met variërende waarden voor bijvoorbeeld de groeps grootte kan worden geanalyseerd wat het effect is op prestatie maten als bezettingsgraden van docenten en lokalen en wachttijden van leerlingen voordat ze een les in een bepaald vak krijgen. Het simulatiemodel kan zo worden ingezet om vooraf te ondersteunen bij de door de school te nemen beslissingen. Het geeft geen blauwdruk voor 'de beste organisatie' maar laat zien wat de gevolgen zijn van de te maken keuzes en uitkomsten kunnen per school verschillen. Het doel van dit simulatiemodel is niet om de dagelijkse operatie in een school aan te sturen en daarbij specifieke beslissingen voor individuele leerlingen en docenten te nemen.

Figuur 7: Voorscherm Generiek Simulatiemodel

Gegevens

In de eerste stap kan de school de gegevens beheren. Dat wil zeggen dat aan de invoerkant van het simulatiemodel de kenmerken van de school worden aangegeven, zoals de verschillende opleidingen, vakken, profielen, alle docenten met hun beschikbaarheid en lesbevoegdheid en de aanwezige lokalen met hun maximale bezetting en worden lestijden gedefinieerd. Figuur 8 laat het scherm zien voor het invoeren van de docentgegevens.

Bouwstenen

- Opleidingen
- Domeinen
- Lokaaltypes
- Bevoegdheidsgraden

Gegevens

- Vakken
- Profielen
- Lokalen
- Docenten**

Docenten

ID	Label	FTE	Sectie	Bevoegdheid
1	Teacher 1	0.9	Nederlands	Eerstegraads
2	Teacher 2	1	Nederlands	Eerstegraads
3	Teacher 3	1	Nederlands	Tweedegraads
4	Teacher 4	1	Nederlands	Tweedegraads
5	Teacher 5	1	Nederlands	Tweedegraads
6	Teacher 6	1	Nederlands	Tweedegraads
7	Teacher 7	1	Nederlands	Tweedegraads
8	Teacher 8	1	Economie	Eerstegraads

Figuur 8: Invoeren gegevens docenten

Gebeurtenissen tijdens runnen model

De gegevens die zijn ingevoerd worden in een Application programming interface (API) omgezet naar gebeurtenissen die een voor een worden afgevoerd. De berekeningen hiervoor worden gedaan op het rekencluster. Als de simulatie wordt aangezet dan gebeurt het volgende: virtuele leerlingen volgen in hun eigen tempo modules (vergelijkbaar met hoofdstukken in leerboeken). Aan het einde van

elke module vindt een toets plaats die door deze leerlingen voldoende moeten worden afgerond om sequentieel met de volgende module te mogen starten. Leerlingen hebben in het model verschillende leersnelheden waardoor zichtbaar wordt dat leerlingen uiteen gaan lopen qua tempo in hun individuele leerroute. Leerlingen krijgen geclusterd instructie aangeboden als een aantal leerlingen gelijktijdig toe is aan een nieuwe module. Een dergelijke instructie kan alleen plaatsvinden als een bevoegde docent en een lokaal beschikbaar zijn, anders worden deze leerlingen toegewezen aan een zelfstudielokaal. In het zelfstudielokaal werkt de leerling verder aan een module van een van de vakken. Elk uur worden beslissingen genomen over in welke groep een leerling een les- of zelfstudieactiviteit krijgt en in welk lokaal en onder begeleiding van welke docent. Als een leerling alle modules heeft afgerond, dan verlaat hij/zij de school (met een diploma).

Runsettings

In het simulatiemenu kan de gebruiker specificeren hoe lang de simulatierun moet duren. Geadviseerd wordt om dit gedurende een lange periode te doen (meer dan 10 jaar), omdat de eerste zes jaar een warm-up periode zijn om zo leerlingen in alle leerjaren te krijgen. De gebruiker kan daarnaast verschillende zaken specificeren, namelijk:

- de minimale groeps grootte voor instructie-activiteiten;
- gewicht van zelfstudie ten opzichte van lesactiviteit;
- verdeling leersnelheden leerlingen;
- gewicht hoeveel sneller de leerling een module doorloopt bij herkansen;
- aantal uren dat een docent mag doceren per week;
- minimale aantal dagen tussen opeenvolgende instructieactiviteiten binnen een module van een bepaald vak.

De *minimale groeps grootte* voor instructie-activiteiten kan als parameter worden gewijzigd zodat in de simulatie bijvoorbeeld zichtbaar wordt wat de effecten zijn van deze beleidskeuze. Bij een grotere groeps grootte-instelling zal de belasting van docenten lager zijn, maar zal de wachttijd voor leerlingen oplopen, terwijl bij het instellen van een kleine groeps grootte, leerlingen weliswaar sneller toegewezen worden aan een instructiegroep maar de belasting van docenten groot wordt c.q. meer docenten nodig zijn.

De gebruiker kan aangeven hoe effectief leerlingen zijn in *zelfstudie*. In andere woorden hoe zwaar telt een uur zelfstudie ten opzichte van een uur les. Als dit 0,5 is, dan wil dit zeggen dat de voortgang in de lesstof de helft is na een uur zelfstudie ten opzichte van een uur les van een docent. In de experimenten in hoofdstuk 7 bestuderen we het effect van deze factor.

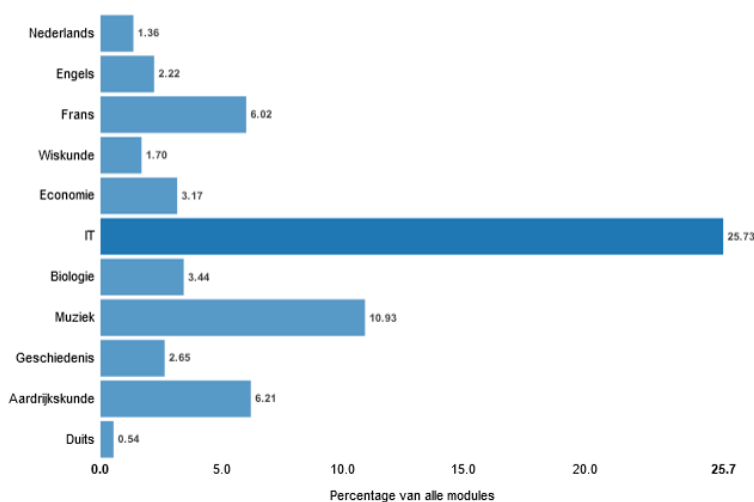
Prestatiematen

Nadat de simulatieduur is afgerond worden de resultaten van de API-omgeving teruggestuurd naar de gebruikersomgeving. In het scherm *resultaten* van het simulatiemodel worden de uitkomsten getoond van een aantal vooraf gedefinieerde prestatie maten. Zo wordt voor leerlingen bijgehouden wat de gemiddelde wachttijd voor een lesactiviteit binnen module was, wat het % zelfstudieactiviteiten was, hoeveel modules zijn afgerond zonder instructieactiviteiten en wat de opleidingsduur was. Voor docenten wordt bijgehouden wat de bezettingsgraad was en welk % inzet voor lesactiviteiten en welk % voor begeleiding zelfstudieactiviteiten heeft plaatsgevonden. Voor de lokalen wordt het gemiddeld gebruik bijgehouden en hoe vaak er geen lokaal beschikbaar was voor een lesactiviteit. Op schoolniveau

wordt onder meer gekeken naar de gemiddelde opleidingsduur per leerniveau. In totaal zijn er 28 verschillende prestatiematen waarvan tabellen en grafieken worden getoond. In Figuur 9 is een voorbeeld gegeven van resultaten van het % van de gehaalde modules zonder instructieactiviteiten. Op basis van

Percentage gehaalde modules zonder instructie

Het percentage van afgeronde modules waarbij de leerling geen enkele vorm van instructie heeft ontvangen. Of te wel, het percentage modules dat is afgerond waarbij de leerling enkel met zelfstudie de activiteiten heeft afgerond.



Figuur 9: Voorbeeld prestatiemaat: % gehaalde modules zonder instructie

de uitkomsten van een simulatie, kan een gebruiker bepalen om wijzigingen in het ontwerp door te voeren om dan in een nieuwe run te kijken wat de effecten zijn op deze prestatiematen. Hiervoor worden experimenten gedefinieerd.

Experimenten

Een gebruiker kan met het model experimenten uitvoeren om zo veranderingen in het ontwerp van gepersonaliseerd leren door te voeren en de mogelijke effecten daarvan te analyseren. Mocht bijvoorbeeld bij wiskunde te zien zijn dat wachttijden van leerlingen groot zijn voordat ze een les krijgen, dan kan in de simulatie bijvoorbeeld gekeken worden hoe groot het effect is als een docent voor dit vak wordt toegevoegd. Mogelijke experimenten ter ondersteuning van managementbeslissingen waaraan kan worden gedacht zijn het variëren van:

- het aantal docenten voor een bepaald vak;
- de minimum groeps grootte voordat les wordt gegeven;
- de hoeveelheid zelfstudieactiviteiten;
- het aantal lokalen;
- jaarlijkse instroom van leerlingen;
- effectiviteit van zelfstudie.

6.3 Doorontwikkeling generiek simulatiemodel in dit project

In dit project is het simulatiemodel verder verfijnd en is een aantal onvolkomendheden opgelost. In Appendix B beschrijven we in detail welke wijzigingen zijn aangebracht.

