

Het roosterprobleem van Scala

Door Nico de Jongh

Begeleid door DR.IR. G.F. Post

In opdracht van Maarten Gal

Universiteit Twente

29 juni 2018

Samenvatting

In dit onderzoek wordt een rooster programma gecreëerd voor de instelling Scala, het centrum voor de kunst en cultuur in Meppel. Op dit moment roosteren zij nog met de hand, maar dat blijkt steeds moeilijker te worden. Om die reden heeft Scala gevraagd of het roosterproces geautomatiseerd kon worden. Om dit te verwezenlijken wordt een integer lineair programmeer model opgesteld dat zoekt naar een optimaal rooster. In het programma C# is een gebruiksvriendelijke applicatie gemaakt die aan de hand van het model een rooster genereert. Dit rooster geeft weer op welke dagen een docent een workshop moet geven aan een groep. De tijden waarop de workshop plaatsvindt worden nog niet vermeld. Het programma is getest op kleine datasets en de resultaten lijken te voldoen aan de eisen die door Scala aangegeven zijn. Om het programma ook te laten werken voor grotere datasets, zodat Scala het programma in de praktijk ook kan gaan gebruiken, zal het model aangepast moeten worden zodat de capaciteit van de computer niet meer de stoorfactor is.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Probleemomschrijving	5
2.1	Verplichte voorwaarden	6
2.2	Voorwaarden die voorkeuren weergeven	7
3	Theorie	7
3.1	Roosterproblemen	7
3.2	LP-Model	9
3.3	ILP-model	9
4	Model	10
4.1	Aannames	11
4.2	Verzamelingen	12
4.3	Variabelen	13
4.4	Wiskundige constraints	13
4.5	Doelfunctie	16
4.6	Programma	16
5	Resultaten	17
6	Discussie	21
6.1	Aanbevelingen	23
7	Conclusie	25
8	Dankwoord	25
9	Bronnenlijst	26
10	Bijlagen	27
10.1	Evaluatie praktijkopdracht	27
10.2	Uitleg Applicatie	28
10.3	Uitleg Excel bestanden	30

1 Inleiding

Het maken van roosters is een belangrijk proces dat over de hele wereld voor komt. Scholen die hun leerlingen en docenten geschikte roosters willen bieden, bedrijven die hun personeelsroosters willen optimaliseren om minder te kosten te hebben, universiteiten die roosters willen maken aan de hand van de verschillende vakkenpakketten van studenten en zo zijn er nog veel meer voorbeelden te noemen. De eisen van al die roosters zijn verschillend en blijken steeds gecompliceerder te worden [9]. Vroeger moesten de roosters nog met de hand gemaakt worden. Sinds de uitvinding van de computer hoeft dat niet meer en wordt het maken van roosters steeds meer geautomatiseerd. Dit zorgt ervoor dat zowel de roosters sneller gemaakt kunnen worden als dat de roosters geoptimaliseerd kunnen worden. De instelling Scala Centrum voor de Kunsten in Meppel maakt hun roosters momenteel nog met de hand en zouden dat proces graag willen automatiseren.

Scala is een instelling dat in opdracht van de gemeente cultuur workshops aanbiedt aan zowel het basis onderwijs als het voortgezet onderwijs. De kerntaak van Scala is het verzorgen van cultuureducatie en het ondersteunen van Amateurkunst en cultuurparticipatie. Scala is actief in de gemeentes Meppel, De Wolden, Hoogeveen, Westerveld, Weststellingwerg, Staphorst en Steenwijkerland op totaal zo'n 150 scholen. Scala onderhoudt contact met ongeveer 70 ZZP'ers die elk gespecialiseerd zijn in het geven van bepaalde workshops. De workshops worden ingedeeld bij een bepaalde discipline, zoals muziek of dans, zodat Scala de scholen verschillende gebieden van cultuuronderwijs kan aanbieden. In overleg met de docent en de school worden de workshops op ingepland.

In dit onderzoek zal gekeken worden naar de planning van Scala zoals die nu is en zal gekeken worden hoe de planning te optimaliseren is. Er zal een programma ontwikkeld worden die een optimaal rooster voor Scala zal genereren.

2 Probleemomschrijving

Scala wilt graag een programma dat voor hen een optimaal rooster kan ontwerpen. Bij het roosteren moet rekening gehouden worden met de voorwaarden en voorkeuren die Scala stelt aan het rooster, zodat het rooster aan de eisen voldoet en te gebruiken is in de praktijk. Uiteindelijk moet het rooster weergegeven worden wanneer een bepaalde groep van een school een workshop heeft en door welke docent de workshop gegeven wordt.

Allereerst moet er bij het plannen rekening worden gehouden met de eisen van Scala zelf. Scala wilt dat alle aangevraagde workshops ingepland worden. Ze bieden workshops aan die uit één les bestaan, of uit een lessenserie van vier lessen. De lessenseries moeten in achtereenvolgende weken gegeven worden door dezelfde docent. De tijdsduur van een workshop verschilt per workshop en de workshops moeten zonder onderbreking gegeven kunnen worden. Sommige workshops mogen alleen in een bepaalde periode gegeven worden, bijvoorbeeld enkel in de lente. Voor elke workshop stelt Scala een prioriteitenlijst op met docenten die de workshop mogen geven. Daarmee geven ze aan welke docent ze het liefst de workshop laten geven en mocht die niet kunnen, dan kan de docent die als tweede aangegeven was gepland worden. Bij voorkeur wilt Scala dat de docenten die de eerste prioriteit hebben, ingepland worden voor de workshop.

Vanwege de reistijden en voorkeuren van de docenten mag een docent op één dag maar in één gemeente werken. Sommige docenten kunnen aangeven dat ze in bepaalde gemeentes helemaal niet willen werken. Bij voorkeur wilt Scala dat een docent op één dag maar op één school werkt om de reistijden nog verder te beperken. Mocht dit niet mogelijk zijn dan moet de docent op dezelfde dag op een school in de nabije omgeving ingepland worden. Scala prefereert het om een docent op één dag zoveel mogelijk workshops te laten geven, zodat hij of zij niet op een aantal dagen maar één workshop hoeft geven. De docenten kunnen zelf aangeven wanneer zij beschikbaar zijn.

De workshops die Scala aanbied behoren tot een discipline. De disciplines zijn; Beeldend, Dans, Erfgoed, Media, Muziek en Theater. Bij de workshops van beeldend moet een docent veel materialen meenemen. De docent kan daardoor op één dag maar drie workshops beeldend geven. Bij de media workshops worden computers gebruikt en daarvan is het aantal beperkt. Om die reden kunnen er maar twee docenten van media op één dag aan het werk zijn. Voor de andere workshops zijn geen extra voorwaarden gesteld. Scala biedt ook workshops aan voor speciale leerlingen, dat zijn leerlingen die bijzonder onderwijs genieten. Deze workshops mogen alleen gegeven worden door docenten die daarvoor bevoegd zijn.

Als laatste moet er ook rekening gehouden worden met de eisen van de scholen. De scholen geven aan welke workshops ze graag willen voor elke groep. Elke groep kan maximaal vier workshops aanvragen per jaar. De scholen geven de dagen en tijden door waarop de groepen beschikbaar zijn. Het is de bedoeling dat

de groepen verspreid over het jaar de workshops krijgen, zodat ze bijvoorbeeld niet in één week alle vier de workshops hebben.

Het doel van het programma is om een toegestaan rooster te vinden dat zoveel mogelijk rekening houdt met de voorkeuren die de verschillende betrokken partijen hebben. De data met gegevens van docenten, scholen en de aangevraagde workshops zal worden aangeleverd in Excel bestanden door Scala.

2.1 Verplichte voorwaarden

De verplichte voorwaarden waaraan het rooster moet voldoen, zoals die beschreven zijn in de probleemomschrijving, worden nu op een rijtje gezet.

- Al de aangevraagde workshops moeten geroosterd worden in het aangegeven tijdsinterval.
- Workshops die bestaan uit meerdere sessies moeten in achtereenvolgende weken gegeven worden door dezelfde docent.
- Een groep mag niet meer dan één workshop per 31 dagen hebben met uitzondering van de sessies.
- Een workshop mag alleen gegeven worden in de periode die ervoor staat, bijvoorbeeld lente of winter.
- De workshops hebben een voorgeschreven tijdsduur die zonder onderbrekingen gegeven moeten worden.
- Groepen kunnen alleen workshops krijgen op de tijden dat de groep kan.
- Het indelen van docenten op workshops gebeurt op basis van de voorkeur van Scala.
- Docenten kunnen alleen workshops geven op de tijden dat ze beschikbaar zijn.
- Een docent kan niet meer dan één workshop tegelijkertijd geven.
- Docenten mogen op een dag niet in verschillende gemeentes werken.
- Een docent beeldend kan maximaal drie workshops op een dag geven vanwege het meenemen van materialen.
- Er kunnen maximaal 2 docenten media per dag aan het werk zijn vanwege materiaalgebruik.
- Speciaal onderwijs mag alleen gegeven worden door docenten die daarin gespecialiseerd zijn.

2.2 Voorwaarden die voorkeuren weergeven

De voorkeuren die Scala heeft bij het plannen van de roosters zullen nu op een rijtje gezet worden.

