

Optimaler middelbare schoolroosters maken met roosterprogramma Zermelo

SVEN OVERVELDE

Universiteit Twente

2 februari 2017

Samenvatting

In dit verslag wordt beschreven hoe het gebruik van het roosterprogramma Zermelo bij het maken van middelbare schoolroosters is onderzocht, gebruik makend van het roosterbestand van een Nederlandse middelbare school. Het doel van dit onderzoek was om na te gaan hoe de mogelijkheden binnen Zermelo beter benut en misschien zelfs uitgebreid of verbeterd zouden kunnen worden. Onderzocht is onder andere hoe er bij het maken van de clusterschema's meer rekening kan worden gehouden met de beschikbaarheden van docenten en of het daadwerkelijke inroosteren van alle lessen ook met alle afdelingen tegelijkertijd in plaats van afdeling voor afdeling zou kunnen. De gehanteerde werkwijze en de resultaten zullen in dit verslag toegelicht worden.

Trefwoorden: middelbare schoolroosters, clusterschema's, clusterlijnen, docentbeschikbaarheden, roosterprogramma Zermelo

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Probleemstelling	4
3	Achtergrondinformatie	5
3.1	Roostertechnische achtergrondinformatie over het Veluws College Walterbosch	5
3.2	Literatuur	5
4	De werking van clusterschema's	6
5	Het clusteren in Zermelo	7
6	Het van tevoren sturen van de clusterautomaat	8
6.1	Het aantal clusterlijnen en de clusterbreedte	8
6.2	Beschikbaarheden van de docenten	8
6.3	Het ontstane clusterschema	9
6.4	Het clusterschema van 5H zonder sturing vooraf	11
7	Het plaatsen van de lessen met de Roosterplan Wizard	12
8	Het resultaat van het roosterexperiment	13
9	Conclusie	15
9.1	Tips voor het Veluws College Walterbosch	15
9.2	Tips voor Zermelo	15
10	Dankwoord	16
11	Referenties	17

1 Inleiding

Een veelgehoorde klacht als het over middelbare schoolroosters gaat, betreft het grote aantal tussenuren dat met name bovenbouwleerlingen wekelijks hebben. Zelf had ik daar gelukkig weinig last van door het volgen van een aantal extra vakken. Die werden om het rooster niet extra te belasten niet meegeroosterd en vielen dus vaak samen met sommige van mijn andere lessen. Daarom stelde ik aan de hand van het gepubliceerde basisrooster al vanaf klas 4 mijn eigen rooster samen door voor het volgen van mijn vakken die lesgroepen te kiezen waarvan de ingeroosterde lessen zo min mogelijk met elkaar overlaptten. Ik moest op enkele uren nog wel *shoppen*¹, maar hield nauwelijks tot geen tussenuren over. Veel schoolgenoten zonder extra vakken daarentegen hadden dat geluk niet en bleven met een behoorlijk aantal tussenuren zitten. Aangezien dat ook de huidige situatie is op mijn vroegere middelbare school, leek het me een mooie uitdaging om het onderwerp van mijn bacheloropdracht van mijn bachelor Technische Wiskunde aan de Universiteit Twente te relateren aan het basisrooster van de school waar ik gedurende 6 jaar mijn middelbare schoolopleiding heb genoten: het Veluws College Walterbosch te Apeldoorn.

¹ Kiezen tussen meerdere overlappende lessen.

2 Probleemstelling

Om onderwijskundige redenen is het niet wenselijk om het basisrooster van een middelbare school in de loop van een schooljaar ‘zomaar’ dusdanig overhoop te gooien dat de lesgroepen en leerlingen allemaal opnieuw over de clusterlijnen en lesgroepen verdeeld moeten worden. Aangezien het schooljaar 2016-2017 ten tijde van het formuleren van de probleemstelling voor deze bacheloropdracht al in volle gang was, is er dan ook bewust voor gekozen om niet het maken van een nieuw basisrooster voor het Veluws College Walterbosch voor bijvoorbeeld het tweede halfjaar van 2016-2017 tot doel van deze opdracht te stellen. Dan zou er immers niets aan het gebruikte clusterschema, nu juist de kern van het maken van een basisrooster, veranderd kunnen worden.

Wat wél de probleemstelling van deze bacheloropdracht is geworden, is om op basis van het roosterbestand van het schooljaar 2016-2017 van het Walterbosch te onderzoeken hoe de mogelijkheden binnen het door deze school gebruikte roosterprogramma Zermelo beter benut en waar mogelijk misschien zelfs uitgebreid of verbeterd kunnen worden. In dat kader zal bij wijze van experiment een nieuw, fictief basisrooster voor het schooljaar 2016-2017 gemaakt worden. Het genoemde roosterbestand zal daarvoor als uitgangspunt dienen door alle planningsbeslissingen zoveel mogelijk terug te draaien.

Onder de bedoelde terug te draaien planningsbeslissingen vallen onder andere het bepalen van het aantal clusterlijnen voor elke afdeling, het in die clusterlijnen indelen van de lesgroepen, het in die lesgroepen indelen van de leerlingen en het daadwerkelijke in het rooster plaatsen van de lessen. Zo zullen onder andere de clusterlijnen gelegeerd en alle niet gefixeerde lessen uitgeroosterd worden. Om het nieuw te maken rooster naderhand zo eerlijk mogelijk met het originele rooster te kunnen vergelijken, zullen randvoorwaarden als de lessentabellen, de beschikbaarheden van docenten, het aantal lesgroepen per vak per afdeling en de toewijzing van lesgroepen aan docenten daarentegen niet veranderd worden en zal er bovendien ook bij het maken van het nieuwe rooster geen rekening gehouden worden met tijdens het maken van het originele basisrooster niet te voorziene zaken als de pas later ontstane langdurige ziektegevallen bij docenten. Dat is ook precies de reden waarom niet een latere dan de voor deze opdracht gebruikte versie van het originele basisrooster als uitgangspunt genomen zal worden, ondanks het feit dat er in die latere versie nog wel enkele kleine foutjes, waaronder het niet verbieden van 8^e uren voor onderbouwklassen, weggewerkt zijn. Dat houdt dus wel in dat onder andere die 8^e uren voor onderbouwklassen ook in de nieuw te maken versie van het basisrooster toch nog toegestaan zijn.

3 Achtergrondinformatie

In dit hoofdstuk zal in het kort zowel roostertechnische achtergrondinformatie over het Veluws College Walterbosch als aan het onderwerp van deze bacheloropdracht gerelateerde literatuur beschreven worden.

3.1 Roostertechnische achtergrondinformatie over het Veluws College Walterbosch

Mijn vroegere middelbare school, het Veluws College Walterbosch te Apeldoorn, is een school met HAVO, Atheneum, Gymnasium en sinds kort naast Technasium onderbouw ook Technasium bovenbouw en heeft momenteel ongeveer 1550 leerlingen. Alle 4 de profielen C&M, E&M, N&G en N&T kunnen gekozen worden en in de bovenbouw behoren bijvoorbeeld ook de vakken filosofie en Spaans tot de keuzemogelijkheden. Bovendien wordt op het Walterbosch het vak Engels Cambridge gegeven.

Op dit moment mogen zowel de combinatie geschiedenis en scheikunde als E&M met wiskunde B in plaats van A niet gekozen worden. Het volgen van extra vakken is daarentegen wel toegestaan, al wordt dat qua rooster niet gefaciliteerd. Dat wil zeggen dat alleen de vakken uit het gemeenschappelijke deel, de profielvakken en profielkeuzevakken en één keuzevak uit het vrije deel meegeroosterd worden. De vakken die leerlingen daarnaast nog extra willen volgen, moeten dus geshopt worden. Een voordeel van deze maatregel zal in hoofdstuk 4 beschreven worden.

De schooldagen op het Veluws College Walterbosch tellen 8 lessen, al kent de school ook wel 9^e uren. Die worden eigenlijk alleen voor herkansingen gebruikt; nooit voor het geven van lessen. Op dinsdag het 8^e uur wordt er in principe ook geen les gegeven, want dan zijn de wekelijkse docentenvergaderingen. In totaal kent een schoolweek op het Walterbosch dus 39 roosterposities, waarvan dinsdag het 6^e en 7^e uur voor kw (keuzewerktijd) wordt gebruikt. Op dinsdag het 1^e en 2^e uur vergadert bovendien het managementteam, maar dan is er wel gewoon les.

