

Roosters voor studenten tandheelkunde

door *J. M. Anthonisse*, *B. J. Lageweg*,
en *B. van Rij**

Mathematisch Centrum, Amsterdam.

	Samenvatting	5300- 3
1.	Inleiding	5300- 3
1.1.	Probleembeschrijving	5300- 3
1.2.	Gevolgte werkwijze	5300- 5
2.	De groepsindeling voor patiëntenbehandeling	5300- 6
3.	De stage-indeling	5300- 8
3.1.	Inleiding	5300- 8
3.2.	De stages	5300- 9
3.3.	Conflicten tussen stages	5300-13
4.	De toewijzing aan patiëntenbehandeling	5300-15
4.1.	Gevolgte werkwijze	5300-15
4.2.	Een model	5300-15
5.	Gegevens en programmatuur	5300-17
5.1.	Invoergegevens	5300-17
5.2.	Programmatuur	5300-18
5.3.	Uitvoergegevens	5300-19
	Appendix: Model voor de groepsindeling voor patiëntenbehandeling	5300-20
	Literatuurlijst	5300-22

* sinds mei 1979: Landinrichtingsdienst, Utrecht.

Samenvatting

In het vierde, vijfde en zesde studiejaar lopen studenten tandheelkunde een aantal stages om diverse technieken aan te leren. Naast deze stages hebben zij een practicum patiëntenbehandeling.

Voor het collegejaar 1978-1979 zijn voor de studenten individuele roosters gemaakt waarop per halve dag werd aangegeven aan welke activiteit de student zou deelnemen.

Bij het maken van de roosters moest niet alleen rekening worden gehouden met het fundamentele feit dat iedere student aan hoogstens één activiteit tegelijk kan deelnemen, maar ook met de verschillende perioden waarin de stages werden gegeven en op welke halve dagen binnen die perioden, met capaciteitsbeperkingen en met volgorde-relaties tussen de stages.

Bovendien moest de voor de patiëntenbehandeling beschikbare capaciteit zo goed mogelijk worden benut en dienden de studenten ieder een ongeveer gelijk aantal patiëntenbehandelingen toegewezen te krijgen.

De roosters werden met behulp van heuristische technieken geconstrueerd en hebben in de praktijk goed voldaan.

1. Inleiding

1.1. Probleembeschrijving

In het collegejaar 1978-1979 bevatte het studiepakket voor de vierde-, vijfde-, resp. zesdejaars studenten tandheelkunde aan de Universiteit van Amsterdam de stages die in tabel 1 zijn vermeld.

Naast de stages hadden de studenten een practicum patiëntenbehandeling.

Het collegejaar liep van 18 september 1978 tot en met 7 september 1979. Op 29 juni 1979 waren bijna alle stages voltooid; in juli en augustus werden enkele stages en patiëntenbehandeling (met verminderde capaciteit) voortgezet.

Aansluitend aan de Kerst- en Paasvakantie waren er algemene tentamenperioden van enkele weken waarin in het algemeen geen andere activiteiten plaatsvonden.

Verder vervielen de activiteiten op algemene vrije dagen zoals Koninginnedag en Hemelvaartsdag.

Elke activiteit kon worden opgesplitst in halve dagen, d.w.z. ochtenden en middagen. Een week was onderverdeeld in 10 *weekdelen*. Het collegejaar besloeg 52 weken, ieder bestaande uit 10 weekdelen, ofwel in totaal 520 *halve dagen*.

Tabel 1. *Stages tandheelkunde 1978-1979*

vierdejaars	vijfdejaars	zesdejaars
endodontie	surveyen	mondheelkunde
pathologische anatomie	tandtechniek	parodontologie
algemene activiteiten	volledige prothese	parodontologie patiënten
orthodontie	mondheelkunde	tandtechniek
farmacologie	polikliniek	
gezondheidsleer	parodontologie	
volledige prothese	parodontologie varkens	
mondheelkunde	parodontologie patiënten	
materiaalkunde		
pedodontie		
röntgendiagnostiek		
parodontologie		
orale diagnose		
mondhygiëne		

Alle genoemde activiteiten werden in bepaalde perioden van het studiejaar en binnen de periode op bepaalde halve dagen gegeven. Per stage was voorgeschreven hoeveel keer iedere student aan dat stage moest deelnemen. Elk stage had een bepaalde capaciteit, die in het algemeen lager was dan het aantal studenten. De stages liepen zeer uiteen in de wijze waarop ze moesten worden gevolgd. Bij enkele stages waren er volgorde-relaties met een ander stage.

Voor de patiëntenbehandeling moest elke student aan een staf lid worden toegewezen; de student mocht slechts patiënten behandelen onder leiding van dat staf lid. Elk staf lid was slechts op bepaalde weekdelen aanwezig en kon dan, mede wegens de indeling van het gebouw, gelijktijdig hoogstens acht studenten begeleiden. Het aantal studenten dat aan elk staf lid werd toegewezen was groter dan 8.

Bij het maken van de roosters was bekend welke studenten, dus ook hoeveel studenten, aan de diverse activiteiten zouden gaan deelnemen. Daarbij deed zich de complicatie voor dat sommige studenten in september slechts voorwaardelijk tot het volgende deel van hun studie waren toegelaten. Deze zogenaamde *recidivisten* moesten de stages gaan doen van het nieuwe deel van hun studie, maar tot Kerstmis nog de patiëntenbehandeling van het vorige deel. De verwachting was dat bijna alle recidivisten dan tot het volgende deel van de studie zouden worden toegelaten en dus vanaf januari voor de daarbij behorende patiëntenbehandeling zouden moeten worden ingedeeld. De andere recidivisten zouden

met de patiëntenbehandeling doorgaan en vanaf januari voor enkele stages moeten worden ingedeeld (die zij dus ook al in het vorige jaar hadden gedaan).

