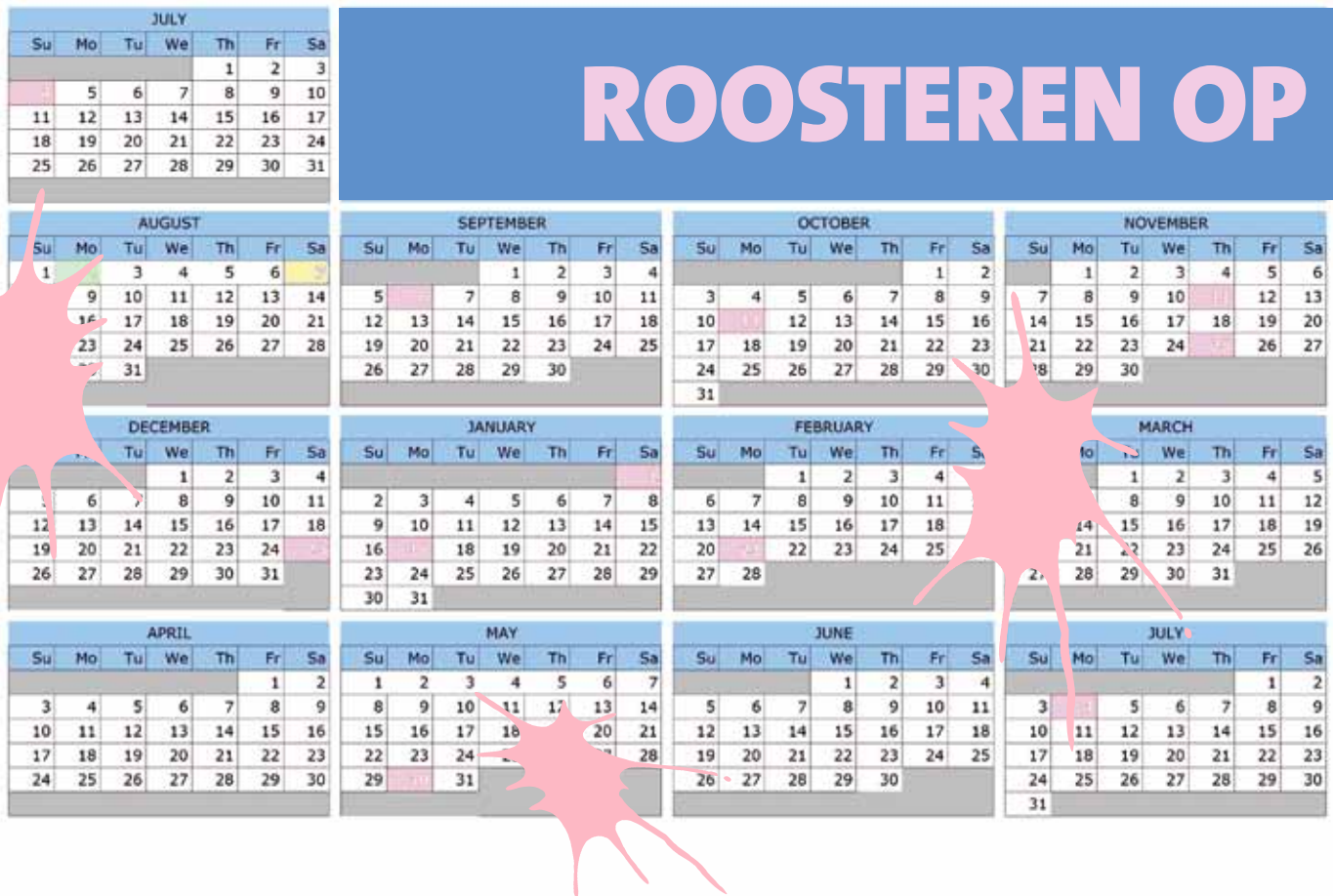


# ROOSTEREN OP



GERHARD POST, HENRI RUIZENAAR & RONALD BANNINK

Op veel middelbare scholen wordt in de periode van april tot augustus gewerkt aan het rooster voor het komende schooljaar. De lessentabel, het aantal klassen in elk leerjaar, de vakkenpakketten van leerlingen en de beschikbaarheid van lokalen en docenten zijn aspecten die vastgelegd moeten worden voordat het echte roosteren van start kan gaan. De ondersteuning van (commerciële) roosterpakketten voor het automatisch genereren van het nieuwe schoolrooster schiet nog wel eens te kort. Zo ook op het Kottenpark, een locatie van het Stedelijk Lyceum te Enschede met ongeveer 1.200 leerlingen. Dit was de aanleiding tot ontwikkeling van een eigen roosterprogramma. Dit artikel verhaalt over onze ervaringen op het Kottenpark in de afgelopen jaren.

