

Naam: Collegekaart-nummer:

- Legitimatie verplicht.
- Tijdens de eerste 30 minuten mag de zaal niet worden verlaten.
- Op de tafel: legitimatie, tentamenvel, schrijfgerei, rekenmachine, A4tje met aantekeningen, eten, drinken.
- Niet op de tafel: al het overige, in het bijzonder telefoon en/of apparaten met internet.
- Het gebruik van markeerstiften is niet toegestaan.
- Als je naar het toilet wilt, steek dan een vinger op om een surveillant te waarschuwen. Hij of zij zal je toestemming geven om te gaan en met je meelopen naar het toilet. Toiletbezoek is niet toegestaan tijdens het eerste en het laatste halfuur van het tentamen. Redelijkerwijs gaat de surveillant er vanuit dat je hooguit éénmaal tijdens het tentamen het toilet bezoekt.
- Het is verboden een apparaat met internettoegang mee naar het toilet te nemen.
- Verplicht inleveren: alle antwoordbladen, ook als ze leeg zijn.
- Niet verplicht inleveren: de opgavenbladen.
- Nadat de zaal is verlaten, is het niet toegestaan te verblijven in de gangen/hal direct buiten de zaal in verband met geluidsoverlast.
- De instructies van de surveillant dienen te worden opgevolgd.

Meerkeuze antwoorden

- Bij elke vraag is steeds precies één antwoord het juiste. In enkele gevallen kunnen andere antwoorden “bijna juist” of “deels juist” zijn. In dergelijke gevallen geldt het beste antwoord.
- Antwoord in de daarvoor bestemde vakjes door een kruisje te plaatsen. Heb je je vergist, kras dan het kruisje door, en zet een kruisje in een ander vakje.
- Het is mogelijk om aan de surveillant een nieuw antwoordvel te vragen. Onze voorraad vellen is eindig, first come first serve.
- Omdat er verschillende versies van de opgaven bestaan, correspondeert de volgorde van de meerkeuzevragen opgaven niet altijd met de volgorde van de stof zoals die behandeld is in de colleges.

Succes!

	A	B	C	D
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				

	A	B	C	D
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				

	A	B	C	D
17.				
18.				
19.				
20.				
21.				
22.				
23.				
24.				

Kladpapier.

Meerkeuzevragen

1. (1D CA's.) Gegeven is de totalistische 1D CA met $K = 5$ toestanden, en omgevings-straal $R = 3$. Uit hoeveel overgangsregels bestaat deze automaat?

- (a) 27.
- (b) 28.
- ✓ (c) 29.
- (d) Een ander antwoord.

Toelichting. Bij een 1D cellulaire automaat bepaalt de totaal-som van de cellen in de omgeving de nieuwe toestand. Met $K = 5$ toestanden en een omgevings-grootte van $2R + 1 = 7$ cellen, varieert de maximale som van 0 tot $(2R + 1)(K - 1) + 1 = 29$.

2. (1D CA's.) Het aantal mogelijke regelverzamelingen van een niet-noodzakelijk totalistische 1-dimensionale cellulaire automaat met radius R en aantal toestanden K is gelijk aan:

- ✓ (a) $K^{K^{(2R+1)}}$, i.e., $K^{\wedge(K^{\wedge(2R+1)})}$
- (b) $(2R + 1)^{K^{(2R+1)}}$, i.e., $(2R + 1)^{\wedge(K^{\wedge(2R+1)})}$
- (c) $K^{K^{2R}}$, i.e., $K^{\wedge(K^{\wedge(2R)})}$
- (d) $(2R)^{K^{2R}}$, i.e., $(2R)^{\wedge(K^{\wedge(2R)})}$