Zoals reeds vermeld, maakt het Walterbosch bij het roosteren gebruik van het roosterprogramma Zermelo. Op dat roosterprogramma is het Walterbosch een jaar of twee geleden overgestapt, onder meer omdat daarmee basisroosters, dagroosters, toetsroosters én roosters voor bijvoorbeeld ouderavonden gemaakt kunnen worden.

3.2 Literatuur

Om te beginnen heb ik me geruime tijd intensief verdiept in de handleiding van Zermelo [1]. Een beschrijving van het door de latere grondlegger van Zermelo ontwikkelde roosterprogramma CLUS2000TM wordt gegeven in [2]. In [3] wordt bovendien een efficiënt branch-and-bound algoritme beschreven voor het vinden van een clusterschema dat zo min mogelijk roosterposities nodig heeft. Wel moet vermeld worden dat er daarbij geen rekening wordt gehouden met de beschikbaarheden van docenten, onderwijskundige wensen/eisen zoals de gewenste blokstructuur en de mogelijkheid om van vakken met het grootste aantal lessen per week een aantal uren af te splitsen en die gezamenlijk in een aparte clusterlijn te zetten om zodoende het aantal benodigde roosterposities nog verder terug te dringen. [3] beschrijft ook een methode om alle leerlingen zo gelijkmatig mogelijk over de beschikbare lesgroepen te verdelen.

4 De werking van clusterschema's

Het daadwerkelijke roosteren begint met het *clusteren* van (het maken van een zogeheten *clusterschema* voor) elke afdeling waarvan niet alle leerlingen in dezelfde klas dezelfde vakken volgen.² Allereerst³ wordt er per afdeling een scheiding gemaakt tussen de *clustervakken*, die wel *meegeclusterd* (in het clusterschema opgenomen) worden, en de overige vakken (die dus niet meegeclusterd worden). Gebruikelijk is dat de op eventuele leerlingen met een vrijstelling na door iedereen gevolgde vakken niet meegeclusterd worden en alle andere vakken wel.

Tijdens het maken van een clusterschema worden alle lesgroepen van alle clustervakken verdeeld over meerdere *clusterlijnen* en worden alle leerlingen over al die lesgroepen verdeeld. Het idee achter het op die manier splitsen van de verzameling clustervakken in meerdere *clusters*, is dat alle lessen van een cluster (alle lesgroepen in dezelfde clusterlijn) in het uiteindelijke rooster zoveel mogelijk gelijktijdig plaats zullen vinden. Het over de lesgroepen van alle clustervakken verdelen van alle leerlingen gebeurt dus op zodanige wijze, dat elke leerling al zijn clustervakken kan volgen in lesgroepen in verschillende clusterlijnen.

De reden voor het niet meeclusteren van die gezamenlijke vakken zoals Nederlands, Engels en lichamelijke opvoeding is vaak dat die lessen dan klassikaal gegeven kunnen worden. Daardoor worden die lessen per klas onderling uitwisselbaar, maar ontstaat er wel een tweedeling in het rooster. Niet meegeclusterde vakken kunnen normaal gesproken namelijk niet gelijktijdig met een cluster gegeven worden, doordat de betrokken lesgroepen niet disjunct zijn. De splitsing van de beschikbare roosterposities in lessen met alleen klassikale lessen en lessen met alleen vakken van clustervakken zal daardoor in eerste instantie vrij strict zijn, maar die kan wel vervagen wanneer stamklassen en *clustergroepen* (lesgroepen van clustervakken) aan elkaar gelijk gemaakt worden. Dan wordt ook elk van de lessen van een op die manier stamklas-identiek gemaakte clustergroep immers onderling uitwisselbaar met de klassikale lessen van de betrokken stamklas. Dat houdt in dat er klassikale lessen van de betrokken stamklas in de clusterlijn van de bijbehorende clustergroep geplaatst kunnen worden en andersom ook lessen van die klassikale clustergroep gelijktijdig met klassikale lessen van alle andere stamklassen gegeven kunnen worden. Het voordeel daarvan is dat de clusterlijnen daardoor vaak makkelijker te plaatsen zijn, doordat de beschikbaarheid van docenten van klassikaal gemaakte clustergroepen een minder grote rol speelt. Door een les van een klassikale clustergroep te vervangen door een klassikale les van de bijbehorende stamklas, kan een clusterlijn namelijk vaak ook geplaatst worden op momenten waarop de docent van die klassikale clustergroep zelf niet beschikbaar is. Zeker het klassikaal maken van clustergroepen waarvan de docent maar weinig beschikbaar is, kan de beschikbaarheid van hele clusterlijnen enorm vergroten en dat komt de roosterbaarheid in het algemeen erg ten goede.

Wat de roosterbaarheid ook bevordert, is het minimaliseren van de *clusterbreedte*: de som van de lengtes van alle clusterlijnen. De *lengte* van een clusterlijn is het grootste aantal uren per week waarop een van de clustergroepen van die clusterlijn les krijgt. Hoe kleiner de clusterbreedte, hoe compacter het rooster en hoe minder gaten (tussenuren) in het rooster. Bovendien heeft de roosterautomaat dan meer vrijheid om de clusterlijnen in het uiteindelijke rooster te plaatsen.

Logischerwijs zijn er minstens zoveel clusterlijnen nodig als het verplichte aantal clustervakken. Alle leerlingen met 'slechts' dat aantal clustervakken behoren voor elke extra clusterlijn tot de *leegloop*⁴ van een van de clusterlijnen en hebben dus geen les op alle uren van de betreffende clusterlijn. Degenen voor wie die uren niet aan het begin of eind van hun lesdag vallen, hebben op die momenten dus een tussenuur. Het gebruik van het minimale aantal clusterlijnen (vaak gelijk aan het verplichte aantal clustervakken⁵), onder andere door het niet meeroosteren van extra vakken (wat meer clusterlijnen dan het verplichte aantal clustervakken zou vereisen), voorkomt dus extra tussenuren voor het vaak grote aantal leerlingen met het minimale aantal clustervakken.

² Vaak betreft dit wel de bovenbouwafdelingen, maar niet de onderbouwafdelingen. In de bovenbouw kunnen leerlingen immers een vakkenpakket kiezen, terwijl in de onderbouw vaak alle lessen klassikaal gegeven worden.

³ Althans dat is hoe het in Zermelo gaat.

⁴ Onder leegloop vallen alle leerlingen die in geen enkele lesgroep van een bepaalde clusterlijn ingedeeld zijn.

⁵ Al is dat niet per se genoeg, bijvoorbeeld als een docent meer clustergroepen dan dat aantal clustervakken heeft.

5 Het clusteren in Zermelo

In dit hoofdstuk zal beschreven worden hoe het maken van een clusterschema in Zermelo in zijn werk gaat. Daarbij zal de afdeling 5H als voorbeeld dienen en zal eerst het bijbehorende clusterschema uit het clusterscherm van Zermelo beschreven worden. Dat clusterschema is te zien in figuur 5. De onderdelen van de in die figuur weergegeven kruistabel uit het midden van het clusterscherm van Zermelo zullen in het vervolg het bovengedeelte, het middengedeelte, het linkerdeel en het benedengedeelte van de kruistabel genoemd worden. Het linkerdeel van de kruistabel zal overigens pas in paragraaf 6.3 toegelicht worden.

Het clusteren in het clusterscherm van Zermelo begint met een lege kruistabel zoals gedraaid weergegeven in figuur 5. Alle meegeclusterde vakken staan in het bovengedeelte van de kruistabel naast elkaar in kolommen die ook het middengedeelte doorkruisen en voorafgaand aan het clusteren pas eindigen in het benedengedeelte. Alle lesgroepen van een vak ‘bungelen’ dan nog in de vorm van blokjes onder het middengedeelte van de kruistabel in de bij dat vak behorende kolom en worden tijdens het clusteren verdeeld over de clusterlijnen: de rijen van het middengedeelte. De leerlingen op hun beurt worden tijdens het clusteren over de verschillende lesgroepen verdeeld. De blokjes van de lesgroepen tonen het aantal leerlingen dat in de betreffende lesgroep is ingedeeld en de afkorting van de docent die aan die lesgroep is gekoppeld. Het aantal kleine grijze blokjes in de linkerbovenhoek van een lesgroepblokje staat voor het aantal lessen dat die lesgroep in het betreffende tijdvak per week ingepland moet worden en daarbij wordt ook de gewenste blokstructuur aangegeven: lichtgrijze blokjes onder elkaar (zoals meestal het geval is) representeren losse lessen en donkergrijze blokjes naast elkaar (zoals bij de vakken **kubv** en **kumu**) stellen blokuren voor. Een geel (rood) driehoekje in een lesgroepblokje betekent dat er op dat moment minder (meer) leerlingen dan gewenst in die lesgroep ingedeeld zijn en een lichtpaars symbool (meestal een cijfer of letter) in een lesgroepblokje betekent dat die lesgroep gelijkgesteld is aan de gelijknamige *stamklas*⁶. Vóór het clusteren zal dat zijn omdat de bijbehorende docent als mentor van de betreffende stamklas aangewezen is en alle leerlingen in principe les moeten krijgen van hun mentor. Uiterst links naast de kruistabel in figuur 5 staan alle stamklassen van de afdeling 5H onder elkaar met naam en aantal leerlingen op dat moment.