Tabel 2. *Aantal studenten per studiejaar en categorie*

Indelings- tijdstop	Studiejaar en categorie					
	4	4R	5	5R	6	6R
September	88	28	74	23	73	—
Januari	88	6	96	7	89	—

De aantallen studenten staan in tabel 2 vermeld. Vanaf september werden de zesdejaars-stages door $73+23=96$ studenten gevolgd; aan de vijfdejaars-patiëntenbehandeling namen toen $74+23=97$ studenten deel.

Eind augustus waren de afsluitende tentamens van het voorgaande collegejaar, op grond waarvan werd beslist tot welke categorie een student zou gaan behoren. Omdat de roosters bij de aanvang van het nieuwe collegejaar moesten worden uitgereikt, waren ruim twee weken beschikbaar voor het maken van de roosters.

I.v.m. de recidivisten was het onmogelijk om in september complete en definitieve roosters voor het hele collegejaar uit te reiken. Daarom werden in september roosters gemaakt voor alle stages gedurende het gehele collegejaar en de patiëntenbehandeling tot Kerstmis. Slechts het deel van de roosters tot Kerstmis werd uitgereikt. In januari werd de patiëntenbehandeling voor de rest van het collegejaar ingevuld, werd het stagegedeelte waar nodig aangepast, en werden de roosters voor het tweede deel van het jaar uitgereikt.

1.2. *Gevolgde werkwijze*

In de maanden juli en augustus werd de benodigde programmatuur ontwikkeld, nadat de organisatorische gegevens van de stages en de patiëntenbehandeling in juni waren vastgesteld. Mede op grond van die gegevens werd besloten om geen integraal (optimaliserings)model te gaan ontwikkelen dat alle toewijzingen simultaan zou doen. Gevreesd werd dat zo'n model te omvangrijk en te duur in het gebruik zou worden. Verbetering van de efficiency zou dan tot toespitsing op dat bepaalde collegejaar leiden, waardoor het moeilijker zou kunnen worden om in latere jaren eventuele wijzigingen in de organisatie soepel op te vangen.

Bij het hierbeschreven probleem bleek het mogelijk om het indelingsprobleem met de volgende aanpak op te lossen.

In de *eerste stap* werd de toewijzing van studenten aan stafleden vastgesteld. Daaruit volgde op welke tijdstippen de studenten mogelijk patiëntenbehandeling zouden kunnen doen o.g.v. de beschikbaarheid van de stafleden.

In de *tweede stap* werd de deelname aan de stages vastgesteld, waarbij getracht werd de studenten zoveel mogelijk op die halve dagen stage te laten lopen waarop zij door afwezigheid van het staflid zeker geen patiëntenbehandeling zouden kunnen doen.

In de *derde stap* werd de deelname aan de patiëntenbehandeling vastgesteld, uitgaande van de resultaten van de voorgaande stappen. Gegeven de beschikbaarheid van de studenten (in verband met de deelname aan stages) en van de stafleden werd getracht de capaciteit voor patiëntenbehandeling zoveel mogelijk te benutten en iedere student ongeveer even vaak aan patiëntenbehandeling te laten deelnemen.

Bij de gevolgde aanpak werden allereerst de *conflicten* tussen de activiteiten vastgesteld. Er is sprake van een conflict tussen twee activiteiten als deze op dezelfde halve dag worden gegeven. Door een analyse van de gevonden conflicten bleek het veelal van te voren mogelijk een volgorde van indeling van de activiteiten te bepalen, waarbij tijdens het indelingsproces steeds een oplossing voor een conflict gevonden kon worden. De kern van de hierbij gebruikte programmatuur bestond uit een aantal subroutines die beslissingen in de roosters vastlegden, eerder genomen beslissingen uit de roosters aflazen, en de tijdstippen waarop een activiteit plaats vond beschikbaar stelden.

2. De groepsindeling voor patiëntenbehandeling

De eerste stap in de constructie van de roosters voor de studenten bestond uit het toewijzen van elke student aan een staflid, dus de verdeling van de studenten in evenveel groepen als er stafleden waren. Omdat de eis gold dat de student zijn patiëntenbehandeling **steeds** onder leiding van hetzelfde staflid deed was het slechts mogelijk om een student voor patiëntenbehandeling in te delen op de tijdstippen dat het betreffende staflid aanwezig was. Een staflid kon gelijktijdig hoogstens 8 studenten begeleiden; dit getal hing zowel samen met de intensiteit van de begeleiding als met de indeling van het gebouw. Ten behoeve van de patiëntenbehandeling zijn er zalen waarin steeds 8 behandelstoelen staan opgesteld.

De roosters dienden zodanig te worden gemaakt dat de voor patiëntenbehandeling beschikbare capaciteit zo veel mogelijk zou worden benut en dat alle studenten daar ongeveer even vaak aan zouden deelnemen.

Tabel 3. *Aanwezigheid stafleden vierdejaars*

Staflid	Weekdeel				Totaal/Week
	ma.mo	di.mo	di.mi	wo.mi	
1	x	x	x		3
2		x	x	x	3
3	x	x	x		3
4	x	x	x	x	4
5	x	x		x	3
6	x	x	x	x	4

Uit tabel 3 blijkt dat de stafleden niet allen even vaak beschikbaar waren. Bovendien waren de studenten niet altijd voor patiëntenbehandeling beschikbaar omdat sommige stages gelijktijdig met patiëntenbehandeling werden gegeven. De voor patiëntenbehandeling beschikbare capaciteit werd slechts volledig benut als voor elk staflid tenminste 8 studenten uit zijn groep beschikbaar waren telkens als hij aanwezig was. Van de beschikbare studenten werden er dan 8 voor patiëntenbehandeling ingedeeld; de overigen waren vrij. Bij de groepsindeling was het van belang om onderscheid te maken tussen de nieuwe studenten en de recidivisten. De nieuwe studenten deden de bij hun jaar behorende patiëntenbehandeling en stages; de recidivisten deden tot Kerstmis de patiëntenbehandeling van het ene en de stages van het volgende jaar.