In een samenvatting: een gebruiker kan de *beschikbaarheid van docenten* niet alleen op dagniveau aangeven, maar nu ook op dagdeel. Dus bijvoorbeeld maandagochtend is de docent wel aanwezig, maar op maandagmiddag niet. Deze gegevens worden gebruikt om te kijken welke docenten beschikbaar zijn op een bepaald moment op de dag om toe te wijzen aan les- of zelfstudieactiviteiten. Daarnaast kan de bevoegdheid van docenten nu per module worden aangegeven.

Voor leerlingen is een breder pallet aan *leersnelheden* geformuleerd. Aan het begin van de simulatie wordt voor elke leerling een leersnelheid getrokken die invloed heeft op hoe snel hij/zij gemiddeld modules kan afronden. Daarnaast is het nu ook mogelijk om aan te geven dat snellere leerlingen gemiddeld een *hogere slagingskans* hebben voor het succesvol afronden van een module.

Voor een school is de mogelijkheid om de *jaarlijkse instroom* tijdens een run van het model te variëren toegevoegd. Hiermee kan de gebruiker niet alleen runnen met een instroom die elk jaar hetzelfde is, maar ook kiezen voor opties waarin het aantal leerlingen met een bepaald % daalt of stijgt.

Een uitgebreid proces van verificatie en validatie van het aangepaste simulatiemodel heeft plaatsgevonden. Daarnaast zijn ook experimenten uitgevoerd zoals hiervoor beschreven om zo ook de onderwijskundige implicaties van resultaten te kunnen analyseren. De resultaten hiervan bespreken we in hoofdstuk 7.5.

7 Fase 4: Experimenten

In dit hoofdstuk bespreken we de experimenten en bijbehorende resultaten voor de tool voor het plannen van keuzewerktijdduren en van de simulatiestudie. De opzet van de experimenten is gedefinieerd in gesprekken tussen de projectleider en het onderzoeksteam om zo ook in deze fase de koppeling met de praktijk goed te borgen.

7.1 Experimenten plannen van keuzewerktijdduren: Beschrijving school

In deze paragraaf beschrijven we de school zoals deze als uitgangspunt heeft gediend in de experimenten. De beschrijving van deze school is gemaakt op basis van overlappende aspecten van de drie scholen waar de observaties zijn uitgevoerd (zie hoofdstuk 2).

In deze school:

- volgt elke leerling in hetzelfde jaar dezelfde vakken,
- zijn er vaste uren en keuzewerktijd uren, welke apart van elkaar gepland worden,
- zijn de keuzemomenten per jaarlaag georganiseerd, alle leerlingen uit één jaarlaag kunnen bij elkaar in de les komen,
- heeft een leerling tijdens de keuzemomenten keuze uit meerdere vakken,
- kan het aantal vakken dat wordt aangeboden per keuzemoment verschillen,
- wordt het rooster één keer per jaar of per periode gevormd,
- schrijft een leerling zich voor einde week in voor de keuzewerktijdduren van de komende week,
- heeft een leerling alleen keuze tussen de vakken die nog niet vol zitten,
- wordt een leerling automatisch ingedeeld als hij/zij zich niet inschrijft voor een keuzewerktijd uur, nadat alle leerlingen zich hebben ingeschreven.

7.2 Experimenten plannen van keuzewerktijdduren: Basis scenario

Om te kunnen testen of de in hoofdstuk 5.3 heuristiek werkt, en de toepassing te kunnen bekijken formuleren we een *basis scenario*. Vanuit dit scenario zullen we kijken wat er gebeurt en hoe de tool kan worden toegepast. Hierna kunnen we ook bekijken wat er gebeurt als we verschillende aannames van het basis scenario veranderen om de gevoeligheid van de uitkomsten voor wijzigingen in de input, te analyseren. Als uitvalsbasis zal echter steeds het basis scenario worden genomen.

In het definiëren van het basisscenario gebruiken we de data van Het Lyceum Vos (zie hoofdstuk 4. Groep 1 heeft 135 leerlingen, groep 2 heeft 130 leerlingen en groep 3 heeft 94 leerlingen. De leerlingen in een groep hebben samen keuzemomenten en daarvoor wordt een planning gebruikt. Maximaal 30 leerlingen kunnen dezelfde les kiezen, waarna de les vol zit. Het totaal beschikbare budget is gelijk aan 3,6 fte. Dat kan worden vertaald naar 90 lessen. De som van alle aangeboden lessen over alle keuzemomenten voor alle groepen moet dus kleiner of gelijk zijn aan 90. We gaan er vanuit dat het, gegeven een budget, vanuit de behoefte van leerlingen optimaal is om zo veel mogelijk lessen aan te bieden. Daarom zetten we bovengenoemde som gelijk aan 90.

Als we het basis scenario doorrekenen met de hierboven beschreven heuristiek, vinden we een planning van keuzewerktijdduren met een penalty van 0,202. De planning is hieronder afgebeeld in Tabel 7.

Tabel 7: Planning keuzewerktijduren in het Basis Scenario

	Combinatie 1	Combinatie 2	Combinatie 3	Combinatie 4	Combinatie 5	Combinatie 6
Groep 1	AK	DR	BV	MU	MU	DR
	DR	GS	FA	BV	NE	MU
	NE	BI	EN	GS	FA	BV
	EIO	WI	WI	AK	KT	GS
	EN	ZS	ZS	ZS	WI	AK
	KT				ZS	BI
	ZS					NE
						FA
						EN
						WI
						ZS
	Combinatie 1	Combinatie 2	Combinatie 3	Combinatie 4	Combinatie 5	Combinatie 6
Groep 2	FA	NE	EN	EN	NE	NE
	DU	FA	WI	BV	DR	DU
	GS	BI	DR	DU	BV	FA
	KT	NASK	AK	NASK	EIO	EN
	WI	AK	ZS	ZS	ZS	WI
	ZS	ZS				GS
						BI
					BV	
					NASK	
					AK	
					EIO	
					ZS	
	Combinatie 1	Combinatie 2	Combinatie 3	Combinatie 4	Combinatie 5	Combinatie 6
Groep 3	WI	FA	EN	EN	EC	EC
	NE	WI	GS	DU	DU	GS
	AK	NASK	NE	AK	FA	BV
	KT	ZS	ZS	NASK	BV	NASK
	BV			ZS	KT	ZS
	ZS				ZS	

We zien in deze planning dat het aantal vakken per moment redelijk constant is, behalve in één moment, waar er aanzienlijk meer vakken worden aangeboden. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat er vakken zijn waar de meeste leerlingen ten minste één vraag voor hebben, deze worden dan in vijf momenten afwisselend aangeboden. Na deze vijf momenten zijn de vakken waar de leerlingen zich voor ingeschreven hebben, uit hun lijst met vragen. De enkele vragen die op dat moment overblijven zijn per leerling erg verschillend. Het is op dit moment dus een goede tactiek om in het laatste moment zo veel mogelijk vakken tegelijk aan te bieden, zodat zo veel mogelijk leerlingen de laatste vragen ook van hun lijst kunnen strepen.

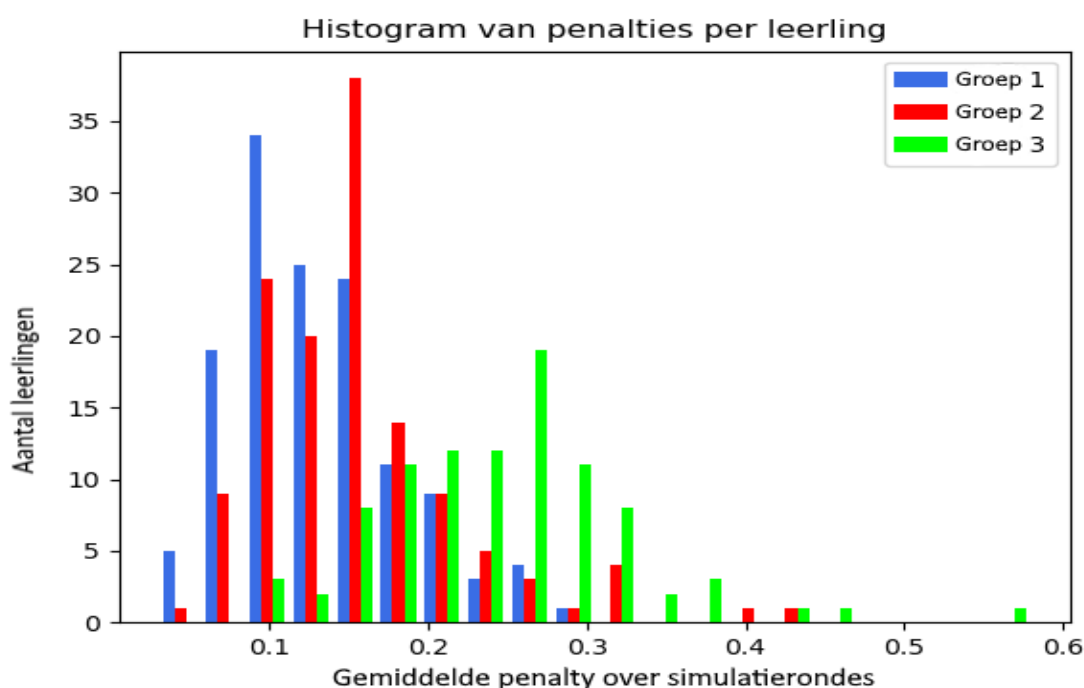
We kunnen de uitkomsten van deze planning omrekenen naar de benodigde hoeveelheid personeel voor elk van de vakken. De verdeling van fte's per vak voor dit scenario is hieronder gegeven in Tabel 8.

