

De roosterautomaat ontrafeld

Tim Peeters

Bernard van Kesteren

Symposium 2019



- Inzicht geven in automatisch roosteren in het algemeen
- Bepaalde (schijnbaar onlogische) ontwerpkeuzes toelichten
- De nieuwste ontwikkelingen uit de doeken doen:
 - Q-Blokken
 - Harde gelijktijdigheden
 - De rooster-stress-test
 - en meer...



- We hebben geclusterd. Enkele duizenden lessen moeten een positie in het rooster krijgen.

Object		Grp	Doc	Lok	Vak	Uur	Dag	Tdv
1393a	<input type="checkbox"/>	h2e	lth	bv1	bv			tv1
1419a	<input type="checkbox"/>	h2c	gnt	A222	du			tv1
1719a	<input type="checkbox"/>	h2d	men20	comp3	rek			tv1
1737a	<input type="checkbox"/>	h2b	men26	B145	wi			tv1
1991a	<input type="checkbox"/>	h3c	don	gym3	lo			tv1
2033a	<input type="checkbox"/>	h3a	men25	B149	ne			tv1
2041a	<input type="checkbox"/>	h3b	men28	A030	ne			tv1
2052a	<input type="checkbox"/>	h3d	men21	A218	ne			tv1
2059a	<input type="checkbox"/>	h3e	opt	A216	ne			tv1
220a	<input type="checkbox"/>	bk1c	hou	B133	wi			tv1
2436a	<input type="checkbox"/>	h4.fat1	wlv	A026	fat1			tv1
2492a	<input type="checkbox"/>	h4.kubv1	sld13	bv3	kubv			tv1
2499a	<input type="checkbox"/>	h4.kumu1	sld04	muziek1	kumu			tv1
2590a	<input type="checkbox"/>	h4.schk1	bnk	binask3	schk			tv1
2603a	<input type="checkbox"/>	h4.schk3	wze	binask7	schk			tv1
313a	<input type="checkbox"/>	bk2a	han	B001	gd			tv1
367a	<input type="checkbox"/>	bk2c	kro	A128	ne			tv1
4265a	<input type="checkbox"/>	b4b	nou	gym1	lo			tv1



- Die zoekruimte is onvoorstelbaar groot, zoiets als een 1 met 2000 nullen
- Er zijn
eisen (geen dubbelplaatsingen docn en IIn, beschikbaarheid enz.)
en
wensen (niet teveel tussenuren, spreiding, enz. enz. enz. enz.)
- Voor wensen maken we een strafpuntensysteem.
- Eerste gedachte was: die eisen *verkleinen* de zoekruimte dus dat maakt het makkelijker...



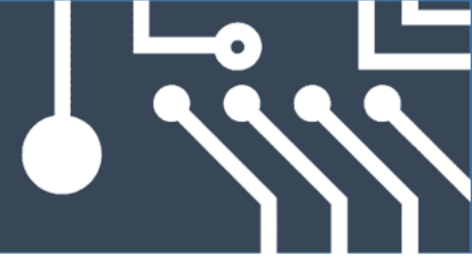
- Niets bleek minder waar! Er kwam gewoon geen oplossing... of er werden enkele tientallen lessen niet geplaatst.
- We stopten eisen in de wensen als miljoenen. Roosteren werd miljoenenjacht. “Constraint relaxing” in de vaktaal.
- De zoekruimte werd dus *vergroot!*
- We kregen oplossingen, er kwam een pad door de zoekruimte. Het restant aan miljoenen waren ‘onmogelijkheden’... (?)
- Maar botsingen bleven harde eisen totdat...