In de wetenschappelijke literatuur zijn meer dan 150 artikelen te vinden over *high school timetabling*. Deze artikelen zijn vaak case studies: de auteurs hebben gegevens verkregen van één of enkele scholen uit één land, en wijden hier één of meer studies aan. Een studie bestaat vaak uit het toepassen van een bepaalde lokale zoekmethode die zich een weg baant door de ruimte van toegelaten oplossingen. Hierbij is een toegelaten oplossing een rooster waarbij er geen dubbele lessen voor leerlingen, docenten of klassen zijn, en rekening is gehouden met de beschikbare tijden van docenten, lokalen en klassen. Binnen de verzameling van toegelaten roosters zoeken we goede roosters. In goede roosters zullen diverse wensen zoals het spreiden van lessen over de dagen, het

# EEN MIDDELBARE SCHOOL

vermijden van laatste uren en het beperken van tussenuren voor leerlingen en docenten meer gerespecteerd worden dan in slechte roosters. Voor realistische problemen is het onmogelijk om alle toegelaten oplossingen te bepalen. In de zeer recente literatuur zijn met succes MILP modellen gebruikt in een tweefasen aanpak voor diverse (relatief kleine) datasets. De nadruk in de literatuur ligt dan ook op heuristische methodes.

## De Nederlandse situatie

Ook in Nederland zijn er de afgelopen decennia diverse studies geweest. Uit de tijd van de invoering van de mammoetwet komt het rapport van Simons (1974) met een programma voor het maken van een clusterschema. Een clusterschema legt vast welke keuzevakken tegelijk gegeven gaan worden (zie verderop). Een andere klassieker is een artikel van De Gans (1981) over een aantal onderzoeken aan de Technische Universiteit Delft naar het inplannen van lessen onder nevenvoorwaarden. Meer recent is het promotieonderzoek van Willemen aan de Technische Universiteit Eindhoven, vooral gericht op complexiteitsvraagstukken. In *STaTOR* deed hij verslag hiervan (zie Willemen, 2003). Ook aan de Universiteit Twente is de laatste jaren aandacht besteed aan algoritmen zowel voor het construeren van clusterschema's als het inplannen van lessen (zie De Haan et al 2007 en Post et al 2009).

In de Nederlandse situatie zijn twee omstandigheden die opvallen. De eerste is de grote vrijheid bij het kiezen van vakken in de bovenbouw.

Het is niet ongebruikelijk dat het verplichte deel minder dan 1/3 van alle lessen is. Daarnaast was er de afgelopen jaren een versnippering van vakken in deelvakken die het nog ingewikkelder maakte. Gelukkig, ook voor de roostermaker, is dit in 2009 enigszins teruggedraaid.

De tweede omstandigheid is het grote aantal parttimers onder docenten op middelbare scholen. Op het Kottenpark werkt 75% van de docenten parttime of heeft geen volledig rooster van 25 of 26 lessen. Dit maakt het roosteren lastiger omdat deze docenten volgens de CAO recht hebben op dagdelen vrij of dat zij uitgeroosterd moeten worden op bepaalde tijden. Veel docenten hebben daarnaast voorkeur voor een bepaalde dag van de week vrij (woensdag en vrijdag zijn favoriet). Deze vrije dagen spelen een essentiële rol bij het inplannen van de lessen maar ook bij de constructie van clusterschema's moet hierop gelet worden.

## Clusterschema's

In de bovenbouw hebben leerlingen keuzevakken. Om zoveel mogelijk keuzevakken tegelijk te plannen wordt voor elk leerjaar van de bovenbouw een clusterschema gebruikt: een clusterschema bestaat uit clusterlijnen met groepen (vakken met leerlingen) die tegelijk gegeven kunnen worden. Tabel 1 bevat het 5 vwo-clusterschema van 2009. Tussen haakjes staat het aantal keren dat een groep ingepland wordt. De lengte van een clusterlijn is het maximum van het aantal uren van de vakken in de clusterlijn. De lengte van het clus-