- Docenten moeten zoveel mogelijk workshops geven op een dag als ze die dag aan het werk zijn.
- Bij voorkeur worden de reistijden van docenten geminimaliseerd.
 - Een docent werkt bij voorkeur op één dag op zo min mogelijk verschillende scholen en in een zo klein mogelijk gebied.
 - Een docent werkt bij voorkeur in zijn of haar eigen gemeente of bij de dichtstbijzijnde gemeentes.

3 Theorie

In deze sectie zal de kennis die nodig is om het weergegeven optimalisatie probleem op te lossen uiteengezet worden. Er zal eerst gekeken worden naar de kennis die al bekend is over roosterproblemen en daarna zal in worden gegaan op de kennis over het optimalisatie-model dat gebouwd moet worden.

3.1 Roosterproblemen

Een veel voorkomend roosterprobleem bestaat uit een verzameling van docenten en studenten die in een bepaalde periode lessen moeten volgen, waarbij het roosteren moet voldoen aan bepaalde voorwaarden. Roosterproblemen zijn grotendeels afhankelijk van de institutie die erbij betrokken is. Het roosterprobleem van Scala kan het best gecategoriseerd worden in de ‘school timetabling’ categorie, zoals dat benoemd is door Schaerf [8]. In een dergelijk probleem wordt vooral gekeken naar het voorkomen van het dubbel plannen op een bepaald tijdstip van de betrokken partijen. Ook kunnen er plannings voorkeuren worden aangegeven waarmee het rooster rekening houdt. Voorbeelden van vergelijkbare onderzoeken die gedaan zijn is het creëren van een rooster voor universiteiten door L. Caccetta en N.A.H Aizam in 2012 [3] en door onder andere J. Havås in 2013 [5]. Beide onderzoeken willen de roosters van individuele studenten optimaliseren door zo min mogelijk overlappende colleges te plannen. Er wordt ook veel onderzoek gedaan naar het creëren van optimale roosters voor werknemers in een bedrijf [1]. De onderzoeken maken gebruik van mixed integer linear programming models (MILP-model) of enkel integer lineaire programmeer modellen (ILP-model) [4].

Een roosterprobleem kan bestaan uit het vinden van een rooster dat voldoet aan enkel de voorwaarden, dit wordt een zoek probleem genoemd [8]. Het kan

ook een optimalisatie probleem zijn, waarbij het rooster voldoet aan alle verplichte voorwaarden, geformuleerd in sectie 2.1, en waarbij een doelfunctie minimaliseert of maximaliseert met betrekking op de voorwaarden die voorkeuren weergeven, geformuleerd in sectie 2.2. Het optimalisatie probleem zoekt naar het best mogelijke rooster.

De basis van een roosterprobleem is onder andere door de Werra geformuleerd. Een docent kan maar één les tegelijkertijd geven en een groep kan maar één les tegelijkertijd krijgen. Het roosterprobleem zoals door De Werra genoemd is, maakt daarom gebruik van periodes. Hij definieert een binaire variabele die 1 is als een docent een bepaalde groep op een bepaald moment (periode) les geeft en die 0 is als dat niet het geval is. De basis van enkel het zoek probleem wordt als volgt gedefinieerd. Hierbij zijn c_1, \dots, c_m de m klassen, t_1, \dots, t_n de n docenten en p het aantal periodes. r_{ij} is het aantal lessen gegeven door docent t_j aan klas c_i . [9]

$$\sum_{k=1}^p x_{ijk} = r_{ij} \quad (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq 1 \quad (i = 1, \dots, m; k = 1, \dots, p) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} \leq 1 \quad (j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, p) \quad (3)$$

$$0 \leq x_{ijk} \leq 1, \quad \text{integer}, (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, p) \quad (4)$$

In het bovenstaand zoek probleem zorgt voorwaarde (1) ervoor dat alle lessen die een docent zou moeten geven ook daadwerkelijk ingepland moeten worden. Het is een belangrijke voorwaarde voor een roosterprobleem dat klassen ook daadwerkelijk hun benodigde lessen krijgen, of in ons geval dat alle aanvragen ook echt ingepland worden. Er zal dus een voorwaarde gedefinieerd moeten worden die zegt dat alle aangevraagde workshops ingepland worden. Het roosterprobleem van Scala zal per dag bekeken worden en zal daardoor in de periode van een dag meerdere lessen kunnen plannen met een docent, afhankelijk van de duur van de lessen en de aanwezige tijden van de groepen en docenten. Het roosterprobleem dat in dit verslag opgesteld zal worden, zal dus een uitbreiding zijn op de basis.

3.2 LP-Model

Lineair programmeren bestaat uit een doelfunctie en constraints, waarbij zowel de doelfunctie als de constraints lineair zijn. Het wordt gebruikt om de optimale oplossing te vinden bij optimalisatie problemen. De algemene vorm van een dergelijk optimalisatie probleem ziet er als volgt uit [5]:

$$\begin{aligned} \min z &= \sum_{j=1}^n c_j \cdot x_j, \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j &\geq b_i, & i = 1, \dots, m, \\ x_j &\geq 0, & j = 1, \dots, n. \end{aligned} \tag{5}$$

Hierbij is c_j de coëfficiënt in de doelfunctie voor variable x_j en a_{ij} en b_i zijn de coëfficiënten van de constraints. Een lineair programmeer model is per definitie convex en kan daardoor relatief eenvoudig opgelost worden [7].

De constraints van het LP-Model zorgen ervoor dat de oplossing toegestaan is. De doelfunctie zorgt ervoor dat de oplossing geoptimaliseerd wordt, zodat de meest gunstige oplossing gegeven wordt.

Bij een lineair programmeer model (LP-Model) zijn de variabelen continu. Het optimalisatie probleem van Scala dat onderzocht wordt, bevat beslissing variabelen. Bij roosterproblemen moet namelijk de beslissing gemaakt worden of er wel of niet gepland wordt. Deze beslissingsvariabelen zijn daarom binair. ([2], pag. 78) Het optimalisatie probleem bevat daarom enkel binaire variabelen waardoor het programmeer model enkel integers bevat.

3.3 ILP-model

Een integer programmeer model (IP-Model) kan zowel lineair als non-lineair zijn. Een integer lineair programmeer model (ILP-Model) is makkelijker om op te lossen dan een non-lineair model [4]. De algemene vorm van een ILP-Model kan als volgt gedefinieerd worden.

$$\begin{aligned} \min z &= \sum_{j=1}^n c_j \cdot x_j, \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j &\geq b_i, & i = 1, \dots, m, \\ 0 \leq x_j &\leq 1, \text{ integer}, & j = 1, \dots, n. \end{aligned} \tag{6}$$

Het verschil met een LP-Model gegeven in (5) is de variabele x_j die nu een binaire variabele geworden is.

Het oplossen van een ILP-Model is moeilijker dan het oplossen van een LP-Model. Het is daarom slim om een ILP-Model op te lossen met behulp van de onderliggende LP-Modellen waarin het ILP-Model uiteengezet kan worden. De meeste oplossings algoritmes gebruiken daarbij de branch-and-bound method ([2], pag. 27). In dit verslag zal niet verder ingegaan worden op hoe de gebruikte solver het ILP-Model oplost.

Eliminatie van producten van variabelen

Het optimalisatie probleem wordt beschreven in een ILP-model. Dit betekent dat er spraken moet zijn van enkel lineaire constraints. Bij het opstellen van de constraints bleek dat bepaalde constraints niet lineair waren. Om die reden is de theorie geraadpleegd om een niet lineaire constraint toch lineair te maken. Dit kan op de volgende manier.

Een product van binaire variabelen kan vervangen worden door één nieuwe variabele. We beschouwen het product $x_1 \cdot x_2$, waarbij beide variabelen binair zijn. Dit product kan vervangen worden door de nieuwe variabele y te introduceren en als volgt te definiëren ([2], pag. 83):

$$\begin{aligned}y &\leq x_1 \\y &\leq x_2 \\y &\geq x_1 + x_2 - 1 \\y &\text{ binair}\end{aligned}\tag{7}$$

Bovenstaande manier is gebruikt om constraint (18) en constraint (19) op te stellen. Het was niet nodig om een nieuwe variabele aan te maken, maar het product kon wel omgeschreven worden naar de vorm zoals in (7) weergegeven is, waarbij y gelijk was aan nul.

4 Model

In deze sectie zullen eerst de aannames genoemd worden die gedaan zijn bij het creëren van het model. Daarna worden de verzamelingen, variabelen en constraints geformuleerd die gebruikt worden in het optimalisatie model. Aan het eind van deze sectie wordt meer informatie gegeven over het programma dat gebruikt wordt.

In het verslag zal vanaf nu gesproken worden over lesactiviteiten. Een lesactiviteit bestaat uit een groep, een workshop en het serienummer van de lesactiviteit. De groepen en workshops worden daarbij dus aan elkaar gekoppeld en het serienummer wordt daarbij vermeld. Dit serienummer is 1 als het de eerste les is van een workshop. Als de workshop bestaat uit meerdere sessies, dan bestaan de serienummers 2,3 en 4 ook.

4.1 Aannames

Om het programma te vereenvoudigen zijn een aantal aannames gedaan. In sectie 6 zal besproken worden wat voor invloed deze aannames hebben op het eindresultaat.