Omdat de studenten die tot dezelfde categorie (nieuw of recidivist) behoorden ongeveer even vaak niet voor patiëntenbehandeling beschikbaar zouden zijn werden de studenten per categorie ongeveer evenredig aan de beschikbaarheid van de stafleden over de stafleden verdeeld. Zodoende zou het, mede gezien de aantallen studenten en stafleden, na het toewijzen van de stages mogelijk moeten zijn om iedere student ongeveer even vaak voor het practicum patiëntenbehandeling in te delen.

Het bovenstaande was slechts van toepassing voor de periode tot Kerstmis. De recidivisten die na Kerstmis definitief tot het volgende jaar van hun studie werden toegelaten hadden nog geen bijbehorende patiëntenbehandeling gedaan. Het was gewenst dat zij die achterstand zouden inhalen. Bij de bepaling van de na Kerstmis geldende groepsindeling werd daar als volgt rekening mee gehouden.

Het aantal patiëntenbehandelingen dat na Kerstmis gegeven kon worden volgde eenvoudig uit de beschikbaarheid van de stafleden. Bij dat aantal werd het aantal patiëntenbehandelingen dat al door studenten uit het betreffende jaar was gedaan opgeteld; deling van dit totaal door het aantal studenten leverde het norm-aantal patiëntenbehandelingen per student, waarbij dus even van de

beschikbaarheid van de studenten werd afgezien. Voor elke student werd een streefgetal gevonden door de norm te verminderen met het aantal patiëntenbehandelingen, dat hij reeds voor dat studiejaar gevolgd had. Voor de recidivisten was het streefgetal dus gelijk aan de norm.

Daarna werden de groepen zodanig samengesteld dat de som van de streefgetallen per groep ongeveer evenredig was aan het aantal malen dat het bijbehorende staflid aanwezig zou zijn.

Mathematisch model voor groepsindeling patiëntenbehandeling

Voor de periode tot Kerstmis moest elke categorie studenten (nieuw of recidivist) van elk studiejaar zodanig in groepen worden verdeeld dat de groeps grootte evenredig zou zijn met de beschikbaarheid van de stafleden. Hetzelfde probleem treedt op bij de verdeling van zetels in vertegenwoordigende lichamen die op evenredige vertegenwoordiging zijn gebaseerd. Daarbij moeten de zetels zodanig in groepen worden verdeeld dat de groeps groottes evenredig zijn met de aantallen stemmen die op de diverse partijen zijn uitgebracht. Het groepsindelingsprobleem voor de patiëntenbehandeling kan worden opgevat als dit „proportional representation problem” door elke student als een zetel te interpreteren en elk staflid als een partij. Het aantal malen dat een staflid aanwezig is is dan het aantal stemmen dat op die partij is uitgebracht.

Zowel Balinski en Young [1] als Te Riele [3] beschrijven verschillende methoden voor zetelverdeling. Bijna al deze methoden kennen voor- en nadelen, zoals bijvoorbeeld het bevoordelen van grote of kleine partijen. Voor de hierboven beschreven toepassing zouden methoden die de grote partijen bevoordelen, de voorkeur genieten. Immers, als men er van uitgaat dat wegens conflicten met de stages leegloop af en toe onvermijdelijk is, dan zal de onbenutte capaciteit bij grote groepen procentueel minder zijn dan in kleine groepen, waardoor een zekere oververtegenwoordiging in de grote groepen kan worden gecompenseerd.

In de gevolgde aanpak is de groepsindeling voor patiëntenbehandeling eerst gemaakt en daarna de indeling van de stages. Voor deze volgorde is gekozen omdat bij de omgekeerde volgorde een lastig op te lossen mathematisch programmeringsprobleem ontstaat. Dit probleem staat in de appendix geformuleerd.

3. De stage-indeling

3.1. Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de organisatorische aspecten van de stages tandheelkunde die gedurende het collegejaar 1978-1979 werden gegeven.

Voor het maken van de roosters waren vooral de volgende aspecten van belang:

- de periode waarin het stage werd gegeven en de halve dagen waarop het binnen die periode plaatsvond,
- het aantal studenten dat gelijktijdig aan het stage kon deelnemen,
- de wijze waarop het stage moest worden afgehandeld, bijvoorbeeld elke student eenmaal per week op een vaste dag of gedurende een week elke ochtend,
- het aantal malen dat iedere student aan het stage moest deelnemen,
- het al dan niet deelnemen door recidivisten,
- relaties met andere stages.

Voor de vierde-, vijfde- en zesdejaars studenten werden aparte programma's geschreven om voor iedere student vast te stellen wanneer hij aan de verschillende stages zou deelnemen.

In elk van de drie programma's werden de stages in een geschikt gekozen volgorde verwerkt; per stage werd voor iedere student beslist op welke halve dagen dat stage zou worden gevolgd. Er werd niet getracht om conflicten op te lossen door eerder genomen beslissingen te herzien. Als het onmogelijk bleek een student voor een stage correct in te delen gaf het programma daarvan een melding. Op grond van die meldingen werd dan het programma aangepast, welke aanpassing doorgaans bestond uit een eenvoudige wijziging van de volgorde waarin binnen de verwerking van een stage de studenten werden toegewezen. In alle gevallen werd op deze wijze, zowel in september als in januari, in de tweede of derde poging een oplossing gevonden die aan alle eisen voldeed.