Het bovengedeelte van de kruistabel geeft nadere informatie over de meegeclusterde vakken. In de eerste 3 regels staan de afkorting en het aantal *configuraties*⁷ van het betreffende vak en het aantal leerlingen dat dat vak volgt. In de volgende 4 regels staat per vak voor elk van de 4 tijdvakken het aantal uren dat de lesgroepen van dat vak per week les moeten krijgen. De regel daaronder bevat het aantal lesgroepen per vak en in de onderste 2 regels staan voor elk vak de opties Meerv(oudig)/Enkelv(oudig) en Spec(iaal)/Stand(aard). Die bepalen of er wel/niet meerdere lesgroepen van dat vak in dezelfde clusterlijn mogen komen en of de onderlinge verwisseling van 2 lesgroepen van dat vak tijdens het clusteren wel/niet getest moet worden. Het reeds benoemde aantal *configuraties*⁷ van een vak wordt in grote mate bepaald door het aantal lesgroepen van dat vak en het aantal beschikbare clusterlijnen. Andere factoren die van invloed zijn, zijn de gekozen instellingen bij enkelvoudig/meervoudig en standaard/speciaal. Ook is het mogelijk om lesgroepen in een specifieke clusterlijn te fixeren of specifieke clusterlijnen juist te blokkeren voor alle lesgroepen van een vak en dat beperkt natuurlijk het aantal configuraties van het betreffende vak. De erg grote zoekruimte kan hiermee enigszins en door het kiezen voor de opties enkelvoudig en standaard zelfs behoorlijk beperkt worden, wat het zoeken zal versnellen.

Het daadwerkelijke clusteren bestaat uit enkele stappen. Eerst wordt ‘Maak schema’ net zolang gebruikt totdat de roostermaker het tot dan toe beste clusterschema acceptabel vindt, waarna ‘Maximaal klassikaal’ op zo gunstig mogelijke wijze clustergroepen stamklas-identiek maakt. Vervolgens kan het verkregen clusterschema met ‘Optimaliseer’ met kleine mutaties nog verbeterd worden, wederom net zo lang als het de roostermaker belooft. Deze stappen kunnen overigens ook meerdere keren na elkaar gebruikt worden.

⁶ Een vaste klas wordt ook wel *stamklas* genoemd. Bijvoorbeeld 5H1 of 5HA, afhankelijk van de naamgeving.

⁷ Het aantal manieren waarop de lesgroepen van een vak over de clusterlijnen verdeeld kunnen worden.

6 Het van tevoren sturen van de clusterautomaat

Dit hoofdstuk zal, wederom op basis van de afdeling 5H, een beschrijving geven van hoe ik bij het van tevoren aansturen van de clusterautomaat van Zermelo te werk ben gegaan.

6.1 Het aantal clusterlijnen en de clusterbreedte

Uit de vakkenpakketten van de leerlingen van 5H blijkt dat voor al die leerlingen precies 5 clustervakken meegeroosterd zijn. Wat ook teruggevonden kan worden, is dat de leerlingen van wie de 5 clustervakken de meeste lessenuren per week in beslag nemen, 18 van die lessen hebben. Voor het inplannen van alle clusterlessen zijn dus sowieso 18 roosterposities nodig, maar dat wil niet zeggen dat 18 roosterposities ook daadwerkelijk genoeg is⁸. Die 18 is wel een ondergrens voor de minimale clusterbreedte.

Wanneer we deze gegevens combineren met datgene wat in hoofdstuk 4 beschreven is, concluderen we dat er op zoek gegaan moet worden naar een clusterschema met 5 clusterlijnen en clusterbreedte 18. Nu we dat weten, is het zaak om het in hoofdstuk 5 beschreven lege clusterschema van 5H er weer bij te pakken, zie figuur 5.

Het enige clustervak met niet per tijdvak hetzelfde aantal lessen per week voor alle lesgroepen (vandaar de gele lessentabel) is wiskunde A. Het bovenste lesgroepblokje van wiskunde A in het benedengedeelte van de kruistabel blijkt met lessentabel 2,2,2,2 als enige af te wijken van de voor wiskunde A geldende lessentabel 3,3,3,2. Uit de lessentabellen van de andere clustervakken blijkt dat die ene lesgroep de enige is die gedurende alle tijdvakken hooguit 2 lessen per week heeft. Daardoor kan er geen clusterlijn met lengte 2 gemaakt worden en hebben alle 5 de clusterlijnen dus ten minste lengte 3. Een aantal clusterlijnen met lengte 4 is bovendien een vereiste, want de clustervakken biologie, Duits, economie, Frans en natuurkunde hebben allemaal in sommige tijdvakken 4 lessen per week. Aangezien er geen clustervakken met meer dan 4 lessen per week zijn, zijn clusterlijnen met een lengte groter dan 4 niet zinvol.

De enige manier om met 5 clusterlijnen met allemaal lengte 3 of 4 een clusterschema met clusterbreedte 18 te maken, is met 3 clusterlijnen met lengte 4 en 2 met lengte 3. Alle lesgroepen van de vieruursvakken moeten dus samen in 3 clusterlijnen geplaatst worden. Om de clusterautomaat in die richting te sturen, heb ik voor al die vakken de 4^e en 5^e clusterlijn geblokkeerd⁹, zoals te zien aan de met ‘===’ weergegeven blokkades in de bovenste helft van figuur 6, die vanaf nu het onderwerp van gesprek zal zijn in plaats van figuur 5.

6.2 Beschikbaarheden van de docenten

In de bovenste helft van figuur 6 zijn het boven- en middelgedeelte van het clusterschema te zien dat ik de clusterautomaat van Zermelo als uitgangspunt heb laten gebruiken. De onderste helft toont het midden- en benedengedeelte van dezelfde kruistabel, maar nu in de zogeheten beschikbaarheidsmodus (waarin de beschikbaarheden van de docenten weergegeven worden).

Figuur 6 laat zien dat ik de clusterautomaat ook op andere manieren aangestuurd heb dan hierboven beschreven. Om ervoor te zorgen dat elk cluster op zoveel mogelijk roosterposities beschikbaar en dus ook plaatsbaar is, heb ik op basis van de beschikbaarheden van de docenten namelijk ook lesgroepen in bepaalde clusterlijnen gefixeerd, zoals in de bovenste helft van de figuur te zien aan de rechthoekige zwarte haakjes om de bovenhoekjes van de betreffende lesgroepblokjes.

⁸ Wanneer één docent bijvoorbeeld 5 clustergroepen van een vieruursvak les zou moeten geven, zou de minimale clusterbreedte al minstens 20 zijn, ongeacht het aantal lessen van de overige clustervakken.

⁹ Een andere optie is het instellen van zogeheten *plafondbewaking* voor de onderste 2 clusterlijnen. Weliswaar op straffe van een groot aantal strafpunten blijft het daarbij mogelijk dat de lengte van een clusterlijn de maximaal toegestane lengte (van in dit geval 3) overschrijdt, dus die maatregel vond ik niet rigoureuus genoeg.

Bij het fixeren van lesgroepen ben ik begonnen met de lesgroepen van de docenten met de kleinste beschikbaarheid. In de onderste helft van de figuur is te zien dat de docenten SDS (Spaans) en FVL (wiskunde A) zijn, die beiden maar op 3 dagen beschikbaar zijn en dus beter niet bij vieruursvakken in dezelfde clusterlijn ingedeeld kunnen worden. Ook kunnen ze beter niet samen in één clusterlijn, want alleen op dinsdag zijn ze 2 uur allebei beschikbaar. Vandaar dat ik hun lesgroepen in de clusterlijnen met lengte 3 (de onderste 2) gefixeerd heb.