- Docenten hebben maar één discipline.
- Docenten kunnen in elke gemeente werken.
- Docenten hebben geen reistijden.
- De ochtend loopt van 9u tot 12u, de middag loopt van 12u tot 16u.
- Docenten kunnen alleen 's ochtends, 's middags, of de hele dag afwezig zijn.
- Als een docent in overleg beschikbaar is, is de docent niet beschikbaar.
- Een groep vraagt nooit twee keer dezelfde workhop aan.
- Groepen worden niet gesplitst.
- Het plannen van de lesactiviteiten gebeurt per dag.

De volgende drie aannames verkorten de arbeidstijd van een docent. Hiervoor is gekozen omdat er per dag gepland wordt en er dus nog geen rekening gehouden kan worden met de reistijden in minuten. Om toch rekening te houden met reistijden wordt de arbeidstijd verkort. De arbeidstijd van een docent voor een hele dag wordt het grootst verkort. Dit komt doordat het programma enkel de duur van lesactiviteiten van een docent bij elkaar optelt en daarmee controleert of er nog een extra lesactiviteit gegeven kan worden. Daarbij wordt geen rekening meer gehouden met de aanwezige tijden van groepen. Als er namelijk genoeg tijd in de intersecties is om de lesactiviteit te geven, kan die gepland worden als de docent nog tijd heeft. Om te voorkomen dat een docent op één dag meer lesactiviteiten moet geven dan dat de groepen kunnen, omdat zij bijvoorbeeld enkel 's ochtends aanwezig zijn, is deze aanname gedaan.

- Als een docent enkel in de ochtend aanwezig is, kan hij van de 180 minuten maar 150 minuten werken.
- Als een docent enkel in de middag aanwezig is, kan hij van de 240 minuten maar 210 minuten werken.
- Als een docent de hele dag aanwezig is, kan hij van de 420 minuten maar 240 minuten werken.

4.2 Verzamelingen

De volgende verzamelingen zijn nodig voor het model.

- $D = \{1, 2, \dots, \#dagen\}$
De verzameling van dagen waarin de lesactiviteiten gepland moeten worden.
- G , een verzameling van alle groepen.
- W , een verzameling van alle workshops.
- $S = \{1, 2, 3, 4\}$
Een verzameling met serienummers van een les in de lessenserie.
- L , een verzameling met alle lesactiviteiten die aangevraagd zijn.
- L_g , een verzameling met alle lesactiviteiten die aangevraagd zijn door de groep g .
- L_{1g} , een verzameling met de lesactiviteiten met serienummer $s = 1$ van een groep g .
- L_{1serie} , een verzameling met alle eerste lessen van de workshops die een lessenserie van 4 lessen bevatten.
- $L_{Beeldend}$, een verzameling met alle lesactiviteiten die tot de discipline beeldend behoren.
- T , een verzameling met alle docenten.
- T_l , de verzameling van de docenten die de lesactiviteit l mogen geven.
- T_{media} , een verzameling met de docenten van de discipline media.
- $A_{l,t,d} = \{0, 1, 2, \dots, 240\}$
Een verzameling met de intersecties in minuten van de aanwezigheidstijden van de lesactiviteit l en de docent t op dag d .
- $P_l = \{45, 60, 90, 120, 150\}$
Een verzameling met de tijdsduur in minuten van de lesactiviteit l .
- $P_{t,d} = \{0, 150, 210, 240\}$
Een verzameling met de arbeidstijden van docent t op dag d . De getallen die in de verzameling staan komen voort uit de aannames.
- L_m , een verzameling met alle lesactiviteiten in gemeente m .
- $M = \{\text{Meppel, De Wolden, Hoogeveen, Steenwijkerland, Staphorst, Westerveld, Weststellingwerf}\}$
Een verzameling van alle gemeenten waar Scala actief is.
- $School$, een verzameling met alle scholen waar Scala actief is.

4.3 Variabelen

De volgende variabelen worden gebruikt in het model.

- $x_{l,t,d}$
Deze binaire variabele is 1 als een bepaalde lesactiviteit l gekoppeld is aan een bepaalde teacher t op een bepaalde dag d
- $w_{t,d}$
Deze binaire variabele is 1 als een bepaalde teacher t werkt op dag d

4.4 Wiskundige constraints

In deze subsectie zullen de wiskundige constraints weergegeven worden met de daarbijhorende uitleg. De constraints zijn opgesteld aan de hand van de eerder genoemde verplichte voorwaarden in 2.1.

$$\sum_{d,t} x_{l,t,d} = 1, \quad \forall l \in L, \quad (8)$$

(8) Alle lesactiviteiten moeten worden gekoppeld aan een docent en een dag.

$$x_{l,t,d} = 0, \quad \forall l \in L, \forall t \notin T_l, \forall d \in D \quad (9)$$

(9) Als een bepaalde docent deze les niet mag geven, mag hij niet gekoppeld worden.

$$\sum_l x_{l,t,d} \cdot P_l \leq P_{t,d}, \quad \forall t \in T, d \in D, \quad (10)$$

(10) De som van de lesactiviteiten van een docent op een dag mag niet meer zijn dan zijn werktijden.

$$\sum_{l_g \in L_{1g}} \sum_t \sum_d^{d+30} x_{l,t,d} \leq 1, \quad \forall g \in G, \forall d \in D, \quad (11)$$

(11) Een groep mag maximaal een workshop per 31 dagen volgen.

$$\begin{aligned} x_{l,t,d} - x_{l+1,t,d+7} &= 0 \\ x_{l,t,d} - x_{l+2,t,d+14} &= 0 \\ x_{l,t,d} - x_{l+3,t,d+21} &= 0 \end{aligned} \quad \forall d \in D, \forall t \in T, \forall l \in L_{1serie} \quad (12)$$

(12) Workshops die een lessenserie van 4 bevatten moeten 4 maal achter elkaar om de 7 dagen worden ingepland. De lesactiviteiten l , $l+1$, $l+2$ en $l+3$ horen hierbij bij één workshop.

$$x_{l,t,d} \cdot P_l \leq a, \quad a \in A_{l,t,d}, \forall l \in L, \forall t \in T, \forall d \in D, \quad (13)$$

(13) Een lesactiviteit kan alleen gekoppeld worden aan een docent t op dag d als er genoeg tijdsoverlap is.

$$\sum_{t \in T_{media}} w_{t,d} \leq 2, \quad \forall d \in D, \quad (14)$$

(14) Er kunnen maar 2 docenten media op een dag aan het werk zijn.

$$w_{t,d} \leq \sum_l x_{l,t,d}, \quad \forall t \in T, \forall d \in D, \quad (15)$$

(15) Als een docent geen lesactiviteit gepland heeft op een dag dan is hij niet aan het werk op die dag.

$$w_{t,d} \geq x_{l,t,d}, \quad \forall t \in T, \forall d \in D, \forall l \in L, \quad (16)$$

(16) Als een docent een lesactiviteit gepland heeft op een dag dan is hij aan het werk op die dag.

$$\sum_{l \in L_{beeldend}} x_{l,t,d} \leq 3, \quad \forall t \in T, \forall d \in D, \quad (17)$$

(17) Een docent kan maar 3 lesactiviteiten beeldend geven op 1 dag.

$$\begin{aligned} x_{l_1,t,d} + x_{l_2,t,d} &\leq 1 \\ l_1 \in L_m, l_2 \notin L_m, \forall m \in M, \forall t \in T, \forall d \in D, \end{aligned} \quad (18)$$

(18) Een docent mag op één dag maar in één gemeente les geven.

Er kan voor gekozen worden constraint (18) te vervangen door een sterkere constraint, zodat een docent op één dag maar op één school mag lesgeven. In het programma wordt enkel constraint (18) gebruikt, mocht het anders zijn dan wordt dat aangegeven. De keuze zal besproken worden in de discussie. De constraint ziet er dan als volgt uit.

$$\begin{aligned} x_{l_1,t,d} + x_{l_2,t,d} &\leq 1 \\ l_1 \in L_{school}, l_2 \notin L_{school}, \forall school \in School, \forall t \in T, \forall d \in D, \end{aligned} \quad (19)$$

(19) Een docent mag op één dag maar op één school lesgeven.

4.5 Doelfunctie

De doelfunctie wordt gebruikt om rekening te houden met verschillende voorkeuren voor het plannen. De constraints uit sectie 4.4 zorgen ervoor dat het rooster juist is. De doelfunctie die opgesteld is zorgt ervoor dat het rooster ook nog rekening houdt met de volgende componenten:

- Er wordt geprefereerd een lesactiviteit door een docent te laten geven die in de prioriteitenlijst van de workshop zit. Hoe lager de docent in de prioriteitenlijst geplaatst is, hoe minder graag die docent gepland wordt. Er is gekozen voor een lineair verband in de kosten die opgelegd worden voor een docent met een lagere prioriteit.
- Er wordt geprefereerd een docent zoveel mogelijk lesactiviteiten op één dag te laten geven. Hoe meer lesactiviteiten de docent op één dag geeft, hoe liever dat gepland wordt.