In het roosterplan werden ook botsingen van docenten ‘zachte’ randvoorwaarden. Een heel vruchtbaar pad!

ma	ma	ma	ma	ma	ma	ma	ma	ma	di	di	di	di	di	di	di
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
6	94	0	0	58	3	0			6	6	20	4	0	0	106
					1				1		1				
18	4	dutl2	dutl2	14	fi1										
26	6	entl	gd	10	wisb1										
23	2	lo	entl	22	24	ges2			23	econ3	23	econ1	23	23	1
23	17	bg	entl	4	23	23			23	nat2	23	biol1	23	23	6
biol2	biol2	netl	gd	12	24	entl			biol2	24	14	24	bsm2	bsm2	7
biol4	biol4	fatl2	gd	bg	lo	24			biol4	21	fatl2	21	econ2	econ2	econ2

2697a groep: h5.dutl1, docent: sld16, vak: dutl (tv1) nog niet geplaatst
 botst met
 1844a groep: h3a, docent: sld16, vak: du (tv1) ma 6



Met groepskeuzelessen kunnen botsingen van leerlingen ook ‘zachte’ randvoorwaarden worden!

	ma	ma	ma	ma	ma	ma	ma	ma	ma	di	di	di	di	di	di	di	di	di	wo	wo	wo	wo	wo	wo	wo	wo	wo
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tus uur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
h5a 22		biol ²	ges ²	dutl ¹	dutl ¹	bec ¹	eco ¹	eco ¹			dutl ¹	ak ²	biol ¹	bsm ¹	bsm ¹	eco ¹			biol ¹	biol ¹	biol ²	lo	entl ¹	netl ¹			
h5b 26	kum	sch ¹	entl ¹	dutl ¹	nat ¹	wisa	netl ¹			nat ¹	nat ¹	wisb	ak ¹	gd	in ²	kum			ak ¹	wisb	entl ¹	in ²	netl ¹	biol ¹			
h5c 25	kub ¹	kub ¹	lo	netl ¹	eco ¹	kub ¹	kub ¹			sch ¹	ges ²	biol ¹	dutl ¹	eco ¹	kum	bec ¹			bec ¹		gd	netl ¹	entl ¹	eco ¹			
h5d 23	biol ²	biol ²	bg	entl ¹	wisb	eco ¹	eco ¹					wisd	fat ¹	nat ²	bec ¹				wisb		sch ¹	entl ¹	netl ¹	nat ²	netl ¹		
h5e 24			entl ¹	sch ¹	fi ¹	lo				sch ¹	ges ²		biol ²	eco ¹	eco ¹				netl ¹	gd	entl ¹	wisb	eco ¹	fat ¹			
h5f 24			fat ²	netl ¹							biol ¹		kub ¹	fat ²	fat ²						lo	netl ¹	ges ¹	entl ¹			
h5				nat ³	wisb					fat ³	fat ³		wisb	fat ¹							wisa			ges ²			
h5					wisd									nat ³										fat ³			



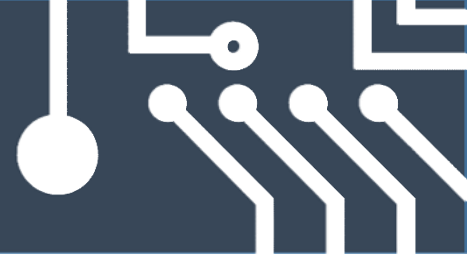
Om de weg te vinden langs de paden in de zoekruimte gebruiken we zoekalgoritmen: onze automaten

Plaatsen:

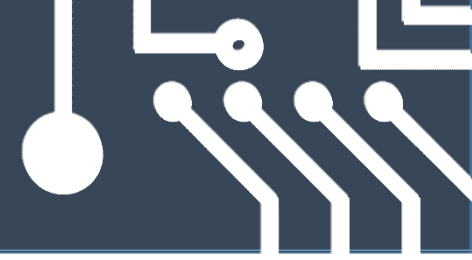
Alchemist, Technoloog,...

Optimaliseren:

Mathematicus, Nachtwacht,...