Vervolgens zien we dat docent MNT van geschiedenis 2 lesgroepen heeft en op maandag niet beschikbaar is. Omdat FVL van wiskunde A in clusterlijn 4 op maandag ook niet kan, kan één van de lesgroepen van MNT mooi in clusterlijn 4. De andere lesgroep mag niet in clusterlijn 5, want dan kan die clusterlijn alleen nog maar op dinsdag en donderdag en dus een dag te weinig ingepland worden. Die clustergroep moet dus in clusterlijn 1, 2 of 3, wat ook geldt voor de lesgroepen van LFR en WNN van het vieruursvak natuurkunde. Die 3 lesgroepen moeten bovendien in 3 verschillende clusterlijnen, omdat deze 3 docenten op 3 verschillende dagen niet beschikbaar zijn en er anders maar 3 in plaats van 4 dagen overblijven. Deze 3 lesgroepen heb ik daarom in de volgorde van de dag van de week waarop de bijbehorende docent verhinderd is over de eerste 3 clusterlijnen verdeeld en vervolgens gefixeerd.

Daarna moesten de 2 lesgroepen van aardrijkskundedocent MJN vanwege afwezigheid op woensdag in de clusterlijnen 2 en 5 en moest de lesgroep geschiedenis van JVL vanwege afwezigheid op vrijdag in clusterlijn 5, zoals te zien in de figuur. Qua beschikbaarheid paste de lesgroep natuurkunde van KST goed in clusterlijn 3 en een van de 2 lesgroepen biologie van AJN (de klassikale clustergroep biologie met letter B heeft ook les van AJN) kon mooi in clusterlijn 2. De lesgroep **kumu**, kunst (muziek), moest qua beschikbaarheid in clusterlijn 3 of 4, dus heb ik de andere 3 clusterlijnen voor dat vak geblokkeerd. Het liefst had ik dat ook gedaan voor het vak maatschappijwetenschappen (**maw**), maar aangezien het blokkeren van clusterlijnen helaas niet per lesgroep, maar alleen voor alle lesgroepen van een clustervak mogelijk is¹⁰ en de tweede, aan stamklas D gelijke klassikale clustergroep van **maw** in alle clusterlijnen kan, heb ik daar toch van afgezien. Iets soortgelijks gaat op voor de clustergroep wiskunde A waarvan de docent op woensdag verhinderd is. Alle andere docenten zijn dermate veel beschikbaar dat het fixeren van die lesgroepen het maken van een goed clusterschema alleen maar onnodig kan belemmeren. Vandaar dat ik het wat het fixeren en blokkeren betreft hierbij heb gelaten.

Tot slot heb ik voor de clustervakken met meer lesgroepen dan het aantal inmiddels nog voor het betreffende clustervak beschikbare clusterlijnen voor de noodzakelijke optie meervoudig gekozen. Om de zoekruimte beperkt te houden in de hoop relatief snel tot een goed clusterschema te kunnen komen, heb ik niet alleen de overige vakken op enkelvoudig laten staan, maar ook voor alle clustervakken voor de optie standaard gekozen. Zo heb ik uiteindelijk de in figuur 6 weergegeven uitgangspositie voor de clusterautomaat bereikt. Aan deze uitgangspositie zijn wel meerdere versies voorafgegaan om even te testen of ik niet teveel of te weinig eisen aan het clusterschema had gesteld. Wanneer het maken van een clusterschema onder de gestelde voorwaarden nog mogelijk is, verschijnt namelijk binnen enkele ogenblikken een oplossing die op zijn minst voldoet¹¹. Anders geeft de clusterautomaat na enige tijd zelf aan dat er geen oplossingen zijn.

6.3 Het ontstane clusterschema

Binnen enkele ogenblikken vond de clusterautomaat al een zeer goede oplossing en na de eerste 10 minuten werd er een uur lang geen verbetering gevonden. Aangezien er ook geen onwenselijkheden zichtbaar waren, heb ik de clusterautomaat toen gestopt. Het resultaat daarvan is te zien in figuur 7. In het vervolg zullen nu eerst het linkerdeel van de kruistabel en het bij dit clusterschema behorende strafpuntenoverzicht besproken worden.

¹⁰Een tip voor Zermelo is dus om het blokkeren van clusterlijnen ook mogelijk te maken voor individuele clustergroepen in plaats van alleen voor alle clustergroepen van een clustervak.

¹¹Dat wil zeggen dat alle leerlingen al hun clustervakken in verschillende clusterlijnen kunnen volgen. Het zegt echter niets over de kwaliteit van het clusterschema.

Elke rij van het linkerdeel van de kruistabel zoals te zien in figuur 7 toont meerdere eigenschappen van het bijbehorende cluster. De kolom 'pos' toont voor elk van de clusterlijnen de beschikbaarheid van het betreffende cluster op elk van de 5 keer 8 lessen. Een wit blokje geeft aan dat alle docenten van dat cluster dan beschikbaar zijn voor het geven van lessen; een grijs (of rood, zie de toelichting onder de figuur) blokje toont het tegendeel. De kolom 'doc' geeft voor elke clusterlijn aan hoeveel docenten en eventueel ook hoeveel verplichte lokalen bij de in die clusterlijn ingedeelde lesgroepen betrokken zijn en de kolom 'clb' toont de lengte van elk cluster per tijdvak (door Zermelo ook clusterbreedte genoemd). De kolom 'vrh' toont per clusterlijn het aantal *vrijheidsgraden*, het aantal roosterposities waarop dat cluster meer beschikbaar is dan gezien de lengte van het cluster vereist is. In de kolom 'dag' staat hoeveel dagen het gehele cluster beschikbaar zou moeten zijn en hoeveel dagen dat daadwerkelijk het geval is. De eerste 3 in '3/3' betekent dat het cluster op minstens 3 verschillende dagen les zou moeten kunnen krijgen. De tweede 3 geeft aan dat dat op 3 dagen werkelijk zo is. Alle clusters zijn dus op voldoende dagen beschikbaar. De kolom 'ondk' geeft van elk cluster de onderwijskundige blokstructuur weer (zie pagina 7). Rode blokjes geven aan dat er lesgroepen zijn met een andere gewenste blokstructuur. De laatste kolom toont de *leegloop* van elke clusterlijn, bij deze afdeling logischerwijs allemaal 0.

		Beschrijving	Waarde per tv				Waarde
			tv1	tv2	tv3	tv4	
		Strafpunten					1.766.797
Clusterbreedte		Clusterbreedte 18 - 18					0
Clusterbreedte per tv		18 - 18 18 - 18 16 - 16 14 - 14	18	18	16	14	0
+ Leegloop		Leegloop					0
+ Vrijheid		Vrijheid					139
+ Botsingen		Botsingen					0
+ Overflow		Overflow					0
- Dagspeling		Dagspeling					140.600
	Dagspeling cluster 1	4/4 4/4 3/4 3/4	10.000	10.000	100	100	20.200
	Dagspeling cluster 2	4/4 4/4 3/4 3/4	10.000	10.000	100	100	20.200
	Dagspeling cluster 3	4/4 4/4 4/4 3/4	10.000	10.000	10.000	100	30.100
	Dagspeling cluster 4	3/3 3/3 3/3 2/3	10.000	10.000	10.000	100	30.100
	Dagspeling cluster 5	3/3 3/3 3/3 3/3	10.000	10.000	10.000	10.000	40.000
- Onderwijskundig		Onderwijskundig					1.400.000
	Onderwijskundig cluster 1	ondkg ondkg ondkg ondkg	0	0	0	0	0
	Onderwijskundig cluster 2	ondkg ondkg ondkg ondkg	0	0	0	0	0
	Onderwijskundig cluster 3	ondkg ondkg ondkg ondkg	250.000	250.000	250.000	250.000	1.000.000
	Onderwijskundig cluster 4	ondkg ondkg ondkg ondkg	100.000	100.000	100.000	100.000	400.000
	Onderwijskundig cluster 5	ondkg ondkg ondkg ondkg	0	0	0	0	0
+ Plafonds		Plafonds					0
ClusterRuimte		18/35 18/37 16/37 14/37	6	5	5	4	20
Niet indeelbare lln		Niet inged: 0					0
+ Indelingen		Indelingen					226.037
+ Leerlingindelingen		Leerlingindelingen					0

Figuur 1: Het strafpuntenoverzicht van het clusterschema van 5H na 'Maak schema'.

De genoemde onderwijskundige manco's qua blokstructuur zijn ook in het strafpuntenoverzicht in figuur 1 te zien. Doordat de clustergroepen met blokuren sterk in de minderheid zijn, zijn de 1.400.000 strafpunten daarvoor onvermijdelijk. Gezien paragraaf 6.2 geldt dat ook voor de 140.600 strafpunten voor dagspeling. De minder dan 1.000.000 strafpunten voor indelingen tonen dat er wel verschillende groepsgroottes per vak, maar geen te grote of te kleine lesgroepen zijn.