De doelfunctie komt er daardoor als volgt uit te zien, waarbij t_m met $m \in [1, 8], m \in \mathbb{N}$ een docent is die uit prioriteitenlijst m komt van de lesactiviteit l .

$$\begin{aligned} \text{Minimaliseer } & \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} \sum_{d \in D} 2 \cdot x_{l,t_1,d} + 4 \cdot x_{l,t_2,d} + 6 \cdot x_{l,t_3,d} + 8 \cdot x_{l,t_4,d} + 10 \cdot x_{l,t_5,d} \\ & + 12 \cdot x_{l,t_6,d} + 14 \cdot x_{l,t_7,d} + 16 \cdot x_{l,t_8,d} + \sum_{t \in T} \sum_{d \in D} w_{t,d} \end{aligned} \tag{20}$$

4.6 Programma

Het programmeren gebeurt in het programma C#. Een van de voordelen van C# is het feit dat met behulp van het programma applicaties geprogrammeerd kunnen worden en daardoor duidelijk resultaten kan laten zien en toegankelijk is voor de gebruiker. Voor het oplossen van het integer programmeer model is de CPLEX Solver gebruikt [6].

Het C#-bestand waarin de code staat is niet bij het verslag gevoegd, daarvoor is het bestand te groot. Om die reden kan het C#-bestand opgevraagd worden bij de auteur van het verslag.

Het uiterlijk en het de uitleg van het gebruik van de applicatie kan in bijlage 10.2 gevonden worden. Om het programma op de juiste manier te laten werken, moet de data op de juiste manier aangeleverd worden. Dit betekent dat het bestand dat door de applicatie ingelezen wordt een excel bestand moet zijn,

waarin de tabbladen op een standaard ingevuld moeten zijn. Hoe deze data aangeleverd moet worden is weergegeven in bijlage 10.3.

De gegevens met aanvragen voor workshops voor het schooljaar 2018-2019 konden niet op tijd geleverd worden. Om die reden is er alleen met voorbeeldbestanden gewerkt.

5 Resultaten

In deze sectie zullen verschillende resultaten worden weergegeven die verkregen zijn met het programma van enkele voorbeeld datasets. Bij elk resultaat zal aangegeven worden welke eigenschappen de dataset had. Er is nog geen gebruik gemaakt van de complete dataset van Scala omdat die nog niet ontvangen is en omdat die momenteel nog te groot is voor het programma om op een normale computer tot een oplossing te komen.

Scala heeft een aantal voorwaarden gesteld aan de disciplines ‘Media’ en ‘Beeldend’. In figuur (1) worden 4 workshops van de discipline ‘Beeldend’ en 11 workshops van de discipline ‘Media’ gepland. Voor elke workshop is enkel een docent in de 1e prioriteitenlijst geplaatst. De workshops van media duren 90 minuten, de workshop van beeldend duurt 30 minuten. De groepen zijn van 8:30 tot 12:00 en van 13:00 tot 15:00 beschikbaar en de docenten zijn de hele dag beschikbaar.

Lesactiviteit	Group	School ID	Gemeente School	Workshop ID	Workshop	Discipline	Docent	Dag	
1	1,2	DW001	de Wolden	BE02	Boek en Illustratie	beeldend	K	305	5-7-2019
2	3	DW002	de Wolden	BE02	Boek en Illustratie	beeldend	K	305	5-7-2019
3	4	DW003	de Wolden	BE02	Boek en Illustratie	beeldend	K	305	5-7-2019
4	5	DW004	de Wolden	BE02	Boek en Illustratie	beeldend	K	309	9-7-2019
5	6	HG001	Hoogeveen	ME01	Droomwereld	media	Z	298	28-6-2019
6	7	HG002	Hoogeveen	ME01	Droomwereld	media	Z	298	28-6-2019
7	8	HG003	Hoogeveen	ME01	Droomwereld	media	Z	310	10-7-2019
8	1,2,3	HG004	Hoogeveen	ME01	Droomwereld	media	Z	310	10-7-2019
9	1	HG005	Hoogeveen	ME02	Maak je eigen boek	media	O	311	11-7-2019
10	2	HG005	Hoogeveen	ME02	Maak je eigen boek	media	O	298	28-6-2019
11	3	HG005	Hoogeveen	ME02	Maak je eigen boek	media	O	311	11-7-2019
12	4	HG005	Hoogeveen	ME02	Maak je eigen boek	media	O	298	28-6-2019
13	5	HG005	Hoogeveen	ME03	Zoektocht naar kunst	media	B	309	9-7-2019
14	6	HG005	Hoogeveen	ME03	Zoektocht naar kunst	media	B	309	9-7-2019
15	7	HG005	Hoogeveen	ME03	Zoektocht naar kunst	media	B	312	12-7-2019

Figuur 1: Roosteren van beeld en media workshops

Uit figuur (1) kan opgemerkt worden dat alle aangevraagde workshops gepland zijn. De workshops worden alleen gegeven door de docenten die daarvoor aangegeven zijn. Te zien is dat een docent maximaal 3 lesactiviteiten beeldend op een

dag kan geven, ondanks dat de lesactiviteit maar 30 minuten duurt. Ook is te zien dat er op één dag maximaal 2 docenten van media aan het werk zijn kunnen zijn. Tevens is op te merken dat een docent maximaal 2 media workshops geeft op een dag, dit heeft te maken met het feit dat er te weinig tijd is op de dag om nog een workshop te plannen, er waren namelijk maar 240 minuten om te plannen, zie sectie 4.1. Tevens is op te merken dat een docent zo veel mogelijk lessen gepland heeft op een dag dat hij of zij aan het werk is.

Scala biedt ook workshops aan die uit een lessenserie van 4 lessen bestaan. In figuur 2 is te zien hoe een lessenserie ingepland wordt als er drie docenten genaamd J, O en K in de kolom van de 1e prioriteit staan. Drie verschillende groepen van dezelfde school vragen de workshop DA04 aan. Een les uit de lessenserie van de workshop DA04 duurt 150 minuten.

Lesactiviteit	Group	School ID	Gemeente School	Workshop ID	Workshop	Discipline	Docent	Dag		Docent	Dag	
1	1,2	DW001	de Wolden	DA04	De Zee	dans	J	210	1-4-2019	O	67	9-11-2018
2	1,2	DW001	de Wolden	DA04	De Zee	dans	J	217	8-4-2019	O	74	16-11-2018
3	1,2	DW001	de Wolden	DA04	De Zee	dans	J	224	15-4-2019	O	81	23-11-2018
4	1,2	DW001	de Wolden	DA04	De Zee	dans	J	231	22-4-2019	O	88	30-11-2018
5	3	DW001	de Wolden	DA04	De Zee	dans	O	126	7-1-2019	O	67	9-11-2018
6	3	DW001	de Wolden	DA04	De Zee	dans	O	133	14-1-2019	O	74	16-11-2018
7	3	DW001	de Wolden	DA04	De Zee	dans	O	140	21-1-2019	O	81	23-11-2018
8	3	DW001	de Wolden	DA04	De Zee	dans	O	147	28-1-2019	O	88	30-11-2018
9	4	DW001	de Wolden	DA04	De Zee	dans	J	0	3-9-2018	O	206	28-3-2019
10	4	DW001	de Wolden	DA04	De Zee	dans	J	7	10-9-2018	O	213	4-4-2019
11	4	DW001	de Wolden	DA04	De Zee	dans	J	14	17-9-2018	O	220	11-4-2019
12	4	DW001	de Wolden	DA04	De Zee	dans	J	21	24-9-2018	O	227	18-4-2019

Figuur 2: Het roosteren van lessenseries

Figuur 3

In figuur (2) is te zien dat de lessenserie om de 7 dagen gepland wordt en dat de docent elke week dezelfde docent is. De duur van de les zorgt ervoor dat een docent maar één keer op een dag de workshop kan geven. Als de duur van de les aangepast wordt naar 90 minuten dan wordt het resultaat verkregen zoals in figuur (3) is weergegeven. Te zien is dat een docent zo veel mogelijk lesactiviteiten op een dag moet geven.

Als een docent niet kan, een groep niet kan of de workshop niet op een dag gegeven mag worden, dan moet het programma daar rekening mee houden. In dit voorbeeld nemen we aan dat de workshops enkel in de eerste week van het schooljaar gepland mogen worden, zij krijgen dus een ‘afwezigheidsperiode’ voor de rest van het jaar. De docent B geeft workshop MU01 en kan alleen op maandagmiddag en dinsdag. De docent P geeft workshop MU02 en kan alleen op donderdag en vrijdagmiddag. De groepen kunnen in dit voorbeeld alleen in de ochtend van 8:30-12:00. De workshops duren 60 minuten. Het resultaat is te zien in figuur (4).

Lesactiviteit	Group	School ID	Gemeente School	Workshop ID	Workshop	Discipline	Docent	Dag
1	1,2	DW001	de Wolden	MU01	A.M.V.	muziek	B	1 4-9-2018
2	3	DW001	de Wolden	MU01	A.M.V.	muziek	B	1 4-9-2018
3	4	DW001	de Wolden	MU02	Bodyclapping	muziek	P	3 6-9-2018
4	5	DW001	de Wolden	MU02	Bodyclapping	muziek	P	3 6-9-2018

Figuur 4: Roosteren met veel tijd restricties

Uit figuur (4) wordt duidelijk dat de workshops gegeven door B op de dinsdag gegeven worden en de workshops gegeven door P op de donderdag. Dit waren ook de enige mogelijke opties om de lesactiviteiten in te plannen.