Tabel 8: Aantal fte per vak

Vak	Ne	En	Fa	Du	Wi	Nask	Bi	Ak	Gs	Ec	Bv	Mu	Dr	Kt	Eio
Fte (%)	8,89	8,89	8,89	5,56	10	6,67	4,44	8,89	7,78	2,22	10	3,33	5,56	5,56	3,33

Behalve het kijken naar de gemiddelde penalty, kan het inzicht geven om te kijken naar de penalty per leerling. Het kan namelijk zo zijn dat de gemiddelde penalty laag is, maar dat de vraag van een

kleine groep van leerlingen minder goed wordt opgevangen. In de gemiddelde penalty wordt dit dan gecompenseerd doordat veel leerlingen wel al hun vragen beantwoord krijgen. De grens waarop de planning niet meer acceptabel is zal per school verschillen. In Figuur 10 is een histogram van de penalty per leerling gegeven voor de planning gegeven in Tabel 7. Hier is verder ook onderscheid gemaakt tussen de groepen waar de leerlingen in zitten.



Figuur 10: Empirische distributie van vraag leerlingen

In Figuur 10 kunnen we per groep zien dat de penalties van leerlingen rondom het gemiddelde van de groep liggen, met een paar uitschieters, met name in groepen 2 en 3. Als we kijken naar de gemiddelde penalties per groep, lijkt het dat de gemiddelde penalty van leerlingen in groep 1 onder het totale gemiddelde ligt, dat de gemiddelde penalty van groep 2 er ongeveer gelijk aan is, en dat de gemiddelde penalty van groep 3 hoger uitvalt. Een mogelijke verklaring hiervan is dat in het model elke leerling even belangrijk wordt geacht. Aangezien er in de eerste groep 135 leerlingen zitten, in de tweede 130 en de derde 94 zijn de leerlingen ongelijk verdeeld over de groepen en dus over de verschillende plannings van keuzewerktijduren verdeeld. Als een verandering in de planning niet de penalty van een vast aantal maar van $x\%$ van alle leerlingen in dat jaar verandert, kan dit dus impliceren dat de kwaliteit van de planning voor de eerste groep belangrijker is dan dat van de derde groep. Er is in dat geval dus meer baat te halen bij het verbeteren van planning van de eerste groep dan van de planning van de derde groep.

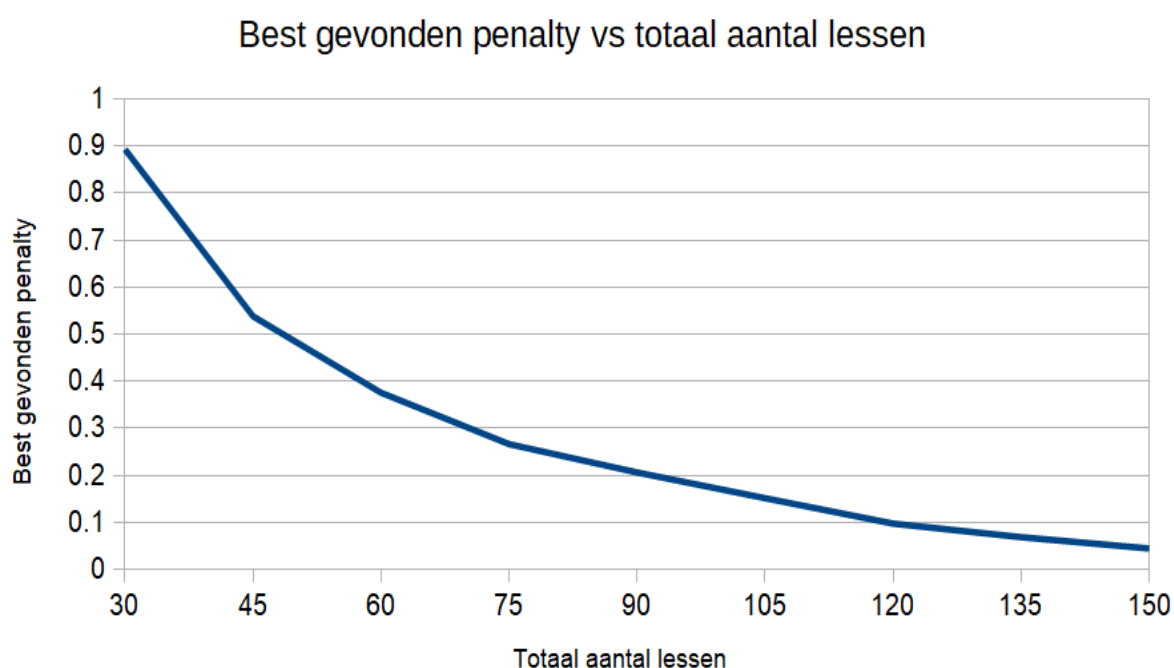
7.3 Experimenten plannen van keuzewerktijduren: Alternatieve scenario's

In deze paragraaf presenteren we de uitkomsten van experimenten die we hebben uitgevoerd om inzicht te krijgen in de mate waarop de penalty en het aantal fte per vak (in %) verandert als het basis scenario wordt aangepast. Verschillende alternatieve scenario's zullen hieronder kort worden besproken, en de invloed op de uitkomsten zal worden weergegeven.

De bekeken alternatieve scenario's zijn:

- Het totaal aantal fte, oftewel het budget te besteden aan docenten voor de keuzewerktijdduren. De vraag die we hierbij hoort is: *‘Wat is het effect op de planning van keuzewerktijdduren, de bijbehorende penalty en de verdeling van fte als het totaal beschikbare aantal fte verandert?’*
- Schoolgrootte, het aantal leerlingen per groep. De vraag die we hierbij hoort is: *‘Wat is het effect van een schoolgrootte op de planning van keuzewerktijdduren, de bijbehorende penalty en de verdeling van fte?’*
- Vraagdistributies leerlingen. De vraag die we hierbij hoort is: *‘Wat is het effect op de planning van keuzewerktijdduren, de bijbehorende penalty en de verdeling van fte als de vraag van leerlingen verandert?’*

Veranderen totaal beschikbare aantal fte



Figuur 11: Totaal aantal lessen vs best gevonden penalty

In Figuur 11 zien we dat, hoewel de best gevonden penalty afneemt als het aantal lessen, of te wel het aantal fte toeneemt, dit effect kleiner wordt naarmate het aantal fte groter is. Dat wil zeggen dat een bezuiniging in of juist een verhoging van het budget een groter effect heeft als het huidige aantal fte lager is.

Schoolgrootte

Om te zien hoe de tool werkt voor een kleine school, met minder leerlingen en minder budget, bekijken we de school gedefinieerd in paragraaf 7.1 opnieuw, maar met minder leerlingen. Een samenvatting van de gebruikte parameters is gegeven in Tabel 9.

De best gevonden penalty voor dit scenario is 0,740. De verdeling van het aantal fte per vak is gegeven in Tabel 10.

In plaats van enkel het aantal leerlingen te verkleinen ten op zichte van het basis scenario, zijn

Tabel 9: Parameters kleine school

Parameter	Waarde
Aantal leerlingen groep 1	60
Aantal leerlingen groep 2	60
Aantal leerlingen groep 3	40
Totaal aantal lessen	40
Aantal keuzemomenten	6
Capaciteit per les	30

Tabel 10: Procent fte per vak van totaal

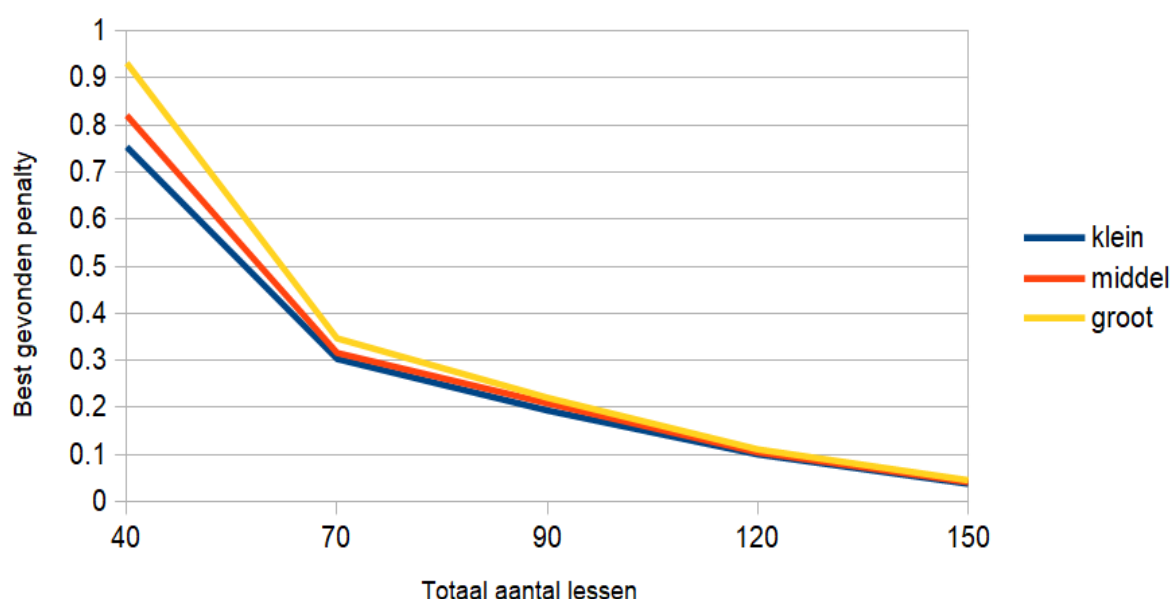
Vak	Ne	En	Fa	Du	Wi	Nask	Bi	Ak	Gs	Ec	Bv	Mu	Dr	Kt	Eio
Fte (%)	12,50	10,00	5,00	7,50	12,50	10,00	5,00	7,50	7,50	2,50	12,50	2,50	5,00	0,00	0,00

we geïnteresseerd in het effect van de gemiddelde penalty gegeven een bepaalde hoeveelheid fte voor verschillende schoolgroottes. Is het zo dat een kleine school ook minder fte nodig heeft om keuzemomenten te kunnen faciliteren? Of is dit juist een verwaarloosbare factor? Om hier inzicht in te krijgen, hebben we Figuur 12 nog voor twee extra scenario's gemaakt. In Tabel 11 zijn de gebruikte schoolgroottes gegeven.