Demonstratie van een praktijkvoorbeeld



Leiden : vr 1 november of wo 20 november
Deventer : ma 28 oktober of vr 22 november
Waalre : do 24 oktober of do 14 november

Verdiepingscursus clusteren: voorjaar 2020



- Eén kernautomaat, plaatsen / optimaliseren
- Sneller, want het proces blijft cyclisch
- Slimmer, ze snappen zelf wat goed werkt
- Zelflerend, ze leren je rooster kennen
- Atlas optimaal gebruiken, niet steeds dezelfde...
- Roosterplan *tijdens* clusteren, de heilige graal
- ‘Micro-automaten’ als invoerhulp
- ‘Rooster-stress-test’, tegenstrijdigheden voorzien

Blokkenoptimalisator	optimaliseert roosters met gewone én blokken
Mathematicus	optimaliseert rooster plaatst geen nieuwe
Nachtwacht	optimaliseert met een mix van strategieën
Optimalisator	optimaliseert rooster plaatst geen nieuwe
Quarp-Nachtwacht	(quarp-)optimaliseert met een mix van strategieën
Quarp-optimalisator	optimaliseert rooster met behoud van quarps



Uitroosteren
En inroosteren...

	ma	ma	ma	ma	ma	ma	ma	ma	ma
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
h4a 28	biol2	ak2	netl	fat1	fat1	ges1	bsm2	econ2	
h4b 28	nat1	biol2	rek	kumu1	econ1	entl			



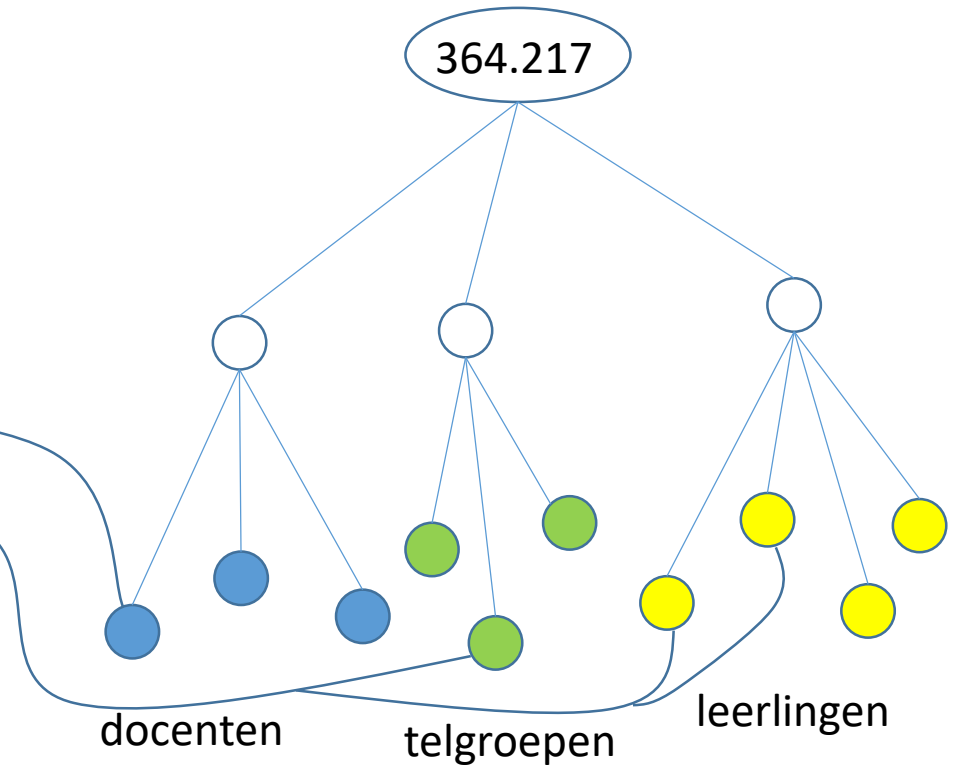
biol4



	ma	ma	ma	ma	ma	ma	ma	ma	ma
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
h4a 28	biol2	ak2	netl	fat1	fat1	ges1	bsm2	econ2	
h4b 28	nat1	biol2	rek	kumu1		entl		biol4	

econ1

Strafpuntensysteem



Na elke handeling strafpunten berekenen. En dat ongeveer 30.000 keer per seconde.