Om te laten zien dat groepen maar één keer per maand een workshop mogen volgen, met uitzondering van de lessenseries, wordt het volgende resultaat weer gegeven te zien in figuur (5). Hierbij vragen drie verschillende groepen van dezelfde school drie workshops aan. De workshops duren 60 minuten.

Lesactiviteit	Group	School ID	Gemeente School	Workshop ID	Workshop	Discipline	Docent	Dag
1	1,2	DW001	de Wolden	MU01	A.M.V.	muziek	B	308 8-7-2019
2	1,2	DW001	de Wolden	MU02	Bodyclapping	muziek	P	4 7-9-2018
3	1,2	DW001	de Wolden	MU03	Boomwhacker	muziek	P	142 23-1-2019
4	3	DW001	de Wolden	MU02	Bodyclapping	muziek	P	4 7-9-2018
5	3	DW001	de Wolden	MU03	Boomwhacker	muziek	P	142 23-1-2019
6	3	DW001	de Wolden	MU01	A.M.V.	muziek	B	308 8-7-2019
7	4	DW001	de Wolden	MU03	Boomwhacker	muziek	P	142 23-1-2019
8	4	DW001	de Wolden	MU01	A.M.V.	muziek	B	308 8-7-2019
9	4	DW001	de Wolden	MU02	Bodyclapping	muziek	P	4 7-9-2018

Figuur 5: Het roosteren van groepen die meerdere workshops aanvragen

Een vereiste van het programma is om docenten op een dag maar in een gemeente te laten werken. Dit wordt geïllustreerd door het volgende resultaat te zien in figuur (6). Hierin vragen 4 groepen van 4 scholen uit twee verschillende gemeentes elk één workshop aan, die alleen gegeven kan worden door docent B.

Lesactiviteit	Group	School ID	Gemeente School	Workshop ID	Workshop	Discipline	Docent	Dag	
1	1	DW001	de Wolden	TH01	Kampioensklas	theater	B	179	1-3-2019
2	2	DW001	de Wolden	TH01	Kampioensklas	theater	B	155	5-2-2019
3	3	DW001	de Wolden	TH01	Kampioensklas	theater	B	155	5-2-2019
4	4	DW001	de Wolden	TH01	Kampioensklas	theater	B	155	5-2-2019
5	1	DW002	de Wolden	TH01	Kampioensklas	theater	B	155	5-2-2019
6	2	DW002	de Wolden	TH01	Kampioensklas	theater	B	179	1-3-2019
7	3	DW002	de Wolden	TH01	Kampioensklas	theater	B	179	1-3-2019
8	4	DW002	de Wolden	TH01	Kampioensklas	theater	B	179	1-3-2019
9	1	HG001	Hoogeveen	TH01	Kampioensklas	theater	B	1	4-9-2018
10	2	HG001	Hoogeveen	TH01	Kampioensklas	theater	B	1	4-9-2018
11	3	HG001	Hoogeveen	TH01	Kampioensklas	theater	B	1	4-9-2018
12	4	HG001	Hoogeveen	TH01	Kampioensklas	theater	B	1	4-9-2018
13	1	HG002	Hoogeveen	TH01	Kampioensklas	theater	B	312	12-7-2019
14	2	HG002	Hoogeveen	TH01	Kampioensklas	theater	B	312	12-7-2019
15	3	HG002	Hoogeveen	TH01	Kampioensklas	theater	B	312	12-7-2019
16	4	HG002	Hoogeveen	TH01	Kampioensklas	theater	B	312	12-7-2019

Figuur 6: Docenten mogen maar in een gemeente werken op een dag

Er kan ook voor gekozen worden om een docent op een dag maar op een school te laten werken. Dit betekent dat constraint (19) uit sectie 4.4 wordt geactiveerd in plaats van constraint (18). Het resultaat is weergegeven in figuur (7). Hierin wordt dezelfde dataset gebruikt als voor figuur (6).

Lesactiviteit	Group	School ID	Gemeente School	Workshop ID	Workshop	Discipline	Docent	Dag	
1	1	DW001	de Wolden	TH01	Kampioensklas	theater	B	88	30-11-2018
2	2	DW001	de Wolden	TH01	Kampioensklas	theater	B	88	30-11-2018
3	3	DW001	de Wolden	TH01	Kampioensklas	theater	B	88	30-11-2018
4	4	DW001	de Wolden	TH01	Kampioensklas	theater	B	88	30-11-2018
5	1	DW002	de Wolden	TH01	Kampioensklas	theater	B	203	25-3-2019
6	2	DW002	de Wolden	TH01	Kampioensklas	theater	B	203	25-3-2019
7	3	DW002	de Wolden	TH01	Kampioensklas	theater	B	203	25-3-2019
8	4	DW002	de Wolden	TH01	Kampioensklas	theater	B	203	25-3-2019
9	1	HG001	Hoogeveen	TH01	Kampioensklas	theater	B	256	17-5-2019
10	2	HG001	Hoogeveen	TH01	Kampioensklas	theater	B	256	17-5-2019
11	3	HG001	Hoogeveen	TH01	Kampioensklas	theater	B	256	17-5-2019
12	4	HG001	Hoogeveen	TH01	Kampioensklas	theater	B	256	17-5-2019
13	1	HG002	Hoogeveen	TH01	Kampioensklas	theater	B	270	31-5-2019
14	2	HG002	Hoogeveen	TH01	Kampioensklas	theater	B	270	31-5-2019
15	3	HG002	Hoogeveen	TH01	Kampioensklas	theater	B	270	31-5-2019
16	4	HG002	Hoogeveen	TH01	Kampioensklas	theater	B	270	31-5-2019

Figuur 7: Docenten mogen maar op een school werken op een dag

6 Discussie

Het resultaat dat geleverd is, voldoet nog niet volledig aan de eisen van het roosterprogramma voor Scala. Het programma creëert op dit moment een rooster dat per dag aangeeft of een workshop gepland is of niet. Voor Scala is het belangrijk om te weten hoelaat een workshops gegeven wordt en hoelaat een docent ergens aanwezig moet zijn. Er is overwogen om de binaire variabelen die gebruikt worden niet per dag te definiëren, maar per kwartier. Daardoor zou op alle dagen per kwartier precies weergegeven kunnen worden of er een workshop gepland staat en of er een docent aan het werk is. Het plannen per kwartier zou echter het probleem complexer maken, omdat er meer tijdsvoorwaarden gedefiniëerd moeten worden. Daarnaast zou deze manier ervoor zorgen dat er ongeveer 30x zoveel variabelen aangemaakt zouden worden door het programma, dan dat met het huidige programma gebeurt. Als het huidige programma de dataset van Scala gebruikt voor een heel jaar, zouden er ongeveer 70 miljoen variabelen gecreëerd worden. Een normale computer kan zo'n proces niet aan en zal daarom geen rooster kunnen genereren. Door per kwartier te plannen, zouden er dus nog meer variabelen aangemaakt worden. Het programma zou verbeterd moeten worden zodat er minder variabelen aangemaakt worden. Op dit moment worden er ook variabelen aangemaakt voor de weekenden en de standaard vakanties. Ook worden er variabelen gemaakt voor docenten die niet behoren tot de discipline die bij een workshop hoort. Door nauwkeuriger te kijken naar de variabelen die aangemaakt worden, zou het aantal variabelen gereduceerd kunnen worden, waardoor het programma voor grotere datasets ook uitkomsten kan geven.

Het feit dat er een aantal kleine datasets getest zijn op het programma kan niet volledig bepalen of het programma daadwerkelijk een betrouwbaar resultaat biedt. Omdat we werken met voorbeeld bestanden, kunnen niet alle scenario's volledig bekeken worden. De scenario's die bekeken zijn lijken het juiste resultaat te geven, maar dat kan nog niet met een honderd procent zekerheid zeggen dat een kleine verandering ook nog steeds tot een toegestaan rooster zal leiden. Daarvoor zouden er nog meer bestanden getest moeten worden. Het programma zou het best getest kunnen worden op daadwerkelijk de gegevens van Scala. Deze gegevens konden echter niet op tijd geleverd worden en zouden ook te groot zijn voor het programma.

Als het programma de tijden niet meer per dag inleest, maar per blok, kunnen er een aantal aannames veranderd worden zodat het resultaat representatiever wordt. Op dit moment wordt er bij het plannen vooral rekening gehouden met de werktijden van de docent. Als de som van alle lesactiviteiten op een dag van een docent meer wordt dan zijn werktijden, dan kan de lesactiviteit niet meer gepland worden. Daarbij wordt nog geen rekening gehouden met wanneer de lesactiviteit gegeven wordt. Hierdoor kan het voorkomen dat een docent voor vier lesactiviteiten ingepland is op een dag met elk een duur van 90 minuten, terwijl de 4 groepen allen maar van 8:30 tot 12:00 les hebben en er dus in totaal

maar voor 210 minuten gepland kan worden en dan is er nog geen rekening gehouden met de reistijden van de docent als de lesactiviteiten op verschillende scholen zijn. Om dit probleem te verkleinen waren de aannames gedaan om de docent een half uur minder beschikbaar te laten zijn dan zijn totale werktijd. Het kan echter nog steeds voorkomen dat een docent op één moment dus op verschillende plekken moet zijn en dat hij niet genoeg tijd heeft om naar de volgende lesactiviteit te reizen. Er moeten daarom nieuwe voorwaarden worden toegevoegd aan het ILP-model en het plannen per dag moet gespecificeerd worden in kleinere tijdsintervallen.