3.2. De stages

Alleen de stages voor de vierdejaars studenten worden in dit hoofdstuk beschreven. In de andere studiejaar treden soortgelijke stages op met vergelijkbare problemen.

Het vierdejaars stage *endodontie* was qua roosterproblematiek triviaal. Het stage vond plaats op 18 halve dagen en alle vierdejaars studenten dienden elke keer aanwezig te zijn. De data en tijden van het stage staan in tabel 4.

Ook de vierdejaars stages *pathologische anatomie*, *algemene activiteiten*, *orthodontie en farmacologie* moesten elke keer dat ze werden gegeven door alle studenten worden gevolgd, zodat ook deze stages voor de roosterproblematiek triviaal waren.

Tabel 4. *Stage vierdejaars endodontie*

Weekdeel	Datum			
ma.mo	-	-	02-10	09-10
ma.mi	-	-	-	-
di.mo	-	26-09	03-10	10-10
di.mi	-	26-09	03-10	10-10
wo.mo	-	-	-	-
wo.mi	-	27-09	04-10	11-10
do.mo	-	-	-	-
do.mi	-	-	-	-
vr.mo	-	29-09	06-10	13-10
vr.mi	22-09	29-09	06-10	13-10

Tabel 5. *Stage vierdejaars gezondheidsleer*

Weekdeel	Datum				
ma.mo		23-10	30-10	06-11	13-11
di.mo		24-10	31-10	07-11	14-11
wo.mi	18-10	25-10	01-11	08-11	
do.mi	19-10	26-10	02-11	09-11	
vr.mi	20-10	27-10	03-11	10-11	

In tabel 5 staat aangegeven wanneer het stage *gezondheidsleer* plaats vond. Voor dit stage moesten de studenten worden verdeeld in twee groepen van ongeveer gelijke grootte; de ene groep diende de eerste 10 halve dagen van dit stage bij te wonen, de andere groep de volgende en laatste 10 halve dagen.

Tabel 6. *Stage vierdejaars volledige prothese*

Groep	Weekdeel	Periode
1	di.mi	16-10 t.m. 22-12
2	di.mi	29-01 t.m. 30-03
3	di.mi	30-04 t.m. 29-06

Het stage *volledige prothese* was op soortgelijke wijze georganiseerd, echter met een verdeling van de studenten in drie groepen van ongeveer gelijke grootte, zie tabel 6.

Elke student moest dit stage negen maal bijwonen. De aangegeven periode voor groep 1 bevat tien dinsdagen; op 5-12 verviel het stage.

Aan het stage *mondheelkunde* konden hoogstens zes studenten gelijktijdig deelnemen. Het stage werd van 20-11 t.m. 29-06, slechts onderbroken door de Kerst- en Paasvakantie plus tentamenperiode, gehouden. Iedere student moest gedurende een week alle ochtenden aan dit stage deelnemen. Deze eisen leidden tot een verdeling van de studenten in minstens $n/6$ groepen, waarbij n = aantal vierdejaarsstudenten. Omdat elke groep het stage gedurende een week moest volgen kon het aantal groepen hoogstens gelijk zijn aan het aantal weken dat het stage werd gegeven.

Tabel 7. *Stage vierdejaars materiaalkunde*

Weekdeel	Week beginnend op		
	8-1	15-1	22-1
ma.mo	A		A
ma.mi	B	B	B
di.mo	C		C
di.mi	A	C	A
wo.mo	B		B
wo.mi	C	A	C
do.mo	A		A
do.mi	B	B	
vr.mo	C		B
vr.mi	A	C	C

Voor het stage *materiaalkunde* moesten de studenten in drie groepen van ongeveer gelijke grootte worden verdeeld. Het stage werd 24 keer gehouden en iedere student moest acht maal deelnemen. In verband met de opstelling van het instrumentarium gold bij dit stage de eis dat alle studenten eerst het eerste inhoudelijke onderdeel zouden bijwonen, daarna allen het tweede onderdeel, etc. Tabel 7 geeft de afhandeling van dit stage; de drie groepen zijn aangegeven met de letters A, B, C.

Het stage *pedodontie* werd in de periode 29-01 t.m. 20-06, onderbroken door de Paasperiode, telkens op vijf weekdelen, namelijk ma.mo, di. mo, di.mi, wo.mi en

vr.mo, gegeven. De studenten moesten in vijf groepen worden verdeeld; elke groep moest het stage op een vast weekdeel volgen, dus groep 1 steeds op ma.mo, groep 2 steeds op di.mo etc.

Röntgendiagnostiek werd gedurende de periode 20-11 t.m. 29-06, onderbroken door vakanties en tentamenperioden, telkens op ma.mo en di.mo gegeven. Er konden hoogstens vier studenten gelijktijdig aan dit stage deelnemen. Elke student moest dit stage tweemaal bijwonen, eerst alle studenten voor de eerste maal en daarna alle studenten voor de tweede maal. Er was bij dit stage geen sprake van een indeling van de studenten in groepen omdat een viertal dat samen voor de eerste keer deelnam niet noodzakelijk samen voor de tweede keer hoefde te komen. De stageperiode kon in twee helften worden verdeeld; elke student moest één keer in de eerste en één keer in de tweede helft deelnemen.

Parodontologie werd gegeven op vr.mi in de periode 29-01 t.m. 23-02 en op 09-03. De enige eis bij dit stage was dat elke student tweemaal er aan deelnam.