Tabel 11: Verschillende schoolgroottes

	Kleinste school	Medium school	Grootste school
Aantal leerlingen groep 1	60	100	135
Aantal leerlingen groep 2	60	100	130
Aantal leerlingen groep 3	40	70	94

Best gevonden penalty vs totaal aantal lessen - verschillende schoolgroottes



Figuur 12: Totaal aantal lessen vs best gevonden penalty voor verschillende schoolgrootte's

In Figuur 12 zien we dat voor een hoog budget de schoolgrootte niet veel uit lijkt te maken. Hoe

kleiner het budget hoe groter het effect dat schoolgrootte heeft, maar zelfs op 40 lessen lijkt het verschil niet substantieel. Deze grafiek laat zien dat het totale budget, voor het basis scenario, een veel belangrijke knop is om aan te draaien dan de schoolgrootte. Ook laat dit zien dat het opschalen van scholen positief zou kunnen zijn voor de mate waarin voldaan kan worden aan de behoefte van leerlingen. Neem bijvoorbeeld twee kleine scholen die zowel hun leerlingen als hun docenten samen dezelfde planning voor de keuzewerktijden aanbieden. Het negatieve effect van een groter aantal leerlingen lijkt vanuit de figuur nagenoeg verwaarloosbaar tegenover het positieve effect van het hebben van meer budget (of te wel aanstellingen van docenten).

Als we kijken naar het aantal fte per vak (in %) voor de scenario's waar 90 lessen aangeboden worden, komen deze grotendeels overeen. Enkele vakken worden een keer meer of minder aangeboden, maar over het algemeen zien we dezelfde verdeling.

In plaats van enkel het aantal leerlingen te verkleinen, kijken we nu ook naar het effect als we minder leerlingen in een les toelaten. In dit scenario mogen er nog maar maximaal 15 leerlingen tegelijk aan een les zitten. In Tabel 12 is opnieuw een samenvatting van de parameters gegeven. De best

Tabel 12: Parameters kleine school met minder leerlingen per les

Parameter	Waarde
Aantal leerlingen groep 1	60
Aantal leerlingen groep 2	60
Aantal leerlingen groep 3	40
Totaal fte	40
Aantal keuzemomenten	6
Capaciteit per les	15

gevonden penalty voor dit scenario is 0,834. In het basis scenario zien we dus dat een halvering van de maximale groeps grootte een stijging in de gemiddelde penalty van 12,70% veroorzaakt. Dit betekent dat door de maximale groeps grootte te verkleinen, er minder aan de behoefte van leerlingen kan worden voldaan, gegeven hetzelfde budget. Echter zien we ook dat, voor het basis scenario, als we de maximale groeps grootte halveren, de gemiddelde leerling maar 0,094 vragen meer over heeft aan het einde van de week. De verdeling van het aantal fte per vak is gegeven in Tabel 13.

Tabel 13: Procent fte per vak van totaal

Vak	Ne	En	Fa	Du	Wi	Nask	Bi	Ak	Gs	Ec	Bv	Mu	Dr	Kt	Eio
Fte (%)	12,50	10,00	7,50	2,50	12,50	10,00	5,00	10,00	10,00	2,50	12,50	2,50	2,50	0,00	0,00

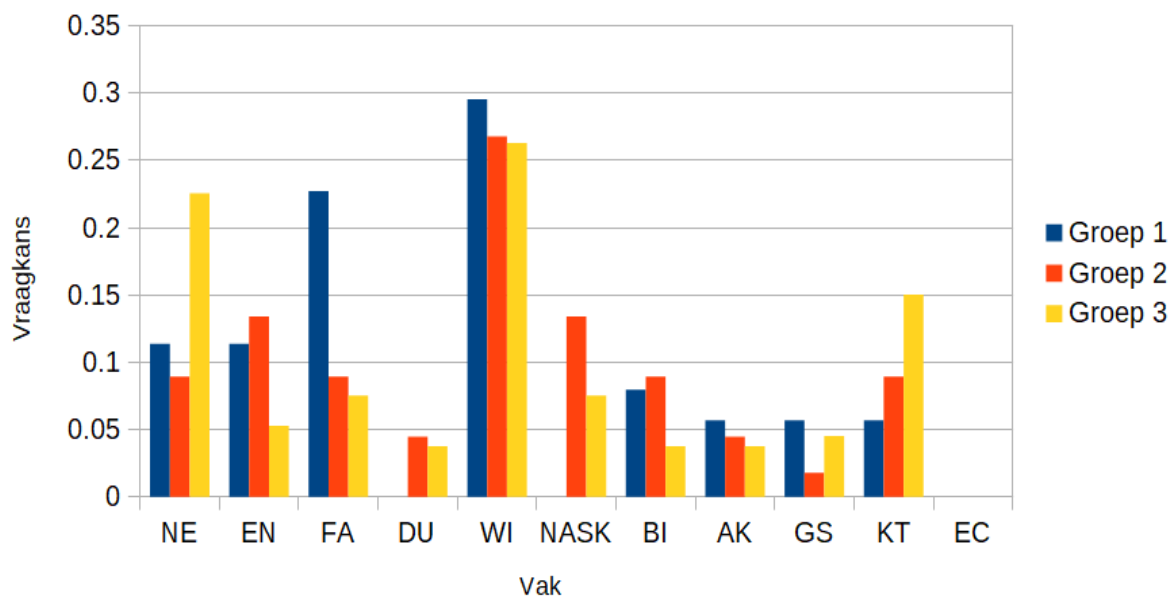
Veranderingen in de vraag van leerlingen

Om te bekijken hoe gevoelig de uitkomsten zijn op het vraagpatroon van leerlingen, zijn er drie dummy (willekeurig gekozen) vraagdistributies geformuleerd. Er wordt opnieuw steeds uitgegaan van het basis scenario, waar we in dit geval steeds de vraagdistributie besproken in hoofdstuk 4 vervangen wordt door een dummy vraagdistributie.

In Figuur 13 zien we het dummy vraagpatroon 1. Gebaseerd op deze vraag is gekeken wat in dit geval de beste planning en bijbehorende penalty is. De best gevonden penalty voor dit scenario is 0,192. De bijbehorende verdeling van fte over vakken is gegeven in Tabel 14.

In Figuur 14 zien we het dummy vraagpatroon 2. Gebaseerd op deze vraag is gekeken wat in dit geval de beste planning en bijbehorende penalty is. De best gevonden penalty voor dit scenario is 0,317. De bijbehorende verdeling van het aantal fte is gegeven in Tabel 15.

Dummy vraag 1

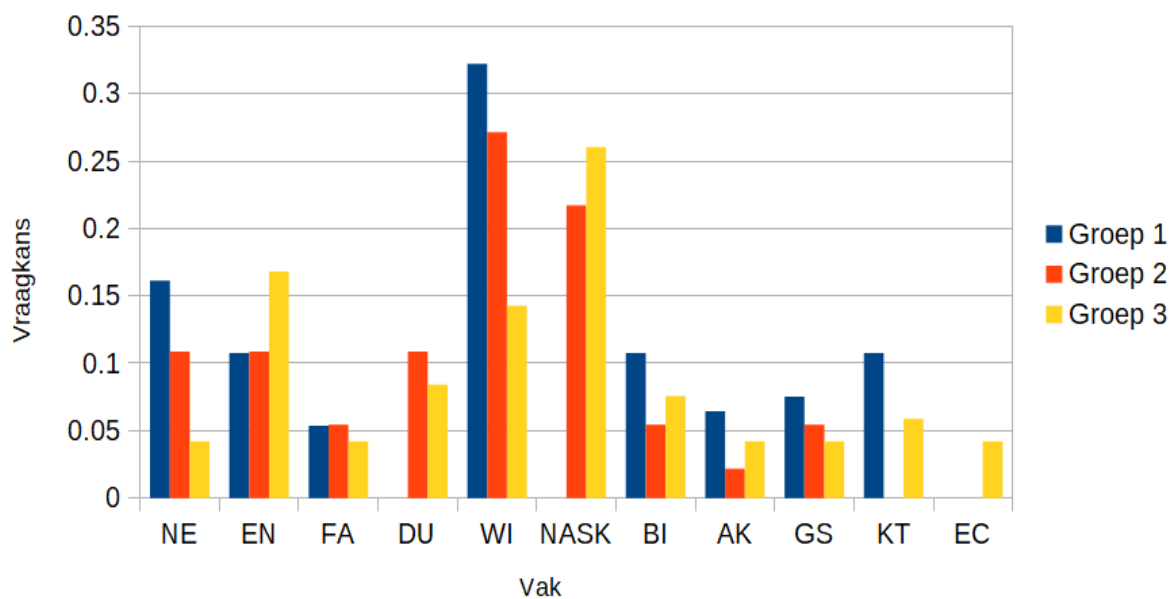


Figuur 13: Dummy vraagdistributie 1

Tabel 14: Procent fte per vak van totaal

Vak	Ne	En	Fa	Du	Wi	Nask	Bi	Ak	Gs	Ec	KT
Fte (%)	14,43	12,37	12,37	3,09	18,65	7,22	9,28	6,19	5,15	0	11,34