Een *plaatsende* automaat:

- roostert (voornamelijk) in
- volgorde van groot belang

Een *optimaliserende* automaat:

- roostert les X uit
- zet les X op andere plek ten koste van andere les(sen)
- ... die andere gaan er uit en weer elders er in ...
- ... eventueel ten koste van ...
- ... totdat het gelukt met minder strafpunten, anders 'reset'

Plaatsers op een hoger niveau optimaliseren na het plaatsen.
Daar speelt de plaats/optimaliseer verhouding een grote rol.



Geen enkele automaat is volledig (te grote zoekruimte)

Dus we doorzoeken zo veel mogelijk varianten

Atlas biedt daarvoor fantastische mogelijkheden

MAAR... Atlas gebruikt varianten van de oude automaten

Het kan beter, want de beste oudjes werken vooral met losse lessen

Twee soorten structuren moeten als geheel behandeld:

Blokken en Quarps

In feite gaan we dus de zoekruimte weer verkleinen! (Z-alert!)

Roosteren met *Q-blokken* in plaats van met lessen



di	di	di	di	di	di	di	di
1	2	3	4	5	6	7	8
biol1	biol1	entl	wisa3	bg	ak1	bsm2	bsm2
biol3	biol3	ges2	schk1	bg	ak2	in2	in2
econ3	wisb2	ges3	schk3	dutl1		wisa2	biol4
fatl2	fatl2	nat1		netl		biol4	
wisb2		nat2		netl	wisd1		
fatl3	fatl3		fi1				

- Verticale structuren: quarps, om twee redenen
 - Roostertechnisch (compact)
 - Onderwijskundig ('multiles')
- Horizontale structuren: blokken
- Nieuwe automaten werken met Q-blokken.
- Kiezen steeds een andere "Q-blok constructie".



(Beelden uit ontwikkelomgeving!)
 Quarps komen uit roosterplan, en dat komt weer (grotendeels) uit Phoenix.
 Na roosteren (met evt. losse lessen!)
 blijven nog restanten er van over in
 het ingeroosterde gedeelte.



Uitgeroosterde Q-blokken

Ingeroosterde Q-blokken

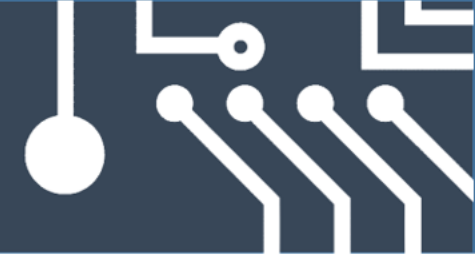


Overzicht Q-blokke | Q-blok constructie: **Blokken** | Q-blok factory

ma									di								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	
1035		1030	1042	1024	1161			1032	1018	1025	1043	1044		1047	1015	1098	1029
1039		1064	1145	1041			1037			1053	1088	1050	1055		1021	1171	1146
	1101	1073	1049				1046			1095	1165	1059	1085		1033		
	1155	1082		1052			1112	1110			1173	1083		1038			1138
	1108		1058				1118			1125		1166		1119	1079		
		1114	1164	1106			1131			1153		1174	1121		1170		
		1127		1124			1135										
				1152													
8	50	70	26	10	12	36	14		76	22	20	2	16	4	40	77	
78	90	117	54	18	32	46	172		94	37	29	35	62		42	86	
128	136	66		52	121	48	267		178	95	87	60		81	69	89	
139	181	96		93		163	268		191	113	151	97	88	101	73	129	
272	311	132	143	127	175	182	301		200	125	173	106	145	111	119	153	
279	327	180	166	156		208	592		252	193	176	169	149	124	130	232	

Blokken komen uit onderwiskundige randvoorwaarden.