CLUSTERLIJN	LENGTE	VAK 1	VAK 2	VAK 3	VAK 4
Lijn A	3	ges (3)	biol (2)	nat (3)	
Lijn B	2	kcv (1)	kudr (1)	ckv (2)	
Lijn C	3	grtl (3)	econ (3)	dutl (3)	
Lijn D	3	fatl (3)	in (3)	biol (2)	dutl (3)
Lijn E	3	mu (3)	M&o (3)	nat (3)	netl (3)
Lijn F	4	te (3)	hndv (3)	schk (3)	wisB (4)
Lijn G	3	bsm (2)	latl (3)	econ (3)	schk (3)
Lijn H	3	wisC (3)	wisA (3)	econ (3)	schk (3)
Lijn I	4	ak (3)	ckv (2)	wisB (4)	netl (3)

Tabel 1. Het clusterschema van 5 vwo (lengte 28).

terschema is de som van de clusterlijn lengtes; dit is het aantal uren dat het clusterschema normaal gesproken in het weekrooster zal bezetten. Dit aantal lessen wordt aangevuld met het aantal uren voor de verplichte vakken in de afdeling, zoals Nederlands en Engels. Zie tabel 1 voor een voorbeeld. Er zijn 3 groepen met Scheikunde (lijnen F, G en H). Als een leerling zowel Scheikunde als Economie heeft in zijn vakkenpakket, kan hij bijvoorbeeld Scheikunde volgen in lijn G en Economie in lijn H. Een leerling kan maar 1 vak in een clusterlijn hebben. Als hij geen enkel vak in een clusterlijn heeft, heeft hij dus een tussenuur.

Het hoofddoel bij het construeren van clusterschema's is het minimaliseren van de lengte van het clusterschema. Het clusterschema in tabel 1 heeft lengte 28, maar door de laatste les van de twee Wiskunde B-groepen parallel te zetten

(‘staartcluster’) wordt dit teruggebracht tot 27. Het secundaire doel is het balanceren van de groepsgroottes: als er 2 groepen biologie zijn voor 40 leerlingen, dan is de voorkeur twee groepen met elk 20 leerlingen.

Er zijn scholen waar elk jaar dezelfde clusterschema's gebruikt worden. Dit kan door de keuzes van leerlingen sterk te beperken. Vermoedelijk wordt op de meeste andere scholen een automaat voor het genereren van clusterschema's gebruikt. Een dergelijke automaat kan eerst leerlingen in groepen plaatsen, en moet dan voor elke plaatsing een graafkleuring oplossen (een groep is een punt, en twee punten worden verbonden als ze een leerling gemeenschappelijk hebben). Een andere mogelijkheid is om eerst de groepen in een clusterlijn te plaatsen. Deze *branch-and-bound*-aanpak is door De Haan et al (2007) uitgewerkt.

Per plaatsing moet voor iedere leerling een lijn gekozen worden voor elk van de keuzevakken van de leerling. Voor iedere leerling wordt daarom een matching probleem opgelost met de Hongaarse methode. In kleinere clusterproblemen kan de zoekboom in enkele seconden volledig doorzocht worden; bij grotere problemen wordt een (toevallig gekozen) deel van de zoekboom doorzocht.

In plaats van een 'gewone' les in één keuzevak met een groep leerlingen en één docent komt de clusterlijn als les voor alle klassen van het leerjaar, met als docenten die van de afzonderlijke groepen in de clusterlijn. Door deze koppeling met meerdere (parttime!) docenten zijn clusterlijnen erg moeilijk te plannen of te verplaatsen. De situatie wordt nog verergerd doordat sommige vakken uit clusterlijnen van verschillende clusterschema's (bijvoorbeeld 4 havo met 5 vwo) ook nog eens moeten worden gecombineerd, omdat het aantal leerlingen te klein is om de groep zelfstandig in het rooster op te nemen. In 2009 werden op het Kottenpark 20 clusterlijnen gecombineerd tot 10 clusterlijnen met 5 of meer docenten.

## Lessen inplannen

Nu alle lessen vastgesteld zijn, kan fase twee van start: het inplannen van de lessen. De planautomaat houdt een lijst bij van alle niet-ingeplande lessen. Deze worden achtereenvolgend ingepland op de plek die het meest geschikt lijkt, en tegelijkertijd op een verboden ('tabu') lijst geplaatst, zodat deze les voorlopig blijft staan. Indien noodzakelijk wordt een andere les uitgepland. Deze uitgeplande les krijgt een hoger gewicht en komt onderaan de lijst van in te plannen lessen. De automaat probeert in de volgende stappen om lessen met hoog gewicht te laten staan. Als alle lessen ingepland zijn, probeert de automaat met behulp van 'cyclische transfers' het resultaat te verbeteren (zie Post et al 2009).