De strategie die nu gehanteerd is, is gebaseerd op het plannen van de docent met de hoogste prioriteit en ervoor zorgen dat docenten op één dag zoveel mogelijk werken. Scala wilde dat een docent op één dag maar in één gemeente mag werken. Met deze voorwaarde is rekening gehouden in het model. Het liefst wilde Scala zelfs dat docenten op één dag zoveel mogelijk worden geroosterd op één school. In het laatste figuur van het hoofdstuk Resultaten, in figuur (7), is een planning weergegeven waarbij die voorwaarde is toegevoegd. In vergelijking met figuur (6) zorgt dit ervoor dat de dag waarop lesactiviteit 1 gepland is omgewisseld wordt met lesactiviteit 5, waardoor de docent in 2 dagen elke dag de hele dag maar naar één school gaat in plaats van elke dag naar twee scholen. Deze voorwaarde verbetert in dit voorbeeld het rooster, maar de voorwaarde is niet een eis van Scala. Zij willen bij voorkeur dat docenten op één dag maar op één school werken en anders geclusterd worden op scholen die dicht bij elkaar liggen. Voor een verbeterd roosterprogramma zou in de planningstrategie rekening gehouden moeten worden met deze voorkeuren van Scala. Het zou voor docenten ook nuttig kunnen zijn om op één dag maar voor één niveau les te geven. Dit zorgt voor minder voorbereidingstijd en voor mogelijk minder materiaal om mee te nemen. In overleg met Scala kan bepaald worden hoe belangrijk deze voorkeur is.

In het gecreëerde programma wordt ook nog geen rekening gehouden met de eis van docenten dat ze niet in een bepaalde gemeente willen werken. In een verbeterde versie moet dat toegevoegd worden. Enkele docenten gaven bij Scala aan dat ze op bepaalde momenten wel wilden werken, maar dat dat in overleg moest. In het model is de aanname gedaan dat deze docenten op die momenten niet kunnen werken. Scala zal met deze docenten van te voren moeten bespreken wanneer zij wel of niet kunnen gedurende het jaar. Eventueel zou Scala ervoor kunnen kiezen om per periode een schema te maken, zodat ze voor een korter tijdsbestek de beschikbaarheid gegevens van docenten hoeven te hebben. Daarvoor moeten zij dan wel zelf bepalen welke workshops in die periode gegeven moeten worden.

Er zou nog meer onderzoek gedaan kunnen worden naar de oplosbaarheid van het probleem. Dat het roosterprobleem van Scala oplosbaar is, dat is duidelijk. De afgelopen jaren is het Scala gelukt om met de hand alle aanvragen te kunnen plannen binnen het jaar. Dit is ook aannemelijk. Het probleem bestaat namelijk uit ongeveer 750 groepen die allen 4 workshops kunnen aanvragen, die

gegevens moeten worden door een team van ongeveer 70 docenten in ongeveer 300 beschikbare dagen. Dit komt neer op ongeveer 13 workshops per dag die gegeven moeten worden door de beschikbare docenten. Voor Scala zou het nuttig zijn om meer informatie te verkrijgen over hun capaciteit. Aan hoeveel aanvragen kunnen zij bijvoorbeeld per jaar maximaal voldoen, zodat ze weten hoever ze nog kunnen groeien. Of met hoeveel ZZP'ers van verschillende disciplines moeten zij in contact blijven om aan de aanvragen te kunnen blijven voldoen.

Het programma verkrijgt op dit moment de data vanuit Excelbestanden. Hiervoor is gekozen omdat Scala de data aanlevert in Excel bestanden. Er is echter gebleken dat het inlezen vanuit Excel veel tijd inneemt. Om het programma te verbeteren zou er onderzoek gedaan kunnen worden of de excel bestanden geconverteerd kunnen worden naar een ander soort bestand die sneller in te lezen is.

6.1 Aanbevelingen

In deze sectie zullen de aanbevelingen voor een vervolg onderzoek zoals die uit de discussie voortgekomen zijn nog even kort op een rijtje gezet worden.

- Er zou meer onderzoek gedaan kunnen worden naar de plannings strategie. De voorkeur dat docenten op één dag zo min mogelijk reistijden hebben kan daarbij toegevoegd worden. Eventueel kan ook gekeken worden naar het plannen op niveau's, zodat een docent op één dag maar één niveau les geeft in een klein gebied.
- Het programma moet verbeterd worden zodat er minder variabelen aangemaakt worden, waardoor er grotere datasets gebruikt kunnen worden op een normale computer.
- De planning wordt in het model per dag gemaakt. Het programma moet een planning kunnen geven waarbij de tijden gegeven worden. Er zal verder onderzoek gedaan moeten worden om dit te bewerkstelligen.
- Er kan meer onderzoek gedaan worden naar de oplosbaarheid van het probleem. Scala ontvangt daardoor meer informatie over hun capaciteiten.
- In een verbeterd model moet rekening gehouden worden met de reistijden van docenten, zodat zij op tijd bij een volgende lesactiviteit aanwezig kunnen zijn.
- In een verbeterd model moet rekening gehouden worden met de gemeentes waar bepaalde docenten niet willen werken vanwege de reisafstanden.
- Het inlezen van de data uit de Excel bestanden is traag. Er kan gekeken worden of de data geconverteerd kunnen worden naar bestanden die sneller in te lezen zijn.

- Het is niet mogelijk docenten te plannen die alleen in overleg beschikbaar zijn. Het is de taak aan Scala om met de docent in overleg te gaan of hij of zij wel of niet beschikbaar is. Eventueel kan Scala ook een planning maken voor een kortere periode, zij moeten dan wel zelf bepalen welke lesactiviteiten in die periode gegeven moeten worden. De docenten hoeven dan minder ver vooruit hun beschikbaarheid door te geven.

7 Conclusie

Het ILP-model dat geprogrammeerd is in C# en vervolgens opgelost is met de solver CPLEX lijkt resultaten te geven die voldoen aan de eisen van het rooster. Uit de resultaten blijkt dat het roosteren van een aantal kleine datasets voldoet aan de voorwaarden die gesteld zijn. Hiervoor zijn wel een aantal aannames gedaan die het programma minder representatief maken. Bij het roosteren is ook rekening gehouden met de voorkeuren. Een docent geeft zoveel mogelijk workshops op één dag en de docenten die de hoogste prioriteit hebben om ingepland te worden, worden ingepland. Het rooster gaf de planning aan per dag en laat daarom nog niet zien hoelaat bepaalde workshops gegeven moet worden. Daarnaast zijn er nog verbeteringen voor het programma mogelijk met betrekking tot onder andere het minimaliseren van de reistijden en de snelheid van het programma. Een normale computer heeft niet genoeg geheugen om het programma uit te voeren op de dataset van Scala.

Voor de opdrachtgever is een programma afgeleverd dat nog niet volledig voldoet aan hun eisen, maar al wel de basis biedt voor het roosteren. Het zal nog verbeteringen moeten ondergaan zodat het in de toekomst ook in gebruik genomen kan worden. Over de samenwerking met de opdrachtgever is meer te vinden in bijlage 10.1.

8 Dankwoord

Na ruim drie maanden is het zover en hoop ik met dit onderzoek mijn Bachelor Technische Wiskunde af te mogen ronden. Het was een periode waarin ik voor het eerst mijn eigen onderzoek ben gestart en waar ik voor het eerst een wiskundige opdracht voor een bedrijf heb mogen uitvoeren. Het resultaat had ik niet kunnen bereiken zonder hulp en daarom wil ik graag een aantal personen bedanken.

Allereerst wil ik mijn begeleider Gerhard Post bedanken voor zijn hulp. Wekelijks heb ik nuttige feedback en tips mogen ontvangen die mijn onderzoek verbeterd hebben en waarvan ik veel geleerd heb.

Daarnaast wil ik de opdrachtgever Maarten Gal bedanken voor de samenwerking. Ik hoop dat Scala na een vervolg onderzoek het programma daadwerkelijk kan gaan gebruiken.

Als laatste wil ik nog een medestudente Cintha Kooistra bedanken voor de samenwerking. Een aantal problemen hebben wij met elkaar opgelost en daarbij zorgden de verschillende gedachtes ervoor dat we sneller tot een oplossing kwamen.