Na roosteren (met evt. losse lessen) blijven er nog restanten van over in het geroosterde gedeelte.



Overzicht Q-blokken

Q-blok constructie: Quarps en Q-blokken

Q-blok factory

ma									di							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8
1215	11		25		1220	531		31	33	1225	2	3		4		524
					1258	1221	563	1223		1256						1143
			1141	28			583							1229	1230	1231
			1218				586							1247	1248	591
	1216	525	1255				1134					1227	530			
	1251	539					1222		1224		1049	574				
		550		1219							1226			1228		
		566		1257										1245		
		579												1246		
		1050														
		1217														
34	60	13	0	121	84	1			6		47	43	64	134	38	
	103			98					37	73	115		80			
	130		26	124	196	36				180	157	56	82	147	141	139
	185	41		145	284				74	181	159	70		153	179	225
75	71	188	49	167	287	107			92	189	218	164	89	202	184	333
99		259	52	66	249	363	190		154	228	257	166	186	206	220	367
131	117	335	55	85	273	436	244		168	281	172		229	208	252	560

Wordt gemaakt via zowel roosterplan als onderwijskundig in “Q-blok factory”.

Dus eigenlijk 4 soorten Q-blokken:

1. Losse lessen
2. Quarps
3. Blokken
4. Tweedimensionale



ma									di								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
952	496	497	605	604	630	501	1034	503	504	505	633	507	688	845	841	511	512
1513	697	943	973	815	814	679	1054	930	618	637	694	704	809	940	945	946	981
	907	980	976	955	956	961	1072	990	835	701	957	837	960	948	1020	1073	997
	951	992	1345	983	975	1050	1343		972	812	963	914	982	1014	1026	1348	1004
	1028	1016	1514	1007	1031				1025	974	1127	964	1047	1038			1078
	1032	1062		1045					1042	984	1512	966	1051				1346
	1533	1521								1523	1520	1048					
										1528		1069					
26	49	29	25	40	7	9	43		18	0	8	20	1	67	30	12	1179
92	80	63	42	45	62	91	235		78		27	48	35	69	32	70	
169	89	75	47	53	145	241	290		83		110	104	72	110	94	152	
245	97	114	51	212	147	317	470		159		120	124	77	120	106	255	
294	130	127	64	226	161	320	586		197		140	120	100	130	134	367	
304	221	134	107	257	168	400	588		239	17	143	189	100	142	160	510	
420	252	176	114	283	270	484	658		292	41	146	190	130	167	233	541	
476	324	234	126	366	300	534	829		296	57	196	195	216	178	237	590	

Losse-lessen-automaat kan nooit een dergelijke gelijktijdigheid losknippen

Pro memorie: iets dergelijks zou ook instelbaar moeten zijn voor blokken



Losse lessen	7	G	10.000.000	100	20	1.000	20	40	1.000.000
Quarps, blokken, klas los	6	S	2.000.000	1	60	2.000	10	5	1
Quarps en Q-blokken	8	G	500.000	10	40	5.000	100	100	1
Blokken	6	G	5.000.000	1	40	5.000	40	1	10.000
Quarps, blokken, klas los	6	G	500.000	1	60	10.000	10	10	500.000
Quarps, blokken, klas los	1	G	500.000	1	1	5.000	20	10	100.000
Quarps en Q-blokken	2	D	100.000	1	15	100.000	5	10	1.000
Quarps en Q-blokken	7	S	10.000.000	1	10	2.000	10	100	1
Blokken	1	M	500.000	1	10	1.000	40	100	1
Blokken	1	S	4.000.000	10	60	1.000	100	5	1.000
Losse lessen	5	M	100.000	1	1	10.000	20	100	1.000.000
Quarps, klas los	3	S	5.000.000	1	20	2.000	20	10	1.000
Vanuit rooster, klas los	4	S	1.000.000	20	15	2.000	80	40	1.000
Quarps, klas los	4	S	4.000.000	1	15	2.000	80	60	100.000
Vanuit rooster, klas los	7	S	10.000.000	1	1	2.000	100	40	100.000
Losse lessen	2	M	4.000.000	100	1	5.000	20	60	10
Losse lessen	4	S	4.000.000	100	10	30.000	20	40	1.000

Maakt steeds keuze voor een “constructiemodus” en een héél groot aantal instellingen.