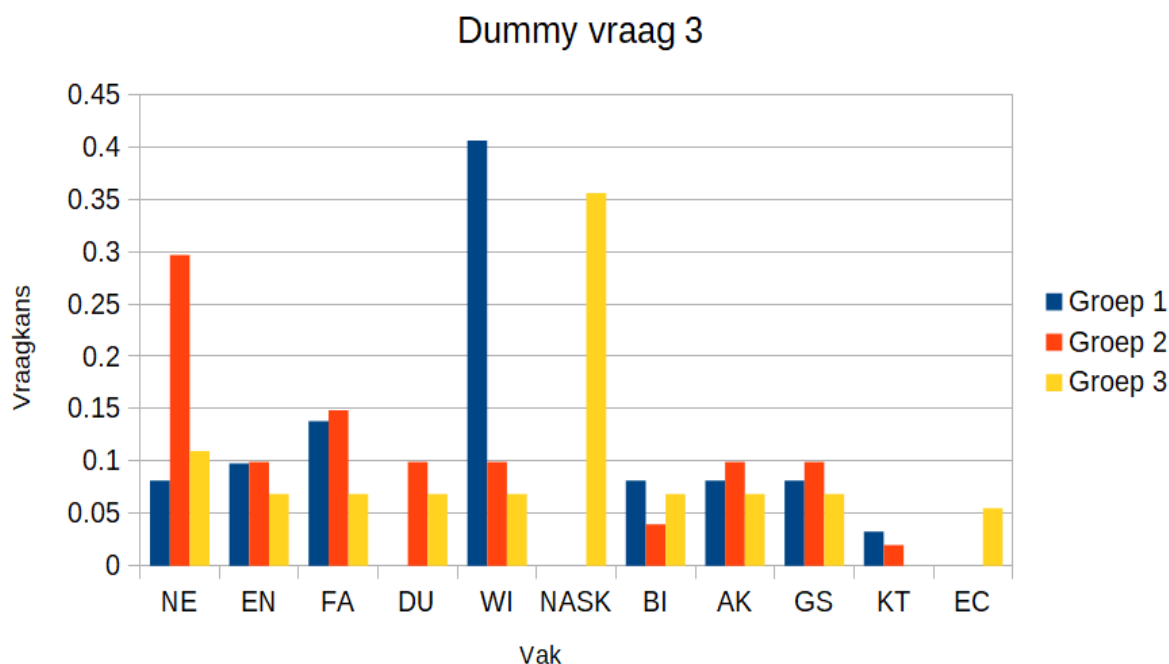
Dummy vraag 2



Figuur 14: Dummy vraagdistributie 2

Tabel 15: Procent fte per vak van totaal

Vak	Ne	En	Fa	Du	Wi	Nask	Bi	Ak	Gs	Ec	KT
Fte (%)	16,67	12,75	12,75	5,88	11,76	3,92	9,80	10,78	9,80	1,96	3,92



Figuur 15: Dummy vraagdistributie 3

In Figuur 15 zien we het dummy vraagpatroon 3. Gebaseerd op deze vraag is gekeken wat in dit geval de best gevonden planning en bijbehorende penalty is. De best gevonden penalty voor dit scenario is 0,217. De bijbehorende verdeling van fte over de vakken is gegeven in Tabel 16.

Tabel 16: Procent fte per vak van totaal

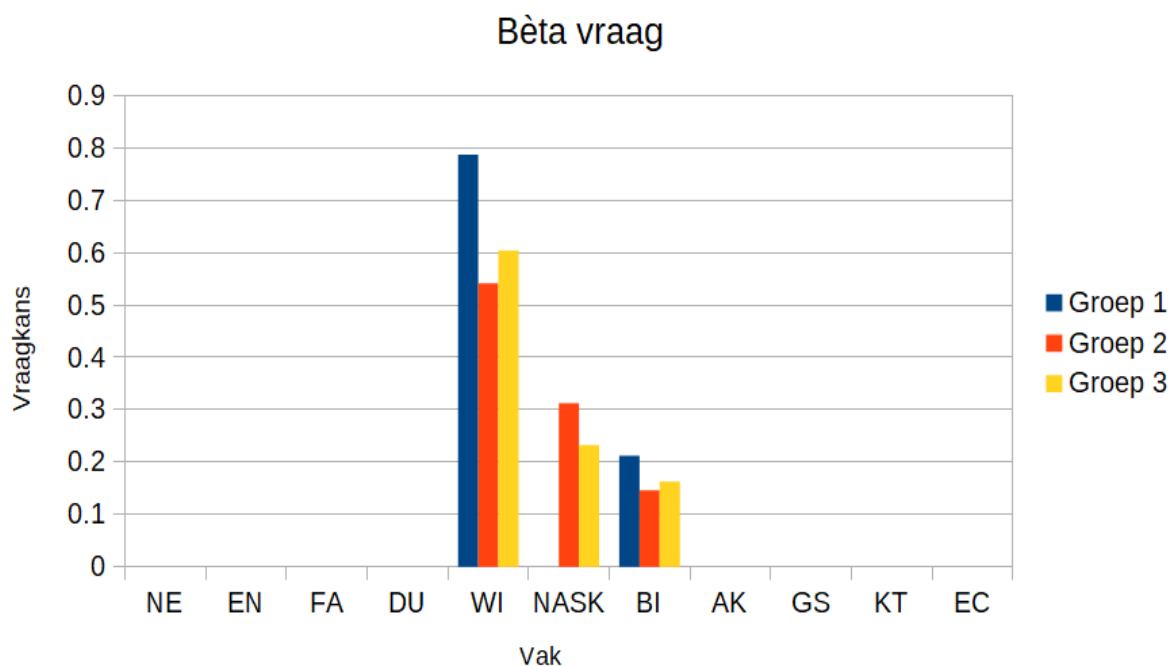
Vak	Ne	En	Fa	Du	Wi	Nask	Bi	Ak	Gs	Ec	KT
Fte (%)	12,12	16,16	7,07	7,07	14,14	11,11	10,10	6,06	9,09	1,01	6,06

Extreem vraagpatroon

Om het effect van de vraagdistributie van leerlingen verder te bestuderen, kijken we ook naar extreme vraagpatronen. Hierbij kijken we naar één situatie waar leerlingen alleen vragen hebben voor bèta vakken, één situatie waar leerlingen alleen vragen hebben voor talen hebben en één situatie waar de vraagkans voor elk vak gelijk is.

In Figuur 16 zien we een vraagdistributie met alleen vraag voor bèta vakken. Gebaseerd op deze vraag is gekeken wat in dit geval de best gevonden planning en bijbehorende penalty is. De best gevonden penalty voor dit scenario is 0,217. De verdeling van het aantal fte over de vakken staat in tabel 17.

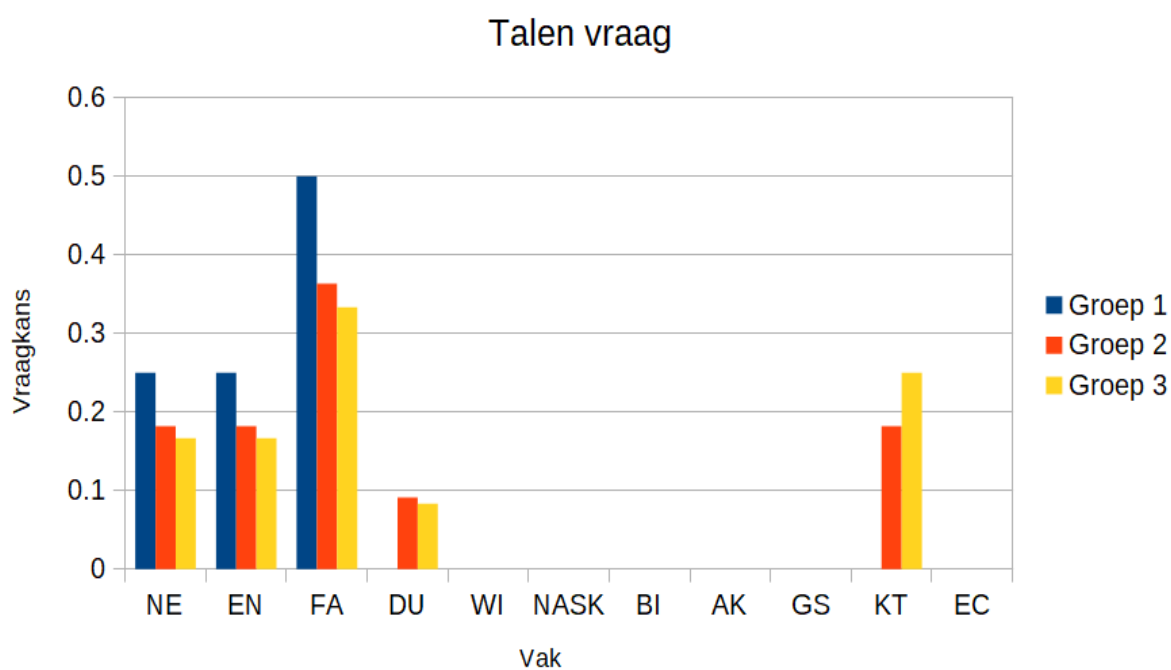
In Figuur 17 zien we een vraagdistributie met alleen vraag voor talen. Gebaseerd op deze vraag is gekeken wat in dit geval de best gevonden planning en bijbehorende penalty is. De best gevonden penalty voor dit scenario is 0,217. De bijbehorende verdeling van fte over de vakken staat in Tabel 18.