6.4 Het clusterschema van 5H zonder sturing vooraf

Een interessante vraag is in hoeverre het zoals eerder in dit hoofdstuk beschreven sturen van de clusterautomaat van Zermelo noodzakelijk is. Om die vraag te beantwoorden, heb ik de clusterautomaat met ‘Maak schema’ ook een clusterschema laten maken zonder sturing vooraf. Om het nieuwe clusterschema zo goed mogelijk met het clusterschema van figuur 7 te kunnen vergelijken, heb ik voor het maken van het nieuwe clusterschema dezelfde instellingen voor enkelvoudig/meervoudig en standaard/speciaal gekozen. Wanneer bijvoorbeeld voor de vieruursvakken met meer dan 3 lesgroepen voor de optie enkelvoudig in plaats van meervoudig gekozen zou worden, zou een clusterschema met clusterbreedte 18 immers überhaupt niet mogelijk zijn.

Het resultaat van ruim 4 uur ‘ploeteren’ door de clusterautomaat van Zermelo is weergegeven in figuur 8. Wat opvalt is dat de kolom ‘dag’ in het linkerdeel van de kruistabel helemaal rood is: elke clusterlijn kan op minder dagen geplaatst worden dan onder andere op basis van de lengte van het cluster gewenst is. Wanneer in de kolom ‘vrh’ links daarnaast de aantallen vrijheidsgraden vergeleken worden met die van het clusterschema met sturing in figuur 7, zien we ook dat de clusters in het clusterschema zonder sturing op aanmerkelijk minder roosterposities ingeroosterd kunnen worden dan die in het clusterschema met sturing. Uit de blokjes ‘Cluster-ruimte’ boven de beide linkerdelen van de kruistabel in de figuren 7 en 8 blijkt bovendien dat er in het clusterschema zonder sturing veel meer (grijze) roosterposities zijn waarop geen enkel cluster geplaatst kan worden. Wat betreft de beschikbaarheden van de diverse clusterlijnen is er voor Zermelo dus nog veel winst te behalen en dat blijkt ook te gelden op het gebied van de clusterbreedte. Wanneer we in het tabelletje links naast het clusterschema zonder sturing de bijbehorende clusterbreedte bekijken, zien we immers dat de clusterautomaat er niet in is geslaagd om een clusterschema met clusterbreedte 18 te vinden. De aanmerkelijk mindere kwaliteit van het clusterschema zonder sturing is ook terug te zien in het eveneens in het tabelletje links naast elk clusterschema weergegeven aantal strafpunten van beide clusterschema’s.

Wat echter wel gezegd moet worden, is dat de clusterautomaat mét goede sturing wel zeer goed in staat is om een goed clusterschema te vinden. Het zou echter mooi zijn als dat in de toekomst ook zonder sturing zou lukken, bijvoorbeeld op vergelijkbare wijze als ik in dit hoofdstuk heb proberen weer te geven.

7 Het plaatsen van de lessen met de Roosterplan Wizard

Na het op vergelijkbare wijze als in hoofdstuk 6 maken van de clusterschema's van de andere bovenbouwafdelingen met 'Maak schema' en het toepassen van 'Maximaal klassikaal' en 'Optimaliseer', waarbij geen handelingen verricht worden die het in dit verslag vermelden waard zijn, was het tijd voor het daadwerkelijke inroosteren van alle lessen. Zermelo heeft daarvoor de Roosterplan Wizard, waarin de lessen eerst nog met strikt van elkaar gescheiden gehouden clusterlijnen op de roosterposities van het voorlopige rooster geplaatst kunnen worden. Dat gebeurt dan met de automaat die de 'Quarpomaat' genoemd wordt. Vervolgens kan dat roosterplan met andere automaten als de 'Mathematicus', de 'Nachtwachter' en de 'Arena' (waarin voortdurend de beste van de met de diverse kernen van de gebruikte computer en eventueel ook daarmee verbonden andere computers gevonden roostervarianten wordt gekozen) verder geoptimaliseerd worden door het strikte behoud van clusterlijnen los te laten, waardoor enkele lessen van clustergroepen uit verschillende clusterlijnen toch gelijktijdig gegeven kunnen worden. Dat kan bijvoorbeeld handig zijn voor in verschillende clusterlijnen geplaatste clustergroepen met meer lessen per week dan andere clustergroepen in de betreffende clusterlijnen. Als de betreffende clustergroepen disjunct zijn en verschillende docenten hebben, kunnen die immers prima gelijktijdig plaatsvinden.

De roosterplannen uit de Roosterplan Wizard kunnen vanuit een soort 'zweefmodus' boven de roosterposities niet alleen eenvoudig 'neergezet' (definitief gemaakt), maar ook zo weer naar de zweefmodus 'opgetild' worden. Het idee daarachter is dat de roosterplannen van de verschillende afdelingen één voor één als het ware om de roosters van de al neergezette afdelingen 'gegoten' kunnen worden, maar ook gemakkelijk weer opgetild kunnen worden wanneer het plaatsen van de volgende afdeling even later niet naar wens blijkt te verlopen.

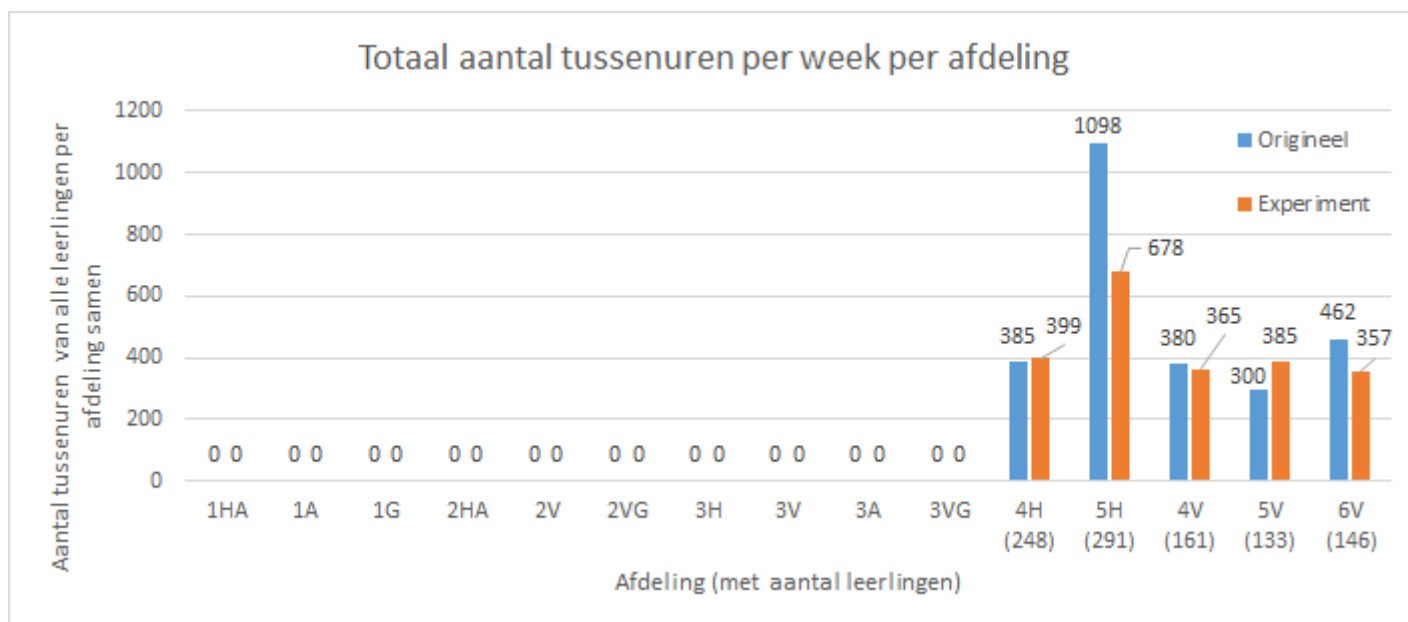
Deze aanpak leek mij echter erg ten koste te gaan van de als laatste geplaatste afdelingen. Weliswaar is het dan mogelijk om enkele al geplaatste afdelingen weer op te tillen en die samen te optimaliseren alvorens ze weer neer te zetten, maar dat klinkt allemaal wel heel omslachtig. Veel voor de hand liggender zou zijn om voor alle afdelingen tegelijkertijd een roosterplan zonder botsingen te maken en te optimaliseren en dat roosterplan vervolgens in één keer in zijn geheel neer te zetten. Die aanpak leek mij zeer de moeite waard om uit te proberen, al was er wel een mogelijk obstakel waar vooraf rekening mee moest worden gehouden. De vraag was immers of de automaat het grote aantal in één keer in een roosterplan te plaatsen lessen wel goed aan zou kunnen. Aangezien deze aanpak nieuw was voor de medewerkers van Zermelo die ik hierover sprak, waren zowel zij als ik dan ook erg benieuwd naar het resultaat, dat in het volgende hoofdstuk vergeleken zal worden met het originele basisrooster dat door het Walterbosch in gebruik genomen is. Voor daartoe over te gaan, volgt echter eerst nog een waarneming met betrekking tot de Quarpomaat.