De grote vraag is: wat is een goed script?



Plaatser2		RoosterStressTest	
Beschrijving	Waarde	Beschrijving	Waarde
Deadline in tiq	1.109.530	Deadline in tiq	10.000.000.000
Deadline in seconden	24u	Deadline in seconden	24u
Uitroostergrens	1.000	Gebruikt andere automaten	01; 02; P2
Tactiek	S	Starttijd in tiq	0
Botserquotum	1.000.000	Starttijd	10:46:26
Randompositiekeuze (%)	1	Draaitijd (sec)	26s / 24u
Gebruikt andere automaten	01; 02	Relatieve deadline	10.000.000.000
Starttijd in tiq	609.530	Draaitijd (tiq)	950.282
Starttijd	10:46:43	Script voor Plaatser2	RoosterStressTest (4)
Draaitijd (sec)	0s / 23u59m44s	Tiq Quotum per ronde	500.000
Relatieve deadline	500.000	Criss cross stijl	N
Draaitijd (tiq)	340.752	Ronde nummer	9
Grens fatsoenlijke plaatsing per les	100.000	Succes/Timeout/Mislukt	9 / 0 / 0
Max toename per les bij plaatsing	500.000	Beste tot nu toe	99.999.179
PrioriteringsStrategie	A	Onder handen object	Docent hoe
Percentage plaatsen op de stack	11		
Mate van randomize (%)	1		
Optimalisator2	90,500K,5,50K,39.997,200,500K		
Acceptabele toename na optimaliseren	30.000		

Eén voor één worden bij alle docenten, klassen, afdelingen, telgroepen, (...) de nog te plaatsen lessen geplaatst.

Het rooster wordt geoptimaliseerd en weer terug gezet.

De strafpuntoetname geeft aan of het een probleem is dat snel aangepakt moet worden.