Figuur 16: Vraag distributie alleen bèta vakken

Tabel 17: Procent fte per vak van totaal

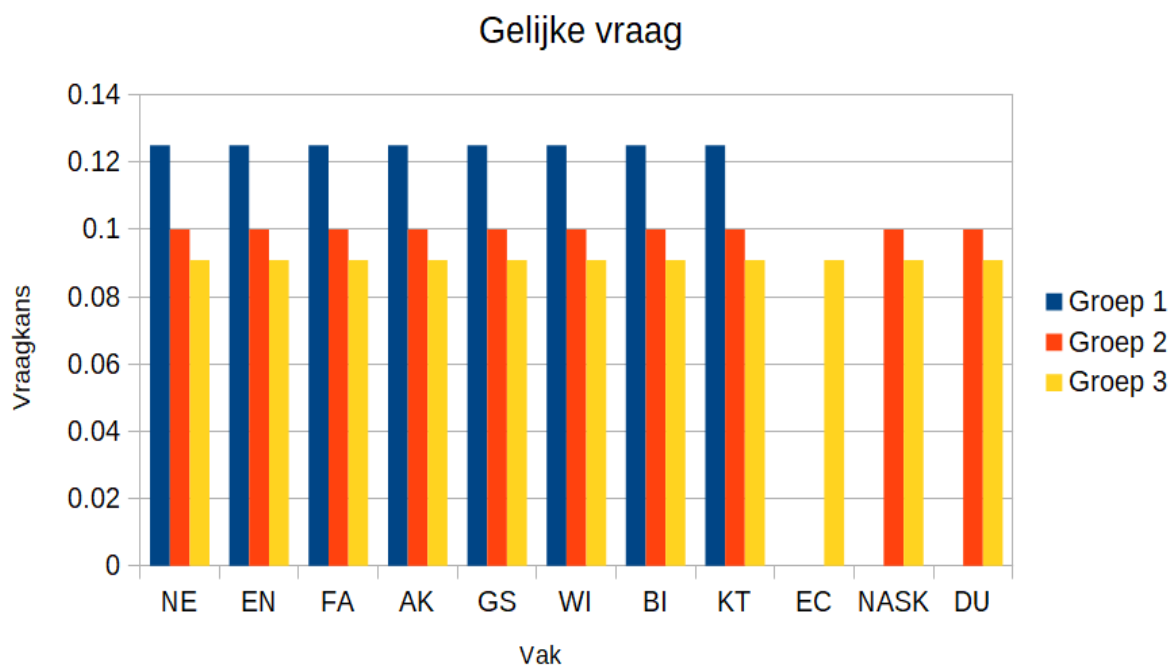
Vak	Ne	En	Fa	Du	Wi	Nask	Bi	Ak	Gs	Ec	KT
Fte (%)	0	0	0	0	56,84	18,95	24,21	0	0	0	0



Figuur 17: Vraag distributie alleen talen

Tabel 18: Procent fte per vak van totaal

Vak	Ne	En	Fa	Du	Wi	Nask	Bi	Ak	Gs	Ec	KT
Fte (%)	24	22	32	8	0	0	0	0	0	0	0



Figuur 18: Vraagdistributie met gelijke vraag voor elk vak

In Figuur 18 zien we de vraagdistributie waarbij elk vak evenveel gevraagd wordt. Gebaseerd op deze vraag is gekeken wat in dit geval de best gevonden planning en bijbehorende penalty is. De best gevonden penalty voor dit scenario is 0,000. De bijbehorende verdeling van het aantal fte per vak staat in Tabel 19.

Tabel 19: Procent fte per vak van totaal

Vak	Ne	En	Fa	Du	Wi	Nask	Bi	Ak	Gs	Ec	KT
Fte (%)	12,22	12,22	11,11	5,56	10	5,56	10	11,11	10	2,22	10

7.4 Experimenten plannen van keuzewerktijduren: wensen Mariëndael

Punten die uit de antwoorden kwamen van de eerder genoemde vragenlijst over wensen omtrent de planning van keuzewerktijduren zijn:

- Minstens twee vakken per keuzewerktijduur. In de tool kan dit worden meegenomen. Uit de experimenten blijkt dat daar aan wordt voldaan, ook als dit niet als voorwaarde is meegenomen.
- Geen maximum aantal vakken per keuzewerktijduur. In de tool kan dit worden meegenomen. Er wordt dan alleen een totaal aantal uren meegegeven.
- Capaciteit van het aantal leerlingen per les definiëren per vak in plaats van één capaciteit die voor alle vakken/lessen geldt. Dit laatste is nu de standaard in de tool.
- Er mag spreiding zijn tussen de penalties per leerling, maar deze spreiding moet binnen een bepaalde maat blijven. Een gebruiker kan in de uitkomsten van een experiment met een planning analyseren of dit zo is. Een volgende stap is om dit type randvoorwaarde aan de voorkant van de tool al mee te nemen.

7.5 Experimenten met generieke simulatiemodel

In dit hoofdstuk bespreken we de experimenten en bijbehorende resultaten voor het generieke simulatiemodel. De opzet van de experimenten is gedefinieerd in gespreken tussen de projectleider en het onderzoeksteam om zo ook in deze fase de koppeling met de praktijk goed te borgen.

De gebruikte data zijn van het Picasso Lyceum en verzameld in 2015. De data beschrijven het aantal leerlingen dat jaarlijks instroomt per opleiding, de kans dat een bepaald profiel door een leerling wordt gekozen, de kans van slagen, leersnelheden voor instructie- en zelfstudieactiviteiten, het aantal lessen per dag, de beschikbaarheid en lesbevoegdheid van docenten en het aantal lokalen met hun capaciteit. Hieronder in Tabel 20 een samenvatting van de gebruikte data zoals eerder ook vermeld in [7].

Meerdere experimenten zijn uitgevoerd. We bespreken er hier één waarvan de resultaten te vertalen zijn naar onderwijskundige inzichten op het gebied van de effecten van de *effectiviteit van leerlingen bij zelfstudie-activiteiten* in gepersonaliseerd leren. In het model wordt een factor toegepast die weergeeft hoe snel een leerling een module doorloopt als deze leerling instructie krijgt een daaraan gekoppeld lager getal die de snelheid weergeeft als deze leerling de leerstof van de module moet verwerven middels zelfstudie (door het ontbreken van een docent/lokaal of het niet voldaan aan het criterium van een voldoende groeps grootte). In verschillende experimenten kijken we wat het effect is als leerlingen effectiever worden in zelfstudie. In het basisscenario gingen we er vanuit dat een zelfstudie half zo effectief is als een lesactiviteit. Door het verbeteren van de vaardigheden van leerlingen op het gebied van zelfstudie en/of het aanbieden van op maat inhoudelijke begeleiding bij de zelfstudie, kan deze factor omhoog. We testen achtereenvolgens de factoren 0,5, 0,6 en 0,9. De uitkomsten van het simulatiemodel laten zien dat het verhogen van de leersnelheid bij zelfstudie een significante positieve invloed heeft op de doorlooptijden van leerlingen. Of te wel, de doorlooptijden van zowel HAVO als VWO leerlingen zullen omlaag gaan als leerlingen effectiever zijn in de zelfstudie. Het effect van het verhogen van de effectiviteit van de zelfstudie op de doorlooptijd door extra personele inzet lijkt veel groter dan het effect op de doorlooptijd van extra inzet van personeel op het verhogen van het aantal instructiemomenten.

Tabel 20: Samenvatting input simulatiemodel en hun waarde in basis scenario, zie ook [7]

Parameter	Waarde
% HAVO/VWO leerlingen in een vak	75%/25%
Aantal modules HAVO/VWO per vak	36/48
Benodigd aantal effectieve uren om module af te ronden	20
Bijdrage van les aan voortgang module t.o.v. zelfstudie	1 uur les = 0,5 uur zelfstudie
Leersnelheid voor elk vak	5 waarden met kans
Aantal nieuwe leerlingen per jaar	200
Kans dat een leerling/docent aanwezig is op een dag	95%
Kans dat een leerling een module succesvol afrondt	95%
Minimaal benodigde groepsgrootte voor een les/zelfstudie	5
Aantal lokalen (met wisselende capaciteit)	38
Aantal lessen van 50 minuten per dag	9
Docenten Nederlands	1 (1e graads) en 6 (2e graads)
Docenten Engels	2 (1e graads) en 4 (2e graads)
Docenten Frans	1 (1e graads) en 3 (2e graads)
Docenten Wiskunde	3 (1e graads) en 4 (2e graads)
Docenten Economie	0 (1e graads) en 3 (2e graads)
Docenten IT	0 (1e graads) en 2 (2e graads)
Docenten Biologie	2 (1e graads) en 2 (2e graads)
Docenten Muziek	0 (1e graads) en 3 (2e graads)
Docenten Geschiedenis	1 (1e graads) en 4 (2e graads)
Docenten Aardrijkskunde	1 (1e graads) en 4 (2e graads)

8 Conclusies en verder onderzoek

In het huidige VO-onderwijssysteem zien we doorgaans een langetermijnplanning van logistieke activiteiten, zoals een jaarlijks vastgesteld lesrooster. Bij gepersonaliseerd onderwijs zal in een interactie tussen leerlingen en leraren afstemming plaatsvinden over leervragen en worden lesactiviteiten flexibel ingepland. Het creëren van deze flexibiliteit is een grote uitdaging waarvoor nieuwe logistieke beslisregels nodig zijn. Om te komen tot een formulering van de onderzoeksvraag voor het project zijn we gestart met uitgebreide observaties in drie scholen uit het Zo.Leer.Ik!-netwerk. De uitkomsten van deze observaties zijn beschreven in hoofdstuk 2. Bij elk van de scholen kwam de volgende vraag naar voren in de overgang van het huidige naar het volgende schooljaar, namelijk hoe zorgen we er voor dat elke leerling op elk moment op de juiste plek zit? Belangrijke deelvragen daarvoor zijn hoe keuzewerktijdduren te plannen en wat betekent dat voor je personeelsplanning.