9 Bronnenlijst

Referenties

- [1] Aloul, F.A., Zahidi, S.Z.H., Al-Farra, A., Al-Roh, B. (2013) *Solving the Employee Timetabling Problem Using Advanced SAT & ILP Techniques*
- [2] Bisschop, J. (1999) *AIMMS Optimization Modeling*.
- [3] Caccetta, L., Aizam, N.A.H. (2012) *MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING MODELS FOR UNIVERSITY TIMETABLING*
- [4] Chachuat, B. (2018) *Mixed-Integer Linear Programming (MILP): Model Formulation*, geraadpleegd van http://macc.mcmaster.ca/maccfiles/chachuatnotes/07-MILP-I_handout.pdf
- [5] Havås, J., Olsson, A., Persson, J., Schierscher, M.S. (2013) *Modeling and optimization of university timetabling*
- [6] IBM (2016) *IBM ILOG CPLEX Optimization Studio CPLEX User's Manual*, geraadpleegd van https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSSA5P_12.7.0/ilog.odms.studio.help/pdf/usrcplex.pdf
- [7] Lundgren J., Ronnqvist M., Varbrand P. (2010) *Optimization*.
- [8] Schaerf, A. (1999) *A Survey of Automated Timetabling*
- [9] Werra, D. de, (1985) *An introduction to timetabling*

10 Bijlagen

10.1 Evaluatie praktijkopdracht

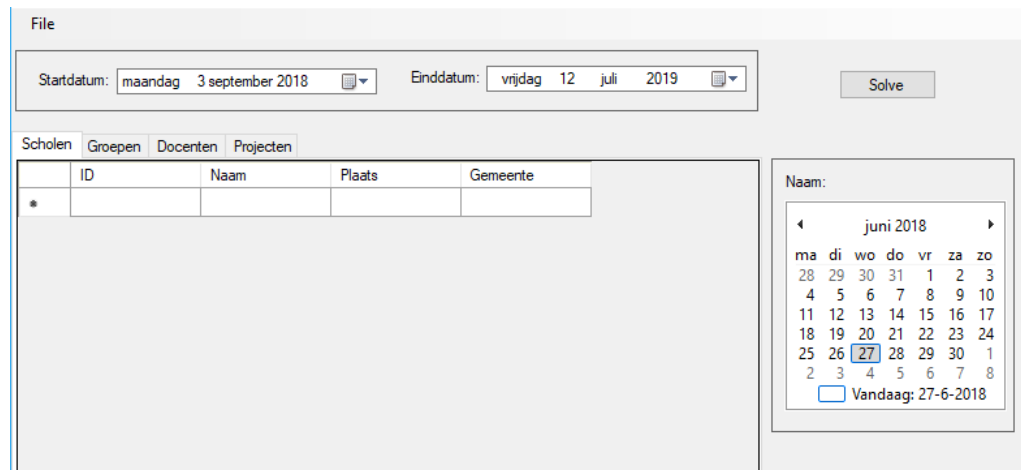
De bachelor opdracht wordt uitgevoerd voor het bedrijf Scala actief in Meppel en omstreken. Om bij het roosteren zo goed mogelijk rekening te houden met de eisen van Scala is contact onderhouden met de opdrachtgever. In het begin van de opdracht heb ik de opdrachtgever ontmoet. Het was fijn om meer over de achtergrond van Scala te weten te krijgen, hoe het bedrijf in elkaar zit en om meer te weten over hoe er op dit moment geroosterd wordt bij Scala. Dat gebeurt namelijk nog met de hand, maar alle stappen die daarbij doorlopen worden, moesten mij duidelijk worden zodat die uiteindelijk verwerkt konden worden in een model.

Uit de samenwerking is voor mij gebleken dat het lastig is om zo'n wiskundige opdracht te communiceren met een niet wiskundige. Het liefst wil je een duidelijke richtlijn hebben, alleen dat blijkt lastig te bepalen. Voor het roosteren moeten de regels zo duidelijk mogelijk zijn en moet er zo min mogelijk variatie inzitten. Het stappenplan moet dus duidelijk zijn. Het was lastig dit te achterhalen, omdat de opdrachtgever ook verschillende situaties meemaakt en dan anders handelt. Hiervoor moesten dus aannames gedaan worden en moest ik soms zelf bedenken wat het handigst is. Zo twijfelde de opdrachtgever zelf ook over de voorkeur of ze liever een docent de hele dag aan hetzelfde niveau les laten geven of dat ze beter op één school meerdere groepen les moeten geven.

Het is belangrijk dat de gegevens goed worden aangeleverd, anders kan het programma de gegevens niet inlezen. Dit moet goed gecommuniceerd worden met de opdrachtgever. In de code probeer ik er zoveel mogelijk voor te zorgen dat er een duidelijke foutmelding komt als er een fout zit in de gegevens, zodat het programma in de toekomst ook echt gebruikt kan worden door niet-wiskundigen. Het bleek dat de bestanden die wij aangeleverd kregen regelmatig veranderden van indeling. Het kostte tijd om de bestanden bruikbaar te maken. Bovendien bleken niet alle gegevens zeker te zijn. Soms had een docent twee disciplines, terwijl verteld was dat een docent maar één discipline kon hebben. Daarnaast bevatte de excel-bestanden veel notities die later allemaal verwerkt moesten worden in kolommen. Een ander probleem was dat sommige docenten enkel in overleg gepland konden worden, hiervoor is de aanname gedaan dat die docenten helemaal niet ingepland mogen worden. In de bijlage 10.3 probeer ik duidelijk te maken hoe de gegevens aangeleverd moeten worden.

10.2 Uitleg Applicatie

Zodra het programma gestart wordt zal er een applicatie geopend worden die eruit zal zien zoals in figuur (8) is weergegeven.



Figuur 8: Uiterlijk van de applicatie zonder gegevens

In dit opstartscherm is linksboven het knopje 'file' te vinden. Als hierop gedrukt wordt kan een bestand worden gekozen die ingelezen moet worden. Het bestand moet er uit zien zoals in bijlage 10.3 aangegeven is. Als het juiste bestand gekozen is, zullen de lege kolommen gevuld worden. Hoe dat eruit ziet is te zien in figuur (9). Als het bestand dat geselecteerd is niet de juiste indeling bevat, stopt het programma met inlezen en volgt er een melding. Deze melding geeft aan wat de fout is in het excel bestand. Zo kunnen er meldingen gegeven worden als; 'Kolom 1, het tijdsinterval moet van de vorm uren:minuten zijn' of 'De eindtijd van de ochtend ligt na de eindtijd van de ochtend' of 'De naam van school op rij 1 is leeg, dat is niet toegestaan!'. Hierdoor wordt duidelijk wat er moet worden aangepast in het Excel-bestand. Er is een functie gebruikt in het programma zodat er bij het inlezen geen problemen ontstaan met het gebruik van wel of geen hoofdletters.

Zoals in figuur (9) te zien is zijn de kolommen nu ingevuld. Ook de kolommen die bij de kopjes 'groepen', 'docenten' en 'projecten' horen zijn nu ingelezen. Aan de rechterkant is een maandkalender geplaatst. Hierin geeft de dikte van de letters aan of de school die dag open is of niet. Als met de rechter muisknop op een dag in de maandkalender gedrukt wordt, worden de openingstijden van die dag van de school weergegeven. Hetzelfde kan ook bekeken worden voor groepen, docenten en projecten.

Als alle gegevens kloppen kan het rooster gemaakt worden. Eerst moet bepaald

File

Startdatum: maandag 3 september 2018 Einddatum: vrijdag 12 juli 2019

Scholen Groepen Docenten Projecten

ID	Naam	Plaats	Gemeente
DW001	CBS De Wegwijzer	Alteveer	de Wolden
DW002	OBS De Klintoren	Drogteropslagen	de Wolden
DW003	OBS De Bosrand	Kerkenveld	de Wolden
DW004	CBS De Heidevli...	Zuidwolde	de Wolden
HG001	OBS Apollo	Hoogeveen	Hoogeveen
HG002	CBS De Morgens	Hoogeveen	Hoogeveen
HG003	PCBS De Krullev	Hoogeveen	Hoogeveen
HG004	PCBS de Krullev...	Hoogeveen	Hoogeveen
MP002	De Toemalijn vo...	Meppel	Meppel
MP003	PCBS Stadsqwar...	Meppel	Meppel
MP004	KBS De Plataan	Meppel	Meppel
MP005	OBS De Woldstr	Meppel	Meppel
SH001	Dr Maarten Luth...	Punthorst	Staphorst
SL001	OBS t Vonder	Wanneperveen	Steenwijkerland
SL003	CBS Buuzekaemp	Belt-Schutsloot	Steenwijkerland
SL008	PCBS De Opstap	St. Jans klooster	Steenwijkerland
WV001	CBS De Fontein	Dwingeloo	Westerveld
WV002	OBS Burg. W.A. ...	Dwingeloo	Westerveld
WV004	OBS De Singelier	Diever	Westerveld
WV005	CBS Roosjensch	Diever	Westerveld
WW001	R.K. Fredericuss...	Steggerda	Weststellingwerf
WW002	Mgr. J. Scholtens...	Wolvega	Weststellingwerf
WW003	OBS De Striepe	Oldeholtspade	Weststellingwerf
*			

Naam: CBS De Wegwijzer

september 2018

ma	di	wo	do	vr	za	zo
27	28	29	30	31	1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7

Vandaag: 27-6-2018

Figuur 9: Uiterlijk van de applicatie met gegevens

worden in welke periode er gepland moet worden. Dit kan aangegeven worden door de 'startdatum' en de 'einddatum' die boven in de applicatie staan aan te passen. Om de planning te maken moet op de knop 'solve' gedrukt worden. Het programma zal nu gaan zoeken naar een optimaal rooster. Zodra die bepaalt is wordt een nieuw excel bestand geopend waarin de planning weergegeven wordt. Voorbeelden daarvan zijn te vinden in sectie 5

10.3 Uitleg Excel bestanden

De gegevens die aangeleverd worden, moeten worden aangeleverd in een Excel bestand. Het programma is gebaseerd op een bepaalde indeling van dat Excel bestand, anders werkt het programma niet. Om die reden zal nu een uitleg van de indeling weergegeven worden, zodat de opdrachtgever de excel bestanden op de juiste manier aanlevert.