Tabel 8. *Stage vierdejaars orale diagnose*

Datum	Studenten
22-11	a
29-11	a b
06-12	a b c
13-12	a b c d
20-12	b c d e
10-01	c d e f
17-01	d e f g
24-01	e f g h

Het stage *orale diagnose* werd in de periode 20-11 t.m. 29-06, onderbroken door de Kerst- en Paasperiode, steeds op wo.mi gegeven. Elke student moest er vier opeenvolgende keren aan deelnemen. Daarbij werd de eis gesteld dat er de eerste keer precies 4 studenten aanwezig zouden zijn, de tweede keer 8, de derde keer 12 en vanaf de vierde keer steeds hoogstens 16 studenten. Het daaruit voortkomende afhandelingschema is in tabel 8 weergegeven; de letters a, b, c, d, . . . staan voor een groepje van vier studenten.

Mondhygiëne kon van 23-10 t.m. 17-11 op elke wo.mi worden gegeven. De eis was dat elke student het even vaak zou volgen. Bij het indelen van de andere activiteiten behoeft met dit stage geen rekening te worden gehouden: alle andere activiteiten hadden voorrang op dit stage, dat zou worden gegeven voor zover er tijd over was.

3.3. *Conflicten tussen stages*

De roosterproblematiek kwam voort uit het feit dat elke student op een ochtend of middag aan hoogstens één activiteit kan deelnemen. Het was dus van belang om na te gaan welke stages gelijktijdig werden gegeven en hoe deze conflicten zouden kunnen worden opgelost.

De stages endodontie, pathologische anatomie, algemene activiteiten, orthodontie en farmacologie leverden onderling en met de overige stages geen conflictstof op.

In de periode waarin het stage gezondheidsleer plaats vond werd ook het eerste deel van volledige prothese gegeven, het laatste uitsluitend op di.mi en het eerste nooit op di.mi. Omdat de overige stages pas begonnen nadat gezondheidsleer was beëindigd kon het stage gezondheidsleer geen conflicten met andere stages geven.

Op vr.mi was er geen ander stage dan parodontologie, zodat ook daar geen conflicten uit konden voortkomen.

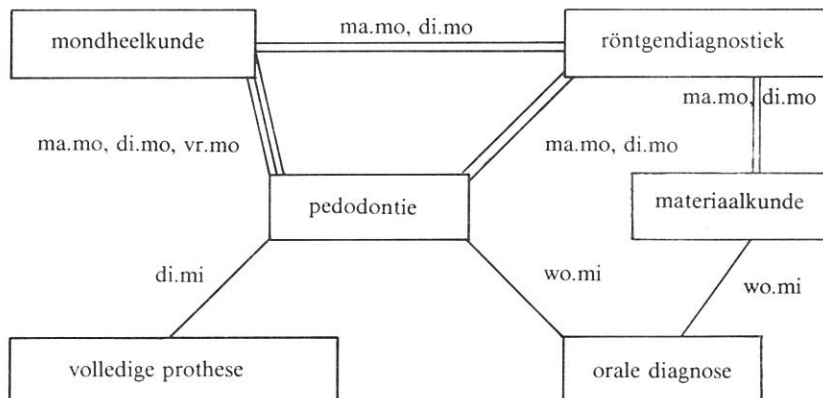
Tabel 9. *Conflicten stages vierdejaars*

Stage	Weekdeel				Periode	
	ma	mo	di.mi	wo.mi	vanaf	tot en met
volledige prothese			×		16-11	29-06
mondheelkunde	×	×			20-11	29-06
pedodontie	×	×	×	×	29-01	29-06
röntgendiagnostiek	×	×			20-11	29-06
orale diagnose				×	20-11	29-06
materiaalkunde	×	×	×	×	08-01	26-01

Voor de overige stages staat in tabel 9 aangegeven in welke periode en op welke weekdelen ze werden gegeven, dat laatste voorzover het conflicten zou kunnen opleveren. Materiaalkunde (dat weekdelen gemeenschappelijk had met alle andere stages in Tabel 9) had slechts conflicten met röntgendiagnostiek en orale diagnose, omdat de overige stages van 08-01 tot 26-01 geen doorgang vonden.

Omdat het stage volledige prothese slechts op di.mi werd gegeven zouden de studenten die telkens op di.mi aan pedodontie deelnamen dat stage niet kunnen volgen. Het stage pedodontie begon op 29-01, volledige prothese op 16-10. Door alle studenten van de pedodontie di.mi groep het stage volledige prothese in de periode 16-10 t.m. 22-12 te laten volgen werd dit probleem opgelost. Deze eenvoudige oplossing was mogelijk doordat de studenten voor pedodontie in vijf

en voor volledige prothese in drie (dus grotere) groepen moesten worden verdeeld.



Figuur 1. Conflicten stages vierdejaars

Op dezelfde wijze werd het conflict tussen orale diagnose en pedodontie (op wo.mi) opgelost. In de periode 20-11 t.m. 26-01 konden juist 20 studenten (de groepen a t/m e in tabel 8) het stage orale diagnose voltooien en daarna op elke wo.mi pedodontie gaan volgen.

Het conflict tussen mondheelkunde en pedodontie was eigenlijk onoplosbaar. Besloten werd om mondheelkunde voorrang te geven boven pedodontie, dwz. gedurende de week dat mondheelkunde werd gevolgd mocht de student pedodontie verzuimen. Het aantal studenten dat een halve dag van pedodontie zou missen kon worden beperkt door slechts studenten uit de ma.mo, di.mo en vr.mo groepen pedodontie vóór Kerstmis het stage mondheelkunde te laten volgen. Om de conflicten tussen röntgendiagnostiek enerzijds een mondheelkunde en pedodontie anderzijds op te lossen behoefden geen andere maatregelen te worden getroffen dan de indeling voor röntgendiagnostiek pas na beide andere stages te maken. Daardoor werden de studenten voor röntgen ingedeeld buiten de week dat zij mondheelkunde volgden en op een andere dag dan zij aan pedodontie deelnamen. Een soortgelijke oplossing was mogelijk voor de conflicten met materiaalkunde. Dit stage dat plaatsvond gedurende drie weken in januari werd eerst ingedeeld. Vervolgens werden de studenten ingedeeld voor orale diagnose en röntgendiagnostiek op halve dagen, waarop zij geen materiaalkunde volgden; dit was mogelijk op grond van de grote vrijheid van indeling voor deze twee stages.