Wat al opvalt in het scherm van de Quarpomaat (zie figuur 9) is dat in het kader rechtsboven behalve de startkwaliteit niet de kwaliteit van het tot dan toe beste rooster bijgehouden wordt, maar de kwaliteit van het huidige rooster. Dat doet vermoeden dat de Quarpomaat het beste rooster niet bewaart, zeker ook gezien het feit dat de in deze figuur weergegeven grafiek niet monotoon dalend is. De in figuur 9 weergegeven toestand van de Quarpomaat is de toestand van de Quarpomaat toen ik die stopzette en in figuur 10 is het scherm van de Mathematicus meteen daarna te zien. De gekozen modus van de Mathematicus was 'Optimaliseren', dus het eindresultaat van de Quarpomaat werd overgenomen om te verbeteren. Bovendien heb ik bij het opstarten van de Mathematicus voor alle wegingen van hoe zwaar bepaalde botsingen en dergelijke meetellen precies dezelfde keuzes gemaakt als bij de Quarpomaat en we zien in figuur 10 dan ook precies dezelfde startkwaliteit als de huidige kwaliteit van het eindresultaat van de Quarpomaat in figuur 9. Zoals we zagen in de grafiek in figuur 9 was dat echter niet de kwaliteit van het beste rooster dat de Quarpomaat onderweg tegengekomen is. Het beschreven vermoeden wordt hierdoor dus alleen maar versterkt.

8 Het resultaat van het roosterexperiment

De Roosterplan Wizard bleek prima in staat om voor meerdere afdelingen tegelijk een roosterplan te maken. Wel heb ik met de Quarpomaat eerst voor de 2 afdelingen met de grootste clusterbreedte, te weten 5H en 5V, 2 afzonderlijke roosterplannen met behoud van clusterlijnen gemaakt en die vervolgens overgeheveld naar het roosterplan voor alle bovenbouwafdelingen bij elkaar. Dat heb ik gedaan door die beide roosterplannen eerst neer te zetten, toen alle bovenbouwafdelingen voor het roosterplan te bundelen en vervolgens alle geplaatste lessen weer op te tillen. Gevoelsmatig leek mij het bij deze afzonderlijke afdelingen gebruiken van alleen de Quarpomaat om de clusterlijnen nog intact te houden essentieel. Daarbij ben ik ervan uitgegaan dat het inroosteren van alle afdelingen samen makkelijker zou gaan wanneer de clusterlijnen nog niet vertroebeld zouden zijn.

Nu zullen het originele rooster en het experimentele rooster met elkaar vergeleken worden, te beginnen op basis van het totale aantal tussenuren van alle leerlingen van dezelfde afdeling bij elkaar opgeteld, zoals te zien in figuur 2. De afwezigheid van tussenuren in de onderbouwklassen is overigens geen toeval, want dat is een van de randvoorwaarden die het Walterbosch hanteert.



Figuur 2: Het totale aantal tussenuren van alle leerlingen van dezelfde afdeling bij elkaar opgeteld

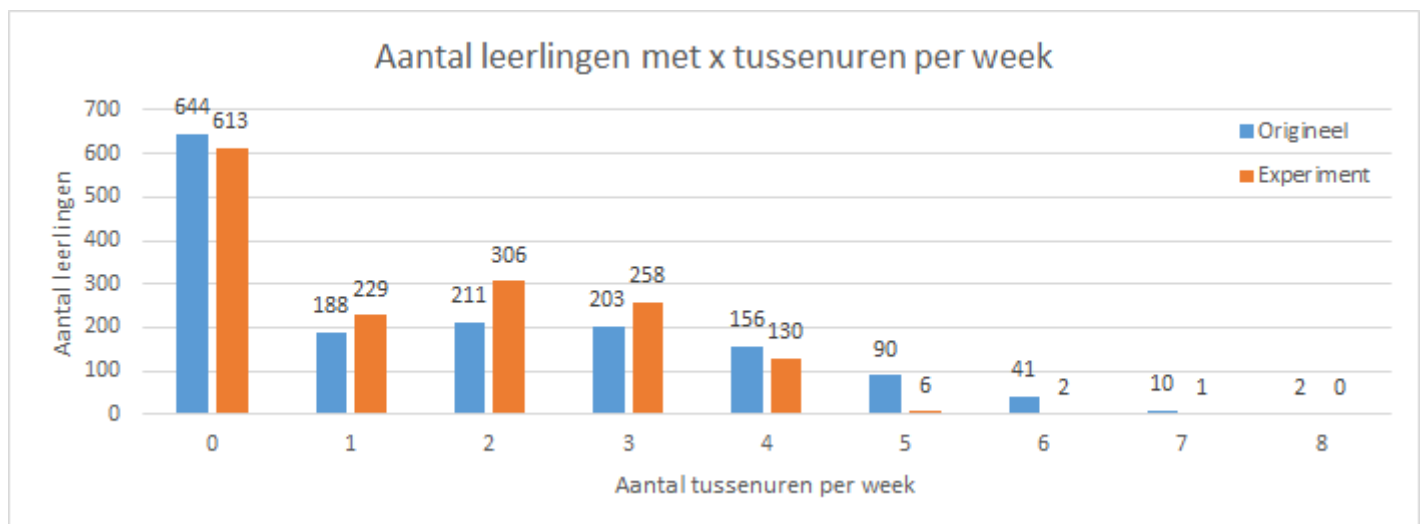
Bij de afdeling 4H en 4V zijn de verschillen minimaal, maar bij de afdelingen 6V en vooral 5H is een significant groot verschil te zien in positieve zin, wat logisch verklaard zou kunnen worden door het feit dat in het originele rooster in tegenstelling tot in het fictieve rooster niet het minimale aantal clusterlijnen is gebruikt en er dus onnodig veel leegloop is gecreëerd. De toename van het aantal tussenuren bij de afdeling 5V heeft mogelijk betrekking op de gymlessen van die afdeling. Zoals beschreven in de probleemstelling zijn voor het fictieve rooster alle lessen uit het originele rooster uitgeroosterd, op de enkele gefixeerde lessen na. Laten de gymlessen van 5V nou net tot de groep gefixeerde lessen hebben behoord. Uit navraag achteraf bleek dat de roostermaker deze gymlessen pas na het in het rooster plaatsen van alle lessen gefixeerd had om het rooster van daaruit verder te kunnen optimaliseren. Bij het maken van het fictieve rooster was ik echter nog in de veronderstelling dat er van begin af aan om die gymlessen heen geroosterd moest worden. Het om specifieke gefixeerde lessen heen roosteren van de rest van een afdeling zorgt echter voor moeilijkheden, zoals te zien in het in figuur 3 deels weergegeven rooster van 5V.