In de praktijk bleek dat de planautomaat na het draaien (enkele minuten) telkens één les overhield. Meestal is er dan een aanwijsbaar capaciteitsprobleem. Zo waren in 2009 de dinsdagen en donderdagen van 4 vwo en 5 vwo overbelast. Voor een aantal vakken moet op dinsdag en/of donderdag één of twee lessen ingepland worden. Dit bleek net één les teveel. Door een clusterlijn iets anders in te delen lukte het wel. Merk op dat we een stapje terug moesten doen om het probleem op te lossen. We kunnen nu alle lessen inplannen, maar helaas schenden we een aantal keren het maximale aantal lesdagen van een docent. Het rooster ziet er verder behoorlijk goed uit: de onderbouw is gepland zonder tussenuren en vele laatste uren zijn vrij gebleven, gemiddeld meer dan 4 van de 5 dagen. In de (clusterles) roosters van de bovenbouw zitten in totaal 2 tussenuren.

Nu alle lessen in te plannen zijn, betreden we een nieuwe fase: we willen handhaven dat alle lessen ingepland kunnen worden en tegelijkertijd proberen we het aantal docenten dat teveel dagen wordt ingezet te minimaliseren (deze wens is eigenlijk een eis). Dit is een proces dat moeilijk aan een automaat over te laten is: er moeten keuzes gemaakt worden die specifieke kennis van de roostermaker vereisen, ook wordt de definitie van het roosterprobleem aangepast. Het blijkt dat de docenten binnen de sectie tekenen/handvaardigheid, waarin docenten vaak met drie personen in een blokkur aan elkaar worden gekoppeld, iets handiger verdeeld kunnen worden. Verder wordt een aantal problematische docenten uit hun oorspronkelijke clusterlijn gehaald om mee te draaien in andere clusterlijnen of om aan het eind of aan het begin van een dag ingezet te worden. Na een aantal experimenten blijft er één docente over met teveel dagen les: deze docente wordt door de schoolleiding benaderd om de situatie uit te leggen.

In het strategieplan van het CWI (2007) wordt gesproken over de uitdaging van een perfecte

schoolroostermachine als paradigma voor veel andere roosterproblemen. Na vier decennia onderzoek is het inderdaad nog steeds moeilijk om goede schoolroosters te construeren. Wij hebben geprobeerd aan te geven waar deze complexiteit vandaan komt, en hoe deze in de loop der jaren groter is geworden, zonder daarbij volledigheid na te streven. Wij geloven dat interactie tussen mens en machine nodig zal blijven om de grenzen van het toelaatbare vast te stellen. De perfecte roostermachine zal dan ook goed moeten kunnen communiceren.

#### LITERATUUR

- CWI (2007). *Een fundamenteel verschil - CWI strategie 2007-2012*, <[www.cwi.nl/nl/system/files/u9/CWISTRATEGIE2007-2012.pdf](http://www.cwi.nl/nl/system/files/u9/CWISTRATEGIE2007-2012.pdf)>
- De Gans, O.B. (1981). A computer timetabling system for secondary schools in the Netherlands, European. *Journal of Operational Research*, 7, pp. 175-182.
- De Haan, P. (2007). A case study for timetabling in a Dutch secondary school. *Lecture Notes in Computer Science*, 3867, pp. 267-279.
- Post, G. et al (2009). *Cyclic transfers in school timetabling*. Memorandum 1906, Universiteit Twente.
- Simons, J.L. (1974). ABC: *Een programma dat automatisch blokken construeert bij de vakdifferentiatie binnen het algemeen voortgezet onderwijs*. Technical Report 74107 U, NLR.
- Willemsen, R.J. (2003). Wiskundige aspecten van roosterproblemen, *STATOR* 2003-1, pp. 23-25.

*GERHARD POST is parttime universitair docent bij de afdeling Toegepaste Wiskunde van de Universiteit Twente. Tevens is hij parttime werkzaam als OR-specialist bij ORTEC bv.  
E-mail: <G.F.Post@math.utwente.nl>*

*HENRI RUIZENAAR is docent wiskunde aan het Kottenpark. Hij heeft de afgelopen 20 jaar de jaarroosters van het Kottenpark veelal met de hand gemaakt.  
Email: <HRuizenaar@hetstedelijk.nl>*

*RONALD BANNINK is roostermaker op het Kottenpark en vanaf 2010 verantwoordelijk voor de jaarroosters.  
E-mail: <RBannink@hetstedelijk.nl>*