4. De toewijzing aan patiëntenbehandeling

4.1. Gevolgde werkwijze

De derde stap van het vervaardigen van de roosters was het bepalen van de tijdstippen waarop de studenten aan het practicum patiëntenbehandeling zouden deelnemen.

Op grond van de in de eerste stap gevonden groepsindeling was voor iedere student bekend op welke halve dagen het aan de student toegewezen staflid beschikbaar was. Op grond van de in de tweede stap gevonden indeling voor de stages was bekend op welke tijden een student voor het practicum beschikbaar was. Voor elke halve dag dat een staflid beschikbaar was, moesten dus maximaal acht studenten worden gekozen uit de op die halve dag beschikbare studenten van zijn groep. Als er minder dan 8 studenten beschikbaar waren betekende dat dat een deel van de capaciteit voor patiëntenbehandeling onbenut zou blijven.

De gevonden oplossingen gaven steeds een benuttingspercentage van 98 à 99 te zien, hetgeen als voldoende hoog werd beoordeeld.

Het toewijzen van studenten aan het practicum kon het benuttingspercentage uiteraard niet verhogen. Bij de toewijzing speelde alleen de wens om alle studenten ongeveer even vaak aan het practicum te laten deelnemen een rol. Omdat de indeling in groepen al was bepaald werd de toewijzing per groep gedaan. Tussen de groepen bleken slechts geringe verschillen te ontstaan. Per groep werden de toewijzingen achtereenvolgens gedaan voor de verschillende halve dagen waarop het practicum voor die groep zou worden gegeven. Bij de toewijzing aan het practicum op een bepaalde halve dag waren de toewijzingen aan de voorafgaande keren dus bekend. Voor de nieuwe toewijzing werd voor elke student in de groep een score berekend. Deze was gelijk aan het aantal toewijzingen van de student op de voorafgaande tijden plus het aantal te verwachten toewijzingen als de toewijzing vanaf het onderhavige tijdstip door loting uit de beschikbare studenten zou geschieden. De acht beschikbare studenten met de laagste scores werden dan toegewezen.

Om in de periode na Kerstmis de recidivisten hun achterstand in patiëntenbehandeling te laten inhalen werd de procedure iets aangepast. Bij de berekening van het aantal toewijzingen op voorafgaande tijden werden voor de niet-recidivisten de patiëntenbehandelingen meegeteld die zij voor Kerstmis hadden gedaan.

4.2. Een model

Gegeven de groepsindeling voor patiëntenbehandeling en de indelingen voor de stages kan de toewijzing aan patiëntenbehandeling voor iedere groep afzonderlijk worden gedaan.

Stel een groep omvat n studenten; het staflid is op m halve dagen beschikbaar. Het getal v_{ih} geeft aan of student i op halve dag h aanwezig is ($v_{ih} = 1$) of niet ($v_{ih} = 0$). Het staflid kan gelijktijdig hoogstens c studenten begeleiden. Iedere student moet minstens m^- en hoogstens m^+ patiëntenbehandelingen doen. De onbekenden in het probleem zijn x_{ih} , met $x_{ih} = 1$ als student i op halve dag h patiëntenbehandeling doet en $x_{ih} = 0$ als dat niet het geval is. Het probleem kan nu als volgt worden geformuleerd.

Maximaliseer

$$\sum_{i=1}^n \sum_{h=1}^m x_{ih} \quad (1)$$

onder de voorwaarden

$$\sum_{i=1}^n x_{ih} \leq c \quad (h = 1, \dots, m) \quad (2)$$

$$m^- \leq \sum_{h=1}^m x_{ih} \leq m^+ \quad (i = 1, \dots, n) \quad (3)$$

$$x_{ih} \leq v_{ih} \quad (i = 1, \dots, n; h = 1, \dots, m) \quad (4)$$

$$x_{ih} = 0 \text{ of } 1 \quad (i = 1, \dots, n; h = 1, \dots, m) \quad (5)$$

Het is niet eenvoudig om tevoren de juiste waarde van m^- te kiezen. In feite moet de grootste waarde van m^- worden bepaald waarvoor het probleem een toegelaten oplossing heeft. Voor deze waarde van m^- moet dan (1), het totaal aantal patiëntenbehandelingen van de groep, worden gemaximaliseerd. Het probleem (1) – (5), is een gegeneraliseerd toewijzingsprobleem met bovengrenzen; oplossingsmethoden zijn door Ross & Soland [4] beschreven.

Voor de gegeven roosterproblematiek is de volgende heuristische methode gebruikt om de studenten aan patiëntenbehandeling toe te wijzen.

Stel dat de toewijzingen voor de halve dagen $1, 2, \dots, t-1$ al zijn gedaan, dwz. x_{ih} is bekend voor $h < t$ en alle i , en dat voor de halve dagen $t, t+1, \dots, m$ de toewijzing telkens door loting uit de beschikbare studenten zou worden bepaald. De kans dat student i op halve dag h ($h \geq t$) zal worden ingedeeld is dan

$$p_{ih} = \min\left\{v_{ih}, c / \sum_{j=1}^n v_{jh}\right\}.$$

Hieruit volgt (op tijd t) als verwachting voor het totaal aantal patiëntenbehandelingen door student i

$$e_{it} = \sum_{h=1}^{t-1} x_{ih} + \sum_{h=t}^m p_{ih}$$

Het ligt dan voor de hand om op tijd t de beschikbare studenten in volgorde van stijgende e_{it} voor het praktikum in te delen.