We zien namelijk in figuur 3 dat het in dit geval voor de stamklas 5V1 en 5V4 niet gelukt is om lessen tijdens de gymlessen van andere stamklassen op respectievelijk donderdag het 2^e en vrijdag het 4^e uur te plaatsen. In het geval van 5V4, die op vrijdag het 3^e en 5^e uur een klassikale en daarom paarsegekleurde les Nederlands heeft, kost dat al meteen 30 tussenuren, namelijk voor alle 30 leerlingen in die stamklas 1.

	do	do	do	do	do	do	do	do	do	vr	vr	vr	vr	vr	vr	vr	vr	vr	vr
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
5V1 25	ckv1		lo2	lo2	econ2	lv1	biol3	ckv2		wisb2	econ2	wisb2	nat2	netl	biol1				
5V2 20	enc2	lo1	lo1	ckv4	nat3	biol2	econ1	-7		dutl2	nat3	kubv1	ak2	lv2	fi1	biol2			
5V3 28	entl2	lo4	lo4	netl	schk2	dutl3	schk3	-3		wisa2	schk2	kumu1	kubv1	-11	in1	dutl3			
5V4 30	lo5	lo5	lv4	gtc1	sp1	fatl1	wisb3	lv5		wisb1	sp1	netl		netl	nat1	fatl1			
5V5 30	-17	entl3	netl	-8	wisa3	ges2	lrc1	-25		-18	wisa3	lo3	lo3	netl	wisa1	ges2	netl		
5V						in2						lv3	kumu1			in2			

Figuur 3: Het fictieve rooster voor 5V op donderdag en vrijdag

Een waarschijnlijk nog belangrijkere graadmeter voor de kwaliteit van het rooster dan het totale aantal tussenuren is de verdeling van het aantal wekelijkse tussenuren over de leerlingen. Deze is voor beide roostervarianten te zien in figuur 4. Te zien is dat in beide roosters niemand meer dan 8 wekelijkse tussenuren heeft en dat de aantallen leerlingen met 4, 5, 6, 7 en 8 tussenuren per week allemaal afgenomen zijn. Als gevolg van dit zeer gunstige gegeven is het aantal leerlingen met minder dan 4 tussenuren per week logischerwijs toegenomen (namelijk met precies de afname van het aantal leerlingen met meer dan 4 tussenuren per week). Het enige smetje is wel dat het aantal leerlingen zonder tussenuren iets afgenomen is. Gezien de afname van het aantal leerlingen met 5 of meer tussenuren van 143 naar 9 zal dat echter wel voor lief genomen kunnen worden.



Figuur 4: De verdeling van het aantal tussenuren dat leerlingen per week hebben

9 Conclusie

Tijdens het beschreven roosterexperiment viel mij een aantal dingen op en onder meer op basis daarvan heb ik enkele tips voor het Walterbosch en Zermelo kunnen formuleren.

9.1 Tips voor het Veluws College Walterbosch

Allereerst waren er 2 leerlingen uit 6V die allebei 1 clustervak meer hadden dan alle andere leerlingen. Sommige andere leerlingen hadden op 1 vak na precies hetzelfde vakkenpakket als deze leerlingen, waaruit geconcludeerd kan worden dat er voor deze 2 leerlingen per abuis een extra vak meegeroosterd is. Zoals beschreven in hoofdstuk 4 is dat niet aan te raden. Een tip is dus om er beter voor te zorgen dat er geen extra vakken meegeroosterd worden.

Bij de afdeling 4H viel het me op dat het vak Engels Cambridge (enc) wel meegeclusterd werd, maar het vak Engelse taal en letterkunde (entl) niet, terwijl alle leerlingen ofwel enc, ofwel entl in hun pakket hebben. Daardoor hadden de leerlingen met entl dus een clustervak minder, waardoor ze tot de leegloop van een van de clusterlijnen gingen behoren. Op basis van hoofdstuk 4 lijkt het me raadzaam om 2 vakken waar alle leerlingen er precies 1 van volgen allebei wel óf allebei niet mee te clusteren.

Zoals te zien in figuur 7 heeft in elk geval de clusterautomaat soms grote moeite om clusterlijnen op dinsdag de eerste 2 uur te plaatsen. Een mogelijke oorzaak hiervoor zou de op die uren geplande vergadering van het managementteam en de daarmee gepaard gaande niet beschikbaarheid van de betrokken docenten kunnen zijn. Om hierover uitsluitel te krijgen, zou nader onderzocht kunnen worden wat de gevolgen voor het rooster zouden zijn als deze vergadering niet meer onder schooltijd plaats zou vinden.

Tot op heden was het in Zermelo alleen mogelijk om voor elke lesgroep aan te geven of blokken wel of niet gewenst zijn. Van medewerkers van Zermelo heb ik gehoord dat er binnenkort een nieuwe optie komt om voor elke lesgroep waarvoor losse lessen gewenst zijn, maar waarvoor het roostertechnisch niet mogelijk is om alle lessen op verschillende dagen te plannen, aan te geven of de voorkeur dan uitgaat naar meerdere losse lessen op dezelfde dag, of dat er dan toch de voorkeur wordt gegeven aan een blokkur. Dat lijkt me een interessante optie om in de gaten te houden.

9.2 Tips voor Zermelo

Zoals beschreven in paragraaf 6.4 zou het mooi zijn als de clusterautomaat bijvoorbeeld op zoals in dit verslag beschreven wijze beter in staat zou zijn om een clusterschema met de minimale clusterbreedte te vinden en beter rekening zou houden met de beschikbaarheden van docenten. Wat bij dat laatste ook een rol zou kunnen spelen, is het ontwikkelen van een algoritme dat meteen na het stoppen van de clusterautomaat de beschikbaarheden van alle clusterlijnen optimaliseert door voor het gegeven clusterschema als het ware de optie Speciaal uit te voeren.

Op basis van mijn in het slot van hoofdstuk 7 beschreven waarneming zou ik willen aanraden om de werking van de Quarpomaat nog even na te kijken.

10 Dankwoord

Graag wil ik de bij deze bacheloropdracht betrokken partijen bedanken voor de door hen verleende medewerking. Niet alleen Gerhard Post, die bij deze opdracht mijn begeleider was vanuit de Universiteit Twente, maar ook Bert de Stigter, Mirjam de Vos en Theo Sikking van Zermelo. Bert heeft op het kantoor van Zermelo in Deventer een paar uur de tijd genomen om mij wegwijs te maken in het clusteren met Zermelo en Mirjam en Theo van de helpdesk van Zermelo hebben zowel telefonisch als per mail een aantal vragen van mij beantwoord.

Tot slot wil ik ook het Veluws College Walterbosch en in het bijzonder roostermaker Peter Landsheer en adjunct-directeur Marc Brakenhoff niet onvermeld laten. Zonder het roosterbestand van de school met alle relevante informatie omtrent het rooster en de mij door de school geboden toegang tot het roosterprogramma Zermelo zou deze opdracht überhaupt niet mogelijk zijn geweest en de door de roostermaker en de adjunct-directeur geïnvesteerde tijd om met mij te sparren was ook van fundamentele waarde!

11 Referenties

- [1] Zermelo Software BV (2015). Handleiding Zermelo, Gebruikershandleiding Desktop versie 3.1.0.
- [2] B. van Kesteren (1999). The Clustering Problem in Dutch High Schools, Changing Metrics in Search Space.
- [3] G.F. Post, H.W.A. Ruizenaar (2004). *Clusterschemes in Dutch secondary schools*. Memorandum 1707, Department of Applied Mathematics, University of Twente, Enschede. ISSN 0169-2690.

Clusterruimte

Vak	ak	biol	dutl	econ	fatl	ges	in	kubv	kumu	maw	mo	nat	schk	sp	wisa	wisb
Conf.:	10	5	10	64/330	5	120/210	10	5	5	10	10	10	5	10	45/495	10
LIn:	77	109	90	196	24	180	77	26	15	46	89	90	111	45	224	56
Uren:	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3
	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3
	2	3	3	3	4	3	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3
	1	3	3	3	3	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3
Grp:	grp: 3	grp: 4	grp: 3	grp: 7	grp: 1	grp: 6	grp: 3	grp: 1	grp: 1	grp: 2	grp: 3	grp: 3	grp: 4	grp: 2	grp: 8	grp: 2
	Enkelv	Enkelv	Enkelv	Meerv	Enkelv	Meerv	Enkelv	Enkelv	Enkelv	Enkelv	Enkelv	Enkelv	Enkelv	Enkelv	Meerv	Enkelv
	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand

Vrijheid: 40

Klas	A	B	C	D	E	F	G	H	K	L
29	29	29	28	27	30	30	29	30	30	29

Figuur 5: Het voor aanvang van het clusteren nog lege clusterschema van 5H

ak	biol	dutl	econ	fatl	ges	in	kubv	kumu	maw	mo	nat	schk	sp	wisa	wisb
3	3/10	1	2/36	3	20/35	10	5	2	10	10	1	5	4	36/330	10
77	109	90	196	24	180	77	26	15	46	89	90	111	45	224	56
3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3
3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3
2	3	3	3	4	3	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3
1	3	3	3	3	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3
grp: 3	grp: 4	grp: 3	grp: 7	grp: 1	grp: 6	grp: 3	grp: 1	grp: 1	grp: 2	grp: 3	grp: 3	grp: 4	grp: 2	grp: 8	grp: 2
Enkelv	Meerv	Enkelv	Meerv	Enkelv	Meerv	Enkelv	Enkelv	Enkelv	Enkelv	Enkelv	Meerv	Enkelv	Enkelv	Meerv	Enkelv
Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand	Stand
					0 MNT			===							
0 MJN	0 AJN							===			0 LFR				
											0 WNN	0 KST			
	===	===	===	===	0 MNT						===			0 FVL	
0 MJN	===	===	===	===	0 JVL			===			===		0 SDS		