Om een antwoord op deze vragen te vinden hebben we een ontwerpstudie uitgevoerd waarin analytisch kwantitatief onderzoek en simulatie centraal staan. In Fase 1 hebben we naast de observaties ook gekeken welke data beschikbaar zijn om de ontwikkelde methodieken te kunnen valideren. Zie de bespreking van de resultaten in hoofdstuk 2.5. Uit dit overzicht blijkt dat de scholen nog niet de beschikking hebben over historische data die daadwerkelijke leervragen van leerlingen beschikken. Dit is een belangrijke bron van informatie voor de organisatie van gepersonaliseerd leren. Door COVID-19 hebben we uiteindelijk geen data in de betrokken scholen kunnen verzamelen. Daarom is gebruik gemaakt van data die eerder in onderzoeksprojecten zijn verzameld en van expertschattingen (zie hoofdstuk 4).

In Fase 2 hebben we een tool voor het plannen van keuzewerktijdduren ontwikkeld. De tool geeft een school de mogelijkheid om een planning van keuzewerktijdduren te maken op basis van voorspellingen van leervragen en voor een vooraf gedefinieerd totaal aantal lessen. Naarmate de voorspelling van de

leervragen beter wordt, zal de kwaliteit van de planning toenemen. Dit laatste kan zelfs een iteratief proces zijn gedurende een aantal jaren omdat bij de scholen steeds meer data over leervragen kunnen worden verzameld.

De heuristiek werkt vanuit een startoplossing stapsgewijs via een slimme combinatie van operatoren toe naar een planning. De kwaliteit van de planning wordt gemeten aan de hand van een penalty die het gemiddelde aangeeft van het aantal keer dat een leerling een vraag over een vak had, maar zich hier niet voor in kon schrijven gedurende de gekozen periode.

Deze planning geeft per moment een combinatie van vakken aan die voor een groep leerlingen tegelijkertijd kan worden ingepland. Ook wordt aangegeven wat de verdeling van de docentencapaciteit over de verschillende vakken is (in % van het aantal fte). In Fase 4 hebben we een uitgebreide set van experimenten gedaan met de tool zowel voor een basis als voor alternatieve scenario's. Daaruit hebben we onder andere geleerd dat het voor een school interessant is om te kijken of het toevoegen van capaciteit (i.e. extra docent voor een vak) significant de kwaliteit van de planning van de keuzewerktijduren verbetert. Met de tool kan ook worden onderzocht wat het effect is als het aantal momenten aan keuzewerktijd wordt opgeschaald van bijvoorbeeld één moment per dag naar meerdere momenten per dag.

In Fase 3 hebben we het in 2018 ontwikkelde generieke simulatiemodel verder verfijnd. Aanpassingen zijn onder meer het toevoegen van verschillende varianten van leersnelheden van leerlingen, een variabele in plaats van vaste instroom per jaar, beschikbaarheid van docenten per dagdeel in plaats van per dag en een combinatie tussen leersnelheden en slagingskansen. Door middel van een uitgebreid proces van verificatie en validatie met stakeholders uit de praktijk zijn de wijzigingen getoetst. Hiervoor zijn data gebruikt die eerder in 2015 zijn verzameld. Verschillende experimenten zijn uitgevoerd om daarna ook de onderwijskundige implicaties verder te analyseren en te bespreken.

8.1 Ideeën voor verder onderzoek

Voor verder onderzoek is het van belang de ontwikkelde tool en het simulatiemodel bij een aantal scholen concreet te toetsen. Dit was helaas in dit project niet mogelijk was door de Coronamaatregelen. Door het testen van de tool bij meerdere scholen wordt het ook mogelijk om generieke inzichten over eigenschappen van planningen van keuzewerktijduren af te leiden. Ook dient onderzocht te worden wat de initiële leervraag van leerlingen is en hoe die het beste kan worden geïnventariseerd en opgeslagen. In dit project waren de beschikbare data gevormd door de gehonoreerde wensen van leerlingen, maar onbekend is of dit dan de tweede of derde keus van hun eigenlijke vraag was terwijl hun eerste keus niet gehonoreerd kon worden omdat het aanwezige keuzewerktijduur al 'vol' was. Uit het onderzoek blijkt ook dat de data die de oorspronkelijke leervraag weergeven op geen van de participerende scholen voorhanden was. Het is van belang om deze data te gaan verzamelen. Niet alleen als belangrijke input voor het gebruik van de ontwikkelde tool, maar in bredere zin voor het ontwerpen van de logistiek van gepersonaliseerd leren om zo daadwerkelijke leervragen te kunnen vertalen naar aan te bieden lesactiviteiten. Daarnaast kan in vervolgonderzoek worden gekeken wat de effecten op personeelsplanning en toegankelijkheid van lesactiviteiten voor leerlingen zijn als je leerjaren combineert in een planning van keuzewerktijduren of over scholen heen een planning maakt.

Daarnaast is het interessant om het generieke simulatiemodel verder uit te bouwen. Deze uitbreidingen zijn op te delen in drie categorieën, namelijk uitbreiden van de invoergegevens, uitbreiden van beslisregels en algemene eigenschappen. Bij de tweede categorie, uitbreiden van beslisregels, denken we dan bijvoorbeeld aan het ontwikkelen van dynamische regels voor het maken van groepen leerlingen en het toewijzen van docenten daaraan. Daarnaast is het interessant om in het model in te bouwen dat een gebruiker naast een real-time planning van lesactiviteiten, ook de keuze kan hebben om planningen van keuzewerktijduren (zoals bijvoorbeeld afkomstig uit de in dit project ontwikkelde tool) te laten simuleren.

9 Referenties

1. Ford, J.D. (2001). Identification of waste in a student's day: An exploratory study, Wichita State University.
2. Van Vuuren, D., Van der Wiel, K. (2015). Zittenblijven kostbaar: Experimenteer met alternatieven. <http://www.cpb.nl/sites/default/files/publicaties/download/cpb-policy-brief-2015-01-zittenblijven-het-primair-en-voortgezet-onderwijs.pdf>.
3. Geijsel, F., Van Eck, E. (2011). Duurzaam vernieuwen, Leren van Expeditie durven, delen, doen. https://onderwijsdatabank.s3.amazonaws.com/downloads/duurzaam_vernieuwen.pdf.
4. Halpin, J., Collier, L. (2013). Pathways to Personalized Learning. http://www.brothercloud.com/pdf/pathways_to_personalized_learning.pdf.
5. Prain, V., Cox, P., Deed, C., Dorman, J., Edwards, D., Farrelly, C., Keeffe, M., Lovejoy, V., Mow, L., Sellings, P., Waldrip, B., Yager, Z. (2013). Personalised learning: lessons to be learnt. *British Educational Research Journal*, 39(1), 654–676.
6. Jorritsma, E. (2016). 90 kinderen in een les? Soms kan dat prima. *NRC Handelsblad*, 8 juni 2016, 7.
7. Spronk, C., Lopez Alvarez, J., Dam, J., Hahn, J., Vermeulen, R., Riezebos, J., Kokx, W., Vis, I. (2016). Lean in het voortgezet onderwijs: een overzicht van eerste projectresultaten. *rapport Rijksuniversiteit Groningen*, <http://www.rug.nl/cope/projecten/onderwijslogistiek>.
8. Watson, W.R., Watson, S.L., Reigeluth, C.M. (2013). Education 30: breaking the mold with technology. *Interactive Learning Environment*, 23(3), 332–343.
9. Emiliani, M.L. (2012). We Can Do It!/ *The CLBM, LLC*.
10. Vis, I.F.A. (2011), Procesontwerp: Economie en Wiskunde in Bedrijf. Oratie uitgesproken op 8 november 2011, Rijksuniversiteit Groningen.
11. Ropke, S., Pisinger, D. (2006). An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows. *Transportation Science*, 40(4), 455–472.
12. Pisinger, D., Ropke, S. (2010). Large neighborhood search. in *Handbook of Metaheuristics*, Springer, 399–419.