Deze procedure is voor $t = 1, \dots, m$ gevolgd en leidde tot een evenwichtig verdeelde deelname aan het praktikum.

5. Gegevens en programmatuur

5.1. Invoergegevens

De programma's gebruiken als invoer een aantal algemene gegevens, gegevens per student, gegevens per staflid en gegevens per stage en voor het praktikum patiëntenbehandeling.

De *algemene gegevens* bestonden uit kalendergegevens en gegevens over de aantallen studenten.

Voor het collegejaar '78-'79 waren de kalendergegevens opgebouwd uit het getal 78 (zodat het collegejaar in de uitvoer vermeld kon worden), het aantal dagen in elk van de maanden van 1979 (dit in verband met eventuele schrikkeljaren) en het getal 1809 als begindatum van het collegejaar. Via dit laatste getal lag ook de relatie tussen datum en naam van de dag vast (aanvangsdatum is een maandag) voor alle dagen van het collegejaar. Intern waren die dagen opeenvolgend genummerd; in in- en uitvoer wordt de gewone dagaanduiding gebruikt.

De aantallen studenten werden door zes getallen vastgelegd, voor elk studiejaar (vierde-, vijfde- en zesdejaarsstudenten) per categorie (nieuw of recidivist) het aantal.

De *studentengegevens* bestonden per student uit naam en voorletters van de student, collegekaartnummer, studiejaar (4, 5 of 6) en een aanduiding van de categorie.

In het studentenbestand werden de gegevens in volgorde van het jaar opgeslagen. Per jaar de nieuwe studenten vóór de recidivisten en binnen elke categorie in volgorde van naam en voorletters.

Door deze volgorde stonden de gegevens zowel voor de patiëntenbehandeling als voor het indelen van de stages gunstig gegroepeerd. De vijfdejaarsrecidivisten liepen immers stage met de nieuwe zesdejaars en deden tot Kerstmis patiëntenbehandeling met de nieuwe vijfdejaars; analoog gaat dit op voor de andere groepen.

De *staflidgegevens* bestonden per staflid uit de naam van het staflid, het jaar (4, 5 of 6) van zijn studenten en het weekpatroon van zijn aanwezigheid. Voorbeeld

van een weekpatroon zoals dat in de invoer wordt opgegeven mamodimivrho.

De *stagegegevens* vermeldden per stage en voor het praktikum patiëntenbehandeling een volgnummer, de naam van de activiteit zoals die in de uitvoer werd opgenomen, het jaar waarvoor het stage bestemd was (4, 5 of 6), en een of meer perioden waarin het werd gegeven. Per periode de begindatum (een maandag), de einddatum (een vrijdag) en het weekpatroon voor die periode. Voorbeeld: 9paro 5 26022303womi.

Naast de echte activiteiten werd ook een activiteit genaamd „geenstage” ingevoerd om de algemene vrije dagen te kunnen verwerken.

Zoals uit het bovenstaande blijkt werden sommige informatie op verschillende manieren, dus dubbel, in de invoer opgenomen. Deze redundantie heeft een functie; daardoor is controle op de juistheid van de invoergegevens mogelijk. Dat was zeker nuttig gezien de omstandigheid dat sommige gegevens telefonisch werden verstrekt of op het allerlaatste moment alsnog werden gewijzigd.

5.2. Programmatuur

Bij het vervaardigen van de programmatuur werd rekening gehouden met eventuele toekomstige wijzigingen in de organisatorische opzet van de stages en de patiëntenbehandeling.

Het fundament van de programmatuur bestaat uit een aantal routines die administratieve taken vervullen. Verwacht werd dat deze routines praktisch onafhankelijk van de organisatorische opzet van de opleiding tandheelkunde zouden zijn.

Tot dit fundament behoren routines voor het lezen van de invoergegevens, het presenteren van de resultaten, het opbergen van resultaten op achtergrondgeheugen en het weer ophalen van die tussenresultaten. Ook de routines voor het initialiseren (de blanco situaties) van de roosters en het invullen en wijzigen van de roosters behoren tot deze categorie. In deze routines zijn veiligheidsmaatregelen tegen het abusievelijk wijzigen opgenomen.

Binnen dit fundament bestaat een hiërarchische structuur. De programma's die de groepsindeling voor patiëntenbehandeling en de toewijzing aan dit praktikum verzorgen zijn bruikbaar voor elk van de drie studiejaar. Voor elk van de drie studiejaar is er een apart programma dat de indelingen voor de stages verzorgt. In deze programma's zijn de organisatorische aspecten van de stages vastgelegd. Als die veranderen moet het betreffende programma worden aangepast. In de praktijk is gebleken dat dit dankzij de beschikbare fundamentele routines een niet te grote inspanning vereist. De diverse programma's worden vanuit een hoofdprogramma, thans interactief, aangeroepen.

De opslag van de individuele roosters is als volgt geregeld. Het collegejaar bestaat uit 52 weken, elke week bestaat uit 10 weekdelen. Elk individueel rooster

bestaat dus uit 520 gegevens, de nummers van de activiteiten waaraan de student achtereenvolgens deelneemt. Deze gegevens worden in 52 machinewoorden opgeslagen, één woord (60 bits) per week. Per halve dag zijn 6 bits beschikbaar voor het nummer van de activiteit, zodat 64 activiteiten onderscheiden kunnen worden.