Het excel bestand moet 4 tabbladen bevatten in de volgende volgorde: "School", "Groepen", "Docenten", "Projecten". In de excel bestanden moeten geen notities voorkomen, deze moeten allemaal verwerkt worden in de gegevens.

Tabblad School

Het tabblad 'School' moet ingevuld worden zoals in tabel 1 aangegeven wordt.

Tabel 1: Indeling Tabblad School

Kolomnr.	Kolomnaam	Uitleg
1	'SchoolID'	School ID van de school
2	'Naam'	Naam van de school
3	'Woonplaats'	Plaats van de school
4	'Gemeente'	Gemeente van de school
5	'Speciaal'	'ja' Als de school wel speciaal onderwijs biedt, 'nee' Als de school geen speciaal onderwijs biedt
6	'Groepen(aantal klassen)'	Het aantal groepen van de school
7	'Startdatum'	De eerste schooldag van de school
8	'Einddatum'	De laatste schooldag van de school
9	'Maandag'	'nee' als de school dicht is, anders niks of 'ja' invullen
10	'Dinsdag'	'nee' als de school dicht is, anders niks of 'ja' invullen
11	'Woensdag'	'nee' als de school dicht is, anders niks of 'ja' invullen
12	'Donderdag'	'nee' als de school dicht is, anders niks of 'ja' invullen
13	'Vrijdag'	'nee' als de school dicht is, anders niks of 'ja' invullen
14	'Afwezigheidsperiode'	De vrije dagen en vakanties van de school in de vorm 21-12-2018 t/m 05-01-2019

Opmerkingen

- Het SchoolID moet uniek zijn.
- Kolommen 5, 6, 7 en 8 zijn niet van invloed op het programma. Ze zijn toegevoegd omdat het overzicht biedt voor Scala.
- Mochten er meer 'Afwezigheidsperiode'-kolommen nodig zijn, dan mogen die gewoon toegevoegd worden

Tabblad Groepen

Het tabblad 'Groepen' moet ingevuld worden zoals in tabel 2 aangegeven wordt.

Tabel 2: Indeling Tabblad Groepen

Kolomnr.	Kolomnaam	Uitleg
1	'SchoolID'	Het school ID van de groep
2	'Groep'	Nummer van de groep in cijfers
3	'Splitsen'	Deze hoeft voor het roosteren niet ingelezen te worden, zie aannames 4.1
4	'Workshop'	vul de projectcode in van de workshop die aangevraagd is
5	'Workshop'	vul de projectcode in van de workshop die aangevraagd is
6	'Workshop'	vul de projectcode in van de workshop die aangevraagd is
7	'Workshop'	vul de projectcode in van de workshop die aangevraagd is
8	'Maandagtijden'	De aanwezigheidstijden op maandag van de groep. In de vorm 08:30 tot 12:00 en 13:00 tot 15:00 of enkel 08:30 tot 12:00
9	'Dinsdagtijden'	Zie 'Maandagtijden'
10	'Woensdagtijden'	Zie 'Maandagtijden'
11	'Donderdagtijden'	Zie 'Maandagtijden'
12	'Vrijdagtijden'	Zie 'Maandagtijden'
13	'Afwezigheidsperiode'	De vrije dagen van enkel de specifieke groep in de vorm 21-12-2018 t/m 05-01-2019

Opmerkingen:

- Het SchoolID van een groep moet overeenkomen met een SchoolID van het tabblad 'Scholen'.
- Als een groep uit meerdere klassen bestaat, moeten deze gescheiden worden door een komma, bijvoorbeeld 1,2,3.
- Kolom 3 'Splitsen' wordt niet ingelezen. Als een groep gesplitst moet worden, moeten er twee groepen in het Excel bestand komen te staan.
- De projectcodes die ingevuld worden bij de kolommen 'Workshop' moeten ook bestaan in het tabblad 'Projecten'.
- Mochten er meer 'Afwezigheidsperiode'-kolommen nodig zijn, dan mogen die gewoon toegevoegd worden.

Tabblad Docenten

Het tabblad 'Docenten' moet ingevuld worden zoals in tabel 3 aangegeven wordt.

Tabel 3: Indeling Tabblad Docenten

Kolomnr.	Kolomnaam	Uitleg
1	'ID'	Het docenten ID
2	'Naam'	De achternaam van de docent
3	'Tussenv'	Het tussenvoegsel van de achternaam van de docent
4	'Roepnaam'	De roepnaam van de docent
5	'Discipline'	Kies uit: Theater, Beeld, Erfgoed, Media, Muziek, Dans
6	'ma ochtend'	'Nee' invullen als docent niet kan, anders leeg laten of 'Ja' invullen
7	'ma middag'	Zie 'ma ochtend'
8	'di ochtend'	Zie 'ma ochtend'
9	'di middag'	Zie 'ma ochtend'
10	'woe ochtend'	Zie 'ma ochtend'
11	'woe middag'	Zie 'ma ochtend'
12	'do ochtend'	Zie 'ma ochtend'
13	'do middag'	Zie 'ma ochtend'
14	'vr ochtend'	Zie 'ma ochtend'
15	'vr middag'	Zie 'ma ochtend'
16	'Meppel'	'Nee' invullen als de docent niet in Meppel mag werken, anders niks of 'Ja'
17	'De Wolden'	Zie 'Meppel'
18	'Hoogeveen'	Zie 'Meppel'
19	'Steenwijkerland'	Zie 'Meppel'
20	'Westerveld'	Zie 'Meppel'
21	'Staphorst'	Zie 'Meppel'
22	'Weststellingwerg'	Zie 'Meppel'
23	'Afwezigheidsperiode'	De afwezigheidsdagen van de docent in de vorm 21-12-2018 t/m 05-01-2019

Opmerkingen

- Het docenten ID moet uniek zijn.
- Kolommen 16 t/m 22 worden niet gebruikt voor het roosteren, zie sectie 6.1.
- Mochten er meer 'Afwezigheidsperiode'-kolommen nodig zijn, dan mogen die gewoon toegevoegd worden.

Tabblad Projecten

Het tabblad 'Projecten' moet ingevuld worden zoals in tabel 4 aangegeven wordt.

Tabel 4: Indeling Tabblad Projecten

Kolomnr.	Kolomnaam	Uitleg
1	'projectcode'	- De projectcode van de workshop
2	'naam_project'	- De naam van het project
3	'discipline'	- De discipline van de workshop
4	'aantal keer'	- Het aantal lessen dat de workshop bevat, bijvoorbeeld 1 of 4.
5	'duur'	- De tijdsduur van de workshop per les in minuten
6	'Docenten met prioriteit1'	- Vul hier het ID in van de docent die het eerst ingepland moet worden op de workshop. Als er meerdere docenten zijn met prioriteit1, mogen zij gescheiden worden door een komma. Als het niet uit maakt welke docent de workshop geeft, kan de kolom leeggelaten worden en wordt een docent uit de discipline van de workshop ingepland.
7	'Docenten met prioriteit2'	Vul hier het ID van de docent in die tweede keuze is op de workshop.
8	'Docenten met prioriteit3'	Vul hier het ID van de docent in die derde keuze is op de workshop.
9	'Docenten met prioriteit4'	Vul hier het ID van de docent in die vierde keuze is op de workshop.
10	'Docenten met prioriteit5'	Vul hier het ID van de docent in die vijfde keuze is op de workshop.
11	'Docenten met prioriteit6'	Vul hier het ID van de docent in die zesde keuze is op de workshop.
12	'Docenten met prioriteit7'	Vul hier het ID van de docent in die zevende keuze is op de workshop.
13	'Docenten met prioriteit8'	Vul hier het ID van de docent in die achtste keuze is op de workshop.
14	'Afwezigheidsperiode'	De dagen dat een workshop niet gepland mag worden in de vorm 21-12-2018 t/m 05-01-2019, als een workshop bijvoorbeeld niet in de winter gegeven mag worden.

Opmerkingen

- De projectcode moet uniek zijn
- Het ID van de docenten dat ingevuld wordt bij de prioriteiten moet een

bestaand ID zijn in het tabblad 'Docenten'.

- Projecten die voor speciale leerlingen zijn moeten hun eigen projectcode krijgen en hun eigen prioriteitenlijst van docenten.
- In de kolommen 'Docenten met prioriteit2' tot en met 'Docenten met prioriteit8' kan maar een docent ingevuld worden. Als de kolom leeg gelaten wordt wordt altijd een docent uit de kolom 'Docenten met prioriteit1' ingepland.
- Mochten er meer 'Afwezigheidsperiode'-kolommen nodig zijn, dan mogen die gewoon toegevoegd worden.