10 Appendix A: Verklaring afkortingen vakken

Tabel 21: Afkortingen vakken

Afkorting	Vaknaam
NE	Nederlands
EN	Engels
FA	Frans
AK	Aardrijkskunde
GS	Geschiedenis
WI	Wiskunde
BI	Biologie
BV	Beeldende vorming
DR	Drama
MU	Muziek
EIO	Europese en internationale oriëntatie
KT	Klassieke talen
REK	Rekenen
DU	Duits
NASK	Natuur- & Scheikunde
EC	Economie
ZS	Zelfstudie

11 Appendix B: Details doorgevoerde wijzigingen generieke simulatiemodel

11.1 Profielen

In het simulatiemodel zijn er opleidingen en profielen. De opleiding is het niveau van de leerling. Dit kan bijvoorbeeld havo, vwo of vmbo zijn. Binnen deze opleidingen zijn er verschillende stromingen waaruit de leerling kan kiezen. Deze stromingen, ook wel profielen genoemd, bestaan uit diverse vakken die in het platform onder gegevens → profielen geselecteerd kunnen worden. Bij deze selectie kan de gebruiker ook de kans aangeven dat een leerling ingedeeld wordt bij één van deze profielen. In het oorspronkelijke model was het mogelijk als gebruiker om een kans per opleiding te creëren voor de profielen samen die meer of minder was dan 1. Dit resulteerde in een foutmelding achteraf, waardoor de simulatie niet werd uitgevoerd.

In het nieuwe model is een aanpassing doorgevoerd zodat gebruikers op de hoogte worden gesteld als er een aanpassing wordt aangebracht die niet juist uitgevoerd kan worden. Dit betekent in de praktijk dat de totale kans over de profielen per opleiding te allen tijde moet optellen tot 1. Als dit getal meer of minder is dan 1 dan zal er een foutmelding verschijnen op het scherm van de gebruiker. Deze foutmelding geeft aan “Pas op! De probability klopt niet. Gezamenlijk moet het per opleiding optellen tot 1.”

Om dit te controleren wordt er iedere seconde een berekening uitgevoerd die kijkt of inderdaad de kansen kloppen. Op het moment dat deze berekening niet optelt tot 1 per opleiding zal er een waarschuwing verschijnen. Op het moment dat de waarschuwing eenmalig is getoond zal deze verdwijnen bij het klikken op “ok” en daarna, tijdens deze sessie, niet opnieuw opduiken. Hierbij is er vanuit gegaan dat de gebruiker dan voldoende op de hoogte is gesteld van de implementatie.

11.2 Jaarlijkse instroom

De jaarlijkse instroom verschilt per opleiding. Een gebruiker voert de juiste aantallen per opleiding in. In de oorspronkelijke versie van het model was dit een statisch getal dat gedurende een run elk jaar hetzelfde was. Eventuele afwijkingen in de instroom tijdens een run konden niet worden meegenomen. Bijvoorbeeld als een school weet dat het leerlingenaantal de komende tijd zal verdubbelen, dan is het handig om dat mee te kunnen geven in de run.

De gemaakte aanpassing richt zich hier specifiek op. De gebruiker heeft nu de optie om de instroom niet vast maar variabel aan te passen met een bepaalde afwijking. De omvang van de afwijking kan door de gebruiker geselecteerd worden. In de basis zijn 12 nieuwe afwijkingen toegevoegd, namelijk reguliere en extreme afwijkingen. De reguliere afwijkingen beperken zich tot de waarden tussen de 1% en 6%. De extremen hebben waardes van 10% tot en met 60%. De ingestelde afwijking kan zowel een positief, negatief of geen effect hebben op de instroom. De kans dat één van deze drie opties wordt gebruikt is volledig willekeurig en wordt per studiejaar opnieuw bepaald.

Om de veranderingen door te voeren in het simulatiemodel is een aantal aanpassingen doorgevoerd in de diverse omgevingen. Allereerst is in de interface een extra input box toegevoegd waarin wordt gevraagd welk percentage de gebruiker zou willen gebruiken om de voorspelde afwijking weer te geven. De nieuwe waarde wordt opgevangen in het transportbestand dat de waardes doorstuurt naar de API. In de API wordt gecontroleerd of de waardes correct zijn. Uiteindelijk zal via de API het bestand worden doorgegeven aan het model op Peregrine.

11.3 Leersnelheden

In het nieuwe model zijn meer mogelijkheden met betrekking tot de leersnelheden opgenomen. In de reguliere situatie gaan we uit van een gemiddelde leersnelheid van 1,1. In totaal zijn nu vijf scenario's

beschikbaar. Een scenario wordt beschreven in de vorm van een kansverdeling. Het eerste getal beschrijft de kans, het tweede getal de leersnelheid. Als een leerling in het simulatiemodel komt, dan wordt een leersnelheid voor elk vak getrokken.

Scenario 1: Oorspronkelijk

Een willekeurig getrokken snelheid met de volgende verdeling (0,2-0,9; 0,2-1,0; 0,2-1,1; 0,2-1,2; 0,2-1,3). Of te wel, iedere snelheid heeft een even grote kans om te worden getrokken.

Scenario 2: Langzamer dan gemiddeld

In dit scenario leert de meerderheid van de leerlingen langzamer dan gemiddeld. De verdeling hierbij is (0,5-0,9; 0,2-1,0; 0,2-1,1; 0,05-1,2; 0,05-1,3).

Scenario 3: gemiddeld

In dit scenario gaan we uit van een gemiddelde leersnelheid van 1,1. De bijbehorende verdeling is: (0,2-0,9; 0,2-1,0; 0,2-1,1; 0,2-1,2; 0,2-1,3)

Scenario 4: Sneller dan gemiddeld

In dit scenario is de meerderheid van de leerlingen bovengemiddeld snel. De verdeling in dit geval is (0,05-1,1; 0,05-1,2; 0,2-1,3; 0,2-1,4; 0,5-1,5).

Scenario 5: Opleidingspecifiek

In dit scenario is het afhankelijk van de opleiding welke snelheid een leerling heeft. Voor VWO leerlingen geldt de verdeling: [0,2-1,1; 0,2-1,2; 0,2-1,3; 0,2-1,4; 0,2-1,5]. Voor HAVO leerlingen geldt: [0,2-0,9; 0,2-1,0; 0,2-1,1; 0,2-1,2; 0,2-1,3]

11.4 Snelle leerlingen hebben een hogere kans van slagen

Snelle leerlingen zijn in veel gevallen in staat om informatie sneller tot zich te nemen. De leerlingen leren sneller en als ze eenzelfde aantal uren in een klas zitten is de kans groter dat zij meer informatie hebben verwerkt. Dit zorgt ervoor dat de kans dat de leerling het vak uiteindelijk met goed gevolg afrond groter is. In het standaard model wordt een slagingskans gehanteerd van 95%. Op het moment dat een leerling wordt geïdentificeerd als een snelle leerling (leersnelheid van 1,2 of hoger) dan zal deze slagingskans toenemen tot 99%.

11.5 Beschikbaarheid docenten

In het oorspronkelijke model is het mogelijk om de aanwezigheid van docenten per dag in te plannen, van maandag tot en met vrijdag. Hierin wordt geen rekening gehouden met eventuele beschikbaarheid op slechts een dagdeel. De gemaakte aanpassing heeft zich dan ook gericht om deze mogelijkheid aan te bieden. Voor iedere docent kan nu per dagdeel worden aangegeven of hij/zij beschikbaar is. In de ochtend of in de middag. Waarbij ochtend wordt gedefinieerd als alle lessen tot en met 12 uur en de middag is gedefinieerd als alle lessen na 12 uur.

De waardes worden direct in de database aangepast. Deze database wordt bij het toevoegen van een batch als geheel doorgestuurd naar het model. Het model verwerkt vervolgens met Orator de informatie en voegt deze toe in de Python bestanden. Eerder waardes voor docenten zijn aangepast om ook de extra dagdelen te faciliteren.

In de interface zijn extra opties toegevoegd op de docenten pagina. Op deze pagina kunnen gebruikers nu per docent aangeven welke dagen en dagdelen een docent aanwezig is.

In het model wordt het bestand `schedule.py` gebruikt voor het inroosteren van de docenten. In dit bestand zal in de toekomst nog een tijdsvariabele moeten worden toegevoegd om te kunnen controleren of een roostermoment in de ochtend of middag zal plaatsvinden.

11.6 Ziekteverloop

Docenten kunnen op ieder moment ziek worden. Wat gebeurt er in dat geval? Zijn ze de dag daarna weer beter of blijven ze langer thuis. Het ziekteverloop wordt ingevuld op basis van een Bayesian matrix. In eerste instantie was het mogelijk dat 5% van de docenten ziek zou kunnen worden. Dit is nu verlaagd naar 2.5%. Voor de docenten die op een bepaalde dag ziek worden, nemen we aan dat de volgende dag 60% weer beter zal zijn en 40% ziek blijft. Iedere daaropvolgende dag zal opnieuw 60% van de docenten die nog ziek zijn weer beter worden en 40% nog thuis blijven. Dit zet zich door tot en met 6 dagen na het moment van ziek worden. Daarna wordt iedere docent opnieuw aangemeld als beter.

11.7 Maximale en minimale bezetting per klas

Het minimale en maximale aantal leerlingen dat tegelijk les kan krijgen was voor alle vakken gelijk. Het is nu mogelijk om per module aan te geven wat de maximale groepsomvang zou mogen zijn. Ieder vak bestaat uit een groot aantal modules die moeten worden afgerond voordat een opleiding klaar is. De invulling per module zal anders zijn en door de groepsomvang niet te laten bepalen door het formaat van het lokaal maar door de inhoud van de module kan preciezer worden afgesteld hoeveel leerlingen aanwezig kunnen zijn.