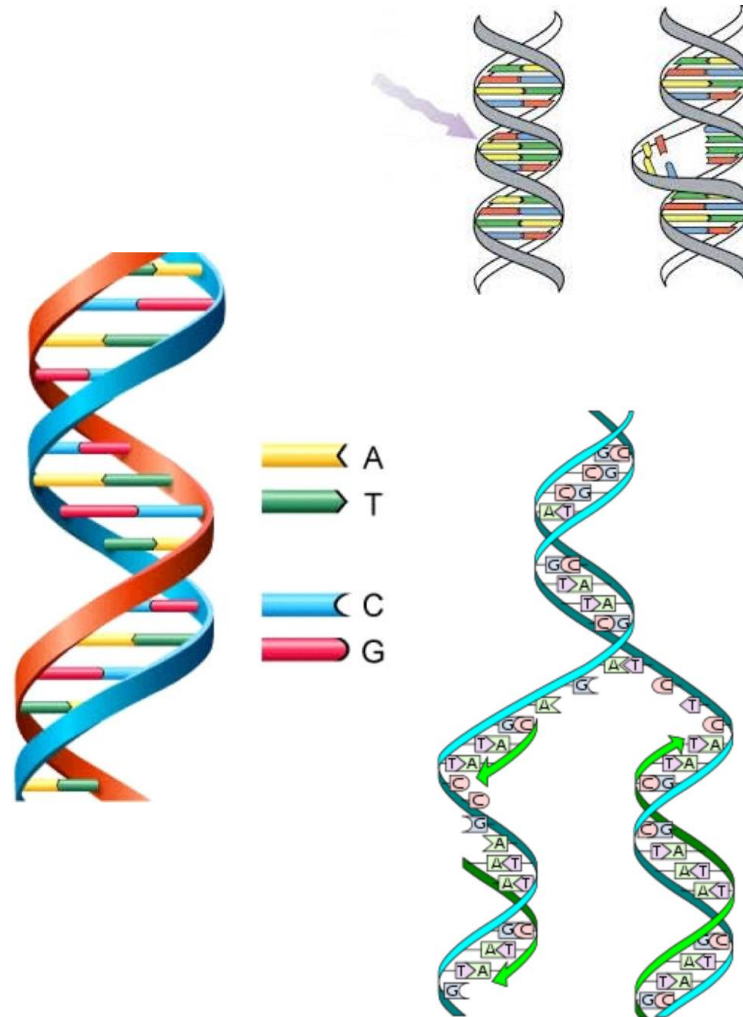
Resultaten van een analyse

Optimalisator1 Uitroostergrens	Optimalisator1 Tactiek	Optimalisator1 Botserquotum	Optimalisator1 Randompositiekeuze [%]	Optimalisator1 Ambitiepercentage	Optimalisator2 Quotum per blok in tiq	Optimalisator2 Nieuwsgierigheid in procent	Optimalisator2 Randomfactor in procent	Optimalisator2 Startambitie	Optimalisator2 Scheppgrootte	Prestatie	Relatieve prestatie	Q-blok constructie
1	G	100.000	1	40	50.000	20	5	10	20	4.833.604	59	Quarps
2	G	500.000	100	20	20.000	20	10	100	20	6.898.762	84	Quarps
3	S	5.000.000	1	40	10.000	20	10	10.000	40	8.173.400	100	Quarps, blokken, klas los
7	S	4.000.000	2	5	1.000	20	20	1.000	50	4.791.648	59	Quarps en Q-blokken
1	D	1.000.000	1	20	100.000	80	60	500.000	50	2.306.368	28	Vanuit rooster, klas los
2	G	2.000.000	1	60	30.000	10	1	1	50	7.566.148	93	Losse lessen
4	S	1.000.000	50	15	30.000	40	40	1	50	6.324.440	77	Quarps en Q-blokken
3	G	100.000	100	60	5.000	5	20	1.000.000	300	6.979.324	85	Quarps
1	M	10.000.000	10	40	100.000	80	100	10	50	2.577.488	32	Losse lessen
2	D	10.000.000	10	5	100.000	20	10	100.000	40	2.533.712	31	Quarps
6	S	5.000.000	2	40	1.000	10	20	500.000	50	7.625.640	93	Quarps, blokken, klas los
8	G	1.000.000	0	60	30.000	100	20	10	50	6.056.152	74	Vanuit rooster, klas los
5	G	1.000.000	1	60	2.000	80	100	100	50	521.552	6	Vanuit rooster
1	M	10.000.000	1	1	1.000	80	5	1.000	40	5.660.736	69	Losse lessen
1	D	10.000.000	10	5	1.000	5	1	1.000.000	50	2.523.168	31	Quarps, blokken, klas los
2	M	2.000.000	10	15	10.000	5	100	500.000	20	710.920	9	Vanuit rooster
4	S	10.000.000	0	5	50.000	40	10	10.000	300	6.382.880	78	Quarps, klas los
1	M	1.000.000	1	60	10.000	10	100	1	50	2.260.576	28	Quarps, blokken, klas los
8	S	5.000.000	50	20	10.000	80	100	10	50	5.444.928	67	Losse lessen
1	G	1.000.000	0	15	30.000	20	100	100	40	5.338.480	74	Quarps, blokken, klas los

Wie levert de beste prestatie?