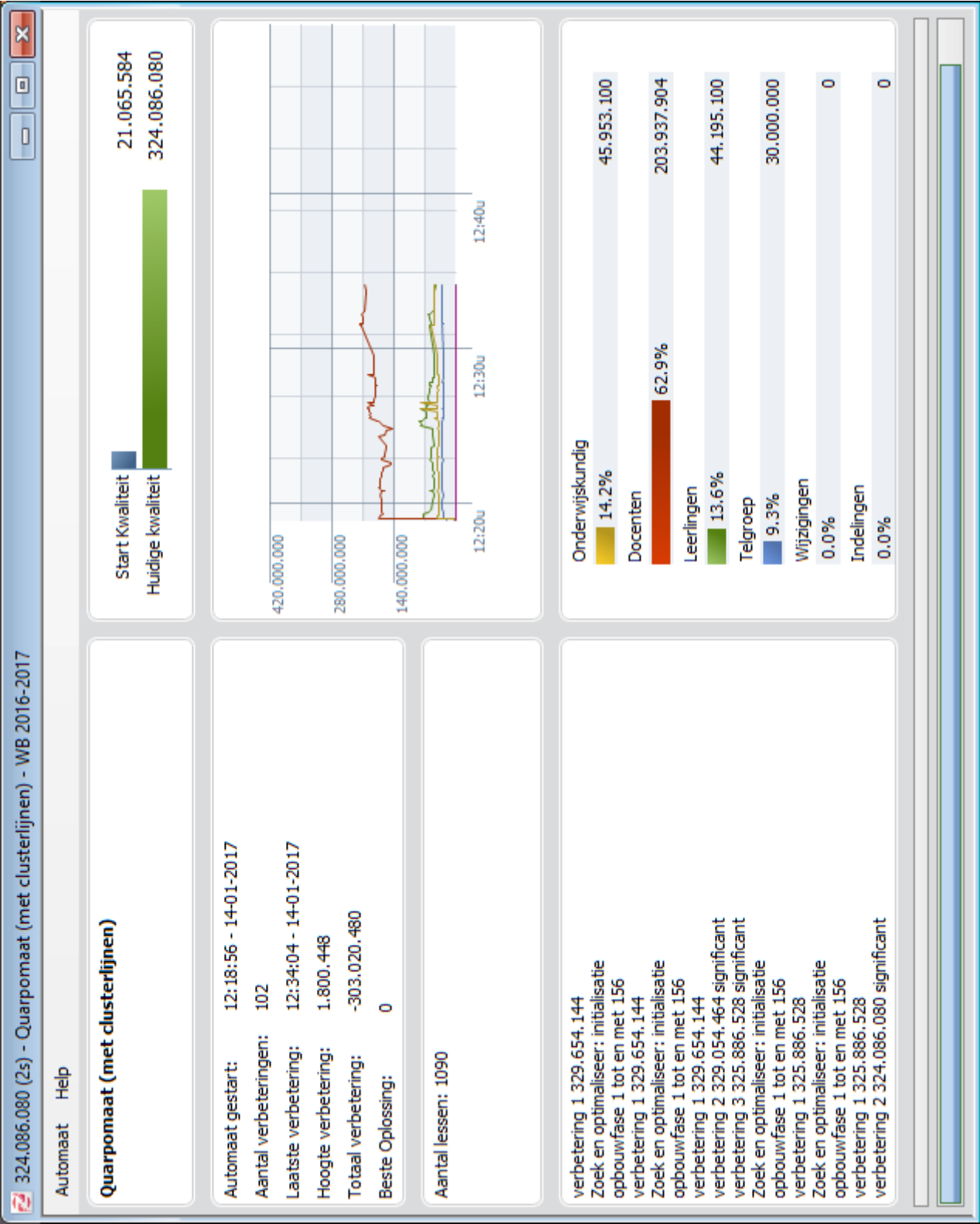


Figuur 6: Gekozen uitgangssituatie voor het clusteren van 5H

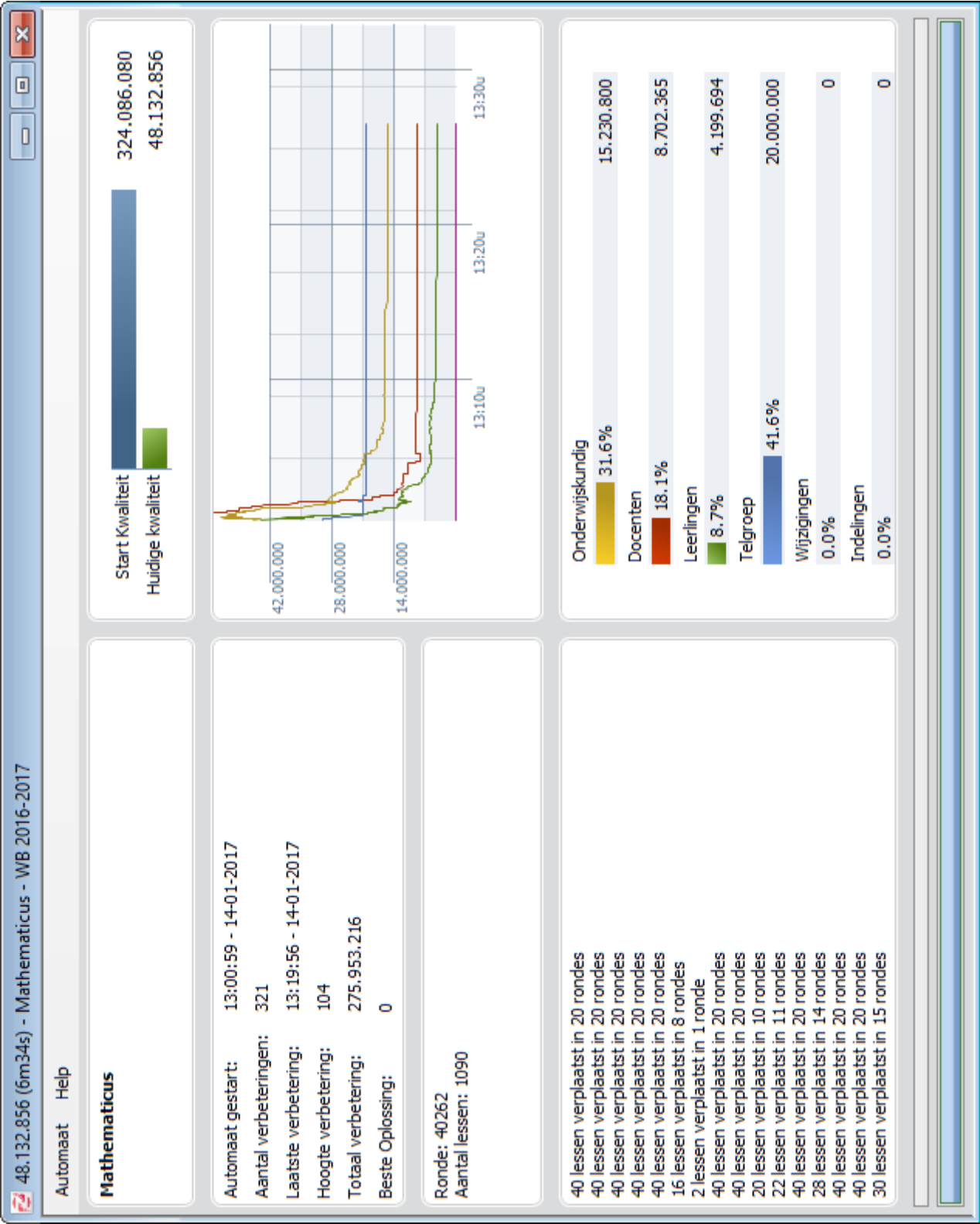
Bovenaan: het boven- en middengedeelte van de 'kruistabel'
Onderaan: het midden- en benedengedeelte van de 'kruistabel',
nu met de beschikbaarheden van alle betrokken docenten

[illegible]

Figuur 7: Het clusterschema van 5H na 'Maak schema'.



Figuur 9: Eindscherm Quarpomaat



Figuur 10: Scherm Mathematicus direct na Quarpomaat