Er is van afgezien om de programma's zodanig op te zetten dat de staf van de opleiding Tandheelkunde er zelfstandig mee zou kunnen omgaan. De staf was wel betrokken bij het beoordelen van de gegenereerde roosters. Naar aanleiding van deze beoordeling werden de programma's dan zo nodig enigszins gewijzigd om betere roosters te produceren. In alle gevallen werden na enkele pogingen acceptabele roosters gevonden.

De aard en plaats van die overigens eenvoudige wijzigingen was steeds dermate afhankelijk van de specifieke situatie dat het te kostbaar of zelfs ondoenlijk lijkt de programma's zodanig te generaliseren dat deze wijzigingen door middel van keywords of codes zouden kunnen worden gespecificeerd.

5.3. *Uitvoergegevens*

Het belangrijkste deel van de uitvoer bestaat uit de individuele roosters voor de studenten. Per halve dag staat daarop aangegeven aan welke activiteit de student deelneemt.

Daarnaast wordt voor elk stafid van patiëntenbehandeling en voor elk stage een overzicht gemaakt waarin per halve dag wordt opgegeven welke studenten dan aan die activiteit deelnemen.

Verder wordt per halve dag een overzicht van de activiteiten van alle studenten gemaakt. Met behulp van dit overzicht kan de administratie gemakkelijk nagaan waar op een gegeven moment een student bereikbaar is.

Tenslotte worden diverse statistische overzichten met betrekking tot de deelname aan de activiteiten en de benutting van het practicum patiëntenbehandeling vervaardigd.

Appendix: Een model voor de groepsindeling voor patiëntenbehandeling

Deze appendix beschrijft een model voor de groepsindeling voor patiëntenbehandeling. Het model zou gebruikt kunnen worden in een aanpak waarbij eerst de indelingen voor de stages worden gemaakt en daarna de groepsindeling voor patiëntenbehandeling.

Stel n studenten moeten ingedeeld in p groepen, waarbij iederen groep correspondeert met een staflid. Op de halve dagen $1, 2, \dots, m$ zijn de p stafleden aanwezig. Op grond van de stage-indeling is bekend wanneer een student beschikbaar is voor praktijk: als student i op halve dag h beschikbaar is, dan is $v_{ih} = 1$, anders geldt $v_{ih} = 0$.

Elk staflid kan gelijktijdig hoogstens c studenten begeleiden. De studenten worden in p groepen verdeeld, de grootte van groep g is minstens b_g^- en hoogstens b_g^+ ($g = 1, 2, \dots, p$). Deze grenzen kunnen op grond van de beschikbaarheid van de stafleden worden gekozen.

De onbekenden in het probleem zijn x_{ig} en y_{gh} . De waarde van x_{ig} geeft aan of student i in groep g is ingedeeld ($x_{ig} = 1$) of niet ($x_{ig} = 0$). Het aantal patiëntenbehandelingen op halve dag h door studenten uit groep g is y_{gh} . Het probleem is dan als volgt te formuleren.

Maximaliseer

$$\sum_{g=1}^p \sum_{h=1}^m y_{gh} \quad (6)$$

onder de voorwaarden

$$\sum_{g=1}^p x_{ig} = 1 \quad (i = 1, \dots, n) \quad (7)$$

$$b_g^- \leq \sum_{i=1}^n x_{ig} \leq b_g^+ \quad (g = 1, \dots, p) \quad (8)$$

$$y_{gh} \leq \sum_{i=1}^n v_{ih} x_{ig} \quad (g = 1, \dots, p; h = 1, \dots, m) \quad (9)$$

$$y_{gh} \leq c \quad (g = 1, \dots, p; h = 1, \dots, m) \quad (10)$$

$$x_{ig} = 0 \text{ of } 1 \quad (i = 1, \dots, n; g = 1, \dots, p) \quad (11)$$

De doelstellingsfunctie (6) maximaliseert het totaal aantal patiëntenbehandelingen dat wordt uitgevoerd. Voorwaarde (7) zorgt er voor dat elke student aan

precies één groep wordt toegewezen. Voorwaarde (8) begrenst de groepsgroottes. Wegens (9) kunnen niet meer dan het aantal beschikbare studenten uit een groep aan het praktikum deelnemen, wegens (10) niet meer dan het aantal dat gelijktijdig door een staflid begeleid kan worden.

In het bovenstaande model is verondersteld dat alle stafleden elke keer beschikbaar zijn. Om met afwezigheid van stafleden rekening te kunnen houden kan (10) worden vervangen door $y_{gh} \leq ca_{gh}$, waarbij a_{gh} de aanwezigheid ($a_{gh} = 1$) of afwezigheid ($a_{gh} = 0$) van staflid g op tijd h aangeeft. Probleem (11) is een niet-lineair gegeneraliseerd toewijzingsprobleem; het kan worden herschreven als

maximaliseer

$$\sum_{g=1}^p \sum_{h=1}^m \min(c, \sum_{i=1}^n v_{ih} x_{ig}),$$

onder de voorwaarden (7), (8) en (11).

Het probleem zou ook met behulp van Lagrange-relaxatie kunnen worden aangepakt [2]. Door de voorwaarden (9) en (10) te relaxeren ontstaat een lineair gegeneraliseerd toewijzingsprobleem.

LITERATUURLIJST

1. Balinski, M. L. en H. M. Young, Criteria for proportional representation, *Operations Research* 27 (1979), 80-95.
2. Geoffrion, A. M., Lagrangean relaxation for integer programming, *Math. Programming Study* 2 (1974), 82-114
3. Riele, H. J. J. te, The proportional representation problem in the Second Chamber: an approach via minimal distances, *Statistica Neerlandica* 32 (1978), 163-179.
4. Ross, G. T. en R. M. Soland, A branch-and-bound algorithm for the generalized assignment problem, *Math. Programming* 8 (1975), 91-103.