- Elke regel is een automaatvariant
- We testen de populatie: survival of the fittest
- Nieuw bloed: mutaties en cross-over



Populatie

Optimalisator1	Optimalisator1	Optimalisator1	
Uitroostergrens	Tactiek	Botserquotum	
1	G	100.000	
2	G	500.000	
3	D	1.000.000	
7	S	4.000.000	
mutatie	1	D	1.000.000
6	G	2.000.000	
4	S	1.000.000	
3	G	100.000	
mutatie	1	M	10.000.000
2	D	10.000.000	
cross-over	6	S	5.000.000
8	G	1.000.000	
5	G	1.000.000	
1	G	10.000.000	
random	1	D	10.000.000
2	M	2.000.000	
4	S	10.000.000	
1	M	1.000.000	
8	S	5.000.000	
1	G	1.000.000	

Belangrijk

Een vaste vergadermiddag voor alle docenten is funest voor het rooster.

Te weinig lessen op die dag

Te veel lessen op andere dagen.

	ma								di								wo							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
ACQ	=	=	=	=	=	=	=	=	m4		m4	m4		m2	m3	-	...	...	...	...	...	...	...	...
ADZ		v1	v1_ttc	v1	v2	v1	v2_ttc				v2_ttc					-		v2_ttc	v2		v1	v1_ttc	v1	
AHZ	...	...	...	=	=	=	=	=								-	h1	h1	h2	h2		v1	v1	
All	...	...	...	...	...	...	...	...	b4	m2			m2			-					m2	...	...	...
AJJ		v4			h5								v4			-			v4	h5	h5			
AQS	m2	b2	b2	b2	m2			m3						m2	m3	-		b2	m3	b2	m2	m2		
ATH			h3	h3	h2	h2			v1	v1						-	v4	v4	v1	v1				v1_ttc
AUW	=	=	=	=	=	=	=	=						v4		-	v5*				v4	g3	g3	v2*
BBZ	...	...	...	...	...	...	...	...							m3	-			m2	m2				
BHS							h1	h1								-		h3	h3			v1	v1_ttc	h1
BNZ		m1	m1	m1	m3			m3			m3	m3				-			m3	m3	m1	m1	m1	
BON	h2	h1		h2	h1	h3	h3	h3								-	...	...	...	...	...	...	...	...
CAJ	...	...	...	...	...	...	=	=						h3		-	h1	h2	h1		h3			
CFU	...	...	...	...	...	...	...	...						v4		-					v4	v6	v5	v5
CGY			v1	h1		m1	m3		m3							-		v1	v1	v1	h1	v2		m3
CHS			h5	v4							v4	v6				-			v6			v4		
COJ	g3		a3	v4	v1_ttc	v2_ttc				v2_ttc	v4	v1_ttc				-	g3	a3	a3	v2_ttc	v2_ttc	v4		v1_ttc
CQN	m2	m2	m1	m1		m1						m1				-	...	...	...	...	...	...	...	...
CUZ		v4		v6	v6		v5		v4	v4			v6		v6	-	v4	v4		v6	v5	v5		
CXX	h3	h3	h2				h3	h3								-	...	...	...	...	...	...	...	...
DAR	v5	v2*	g3	g3		v6	v6			v4	v1_ttc					-		v5	v6		v1	v4	v2*	
DGK				v1_ttc	a3	v1_ttc	g3						v1_ttc			-	=	=	=	=	=	=	=	=
DNY	=	=	=	=	=	=	=	=	h3							-		h2		h2	h2	h3	h3	h3



- Er worden testruns gedraaid waarbij een groot aantal udmz bestanden worden uitgeprobeerd.
- Op basis daarvan worden optimale instellingen en scripts gevonden voor deze nieuwe automaten.
- We hebben dus een grote variatie aan roosterproblemen nodig.
- Uiteraard zorgen we dat we geen problemen met AVG krijgen.
- Zoek op **survey.zermelo.nl**

De volgende enquêtes zijn beschikbaar:

Onderzoek verbetering automatisch roosteren