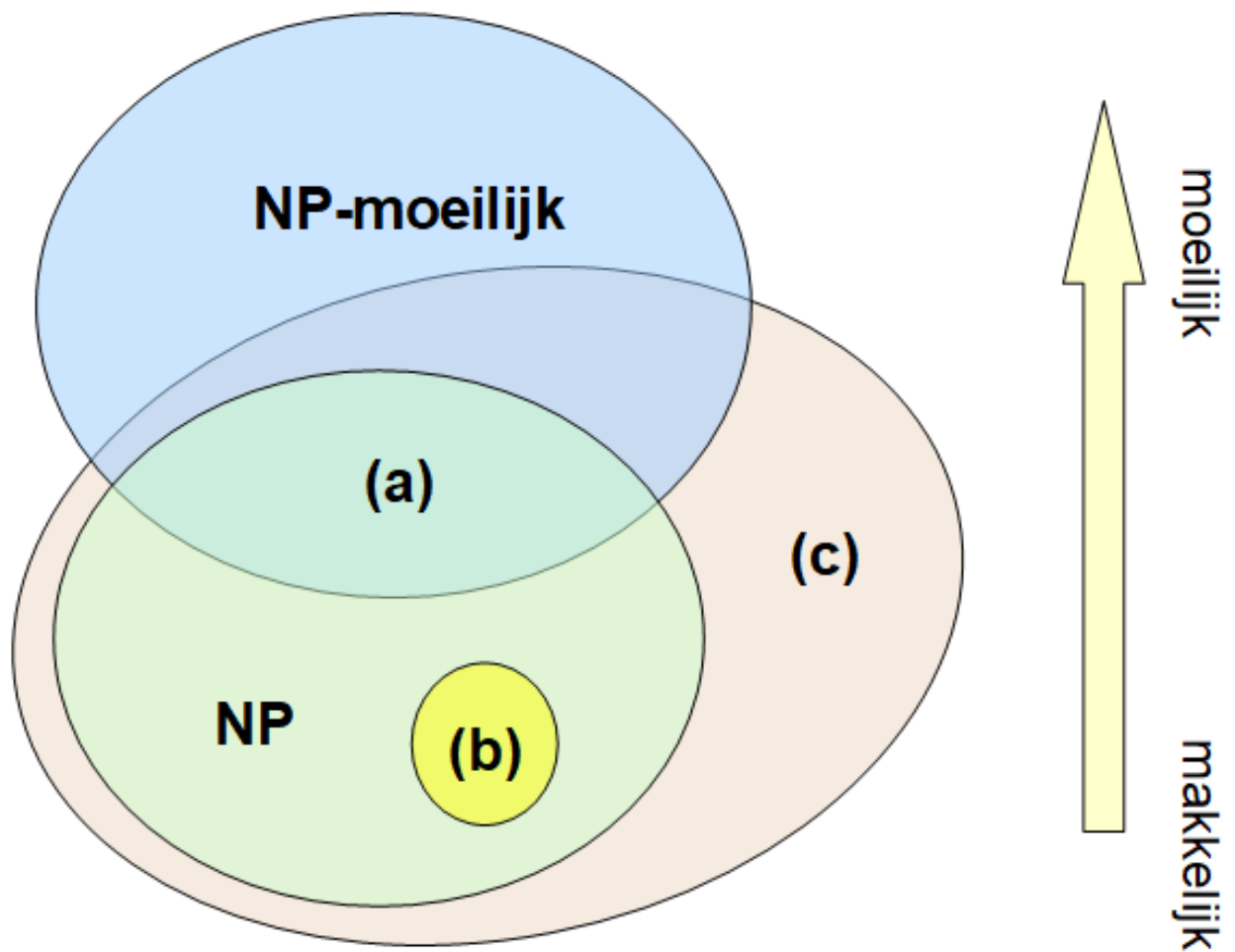
Toelichting. Bezit een automaat een straal R , dan bestaat elke omgeving uit $2R + 1$ cellen. Dus een niet-noodzakelijk totalistische automaat bezit dan K^{2R+1} verschillende omgevingen. Immers, we voor elke cel in de omgeving zijn er K verschillende keuzes, en er moet $2R + 1$ keer gekozen worden.

Als een nieuwe automaat moet worden gedefinieerd, moet voor elk van die K^{2R+1} verschillende omgevingen bepaald worden wat de nieuwe toestand is van de centrumcel in de volgende generatie. Voor elke centrumcel is dat een keuze uit K alternatieven, en er moet K^{2R+1} gekozen worden. We komen uit op in totaal

$$K^{K^{2R+1}}$$

keuzes.

3. Zie hier een Venn-diagram van complexiteitsklassen:



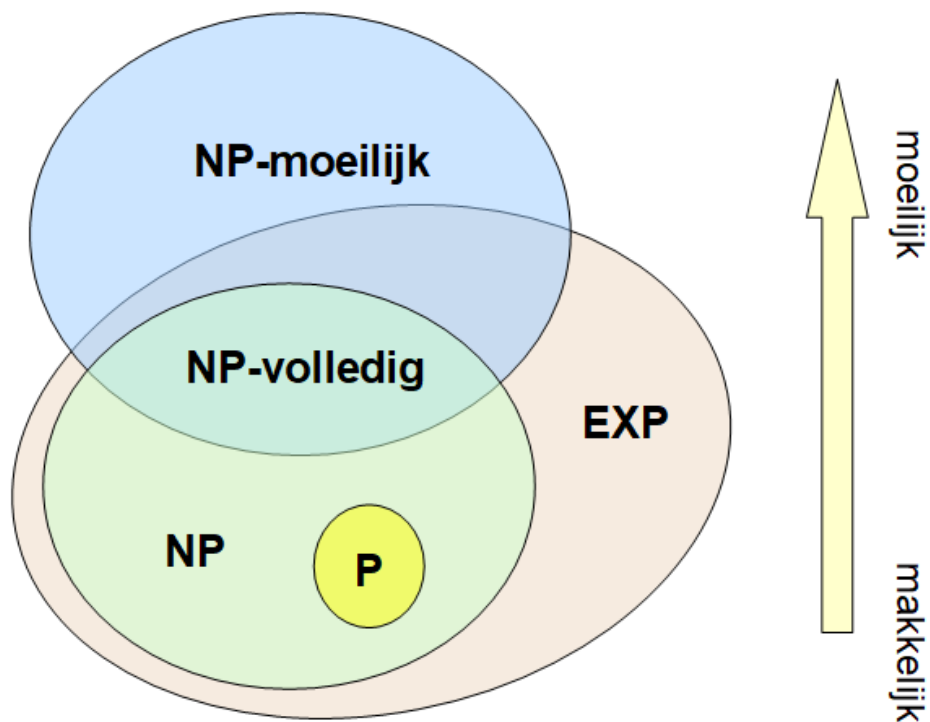
(a) (a) = EXP; (b) = P; (c) = NP-volledig.

(b) (a) = P; (b) = EXP; (c) = NP-volledig.

(c) (a) = NP-volledig; (b) = EXP; (c) = P.

✓ Een ander antwoord.

Toelichting.



(a) = NP-volledig; (b) = P; (c) = EXP.

4. (Mohr's particle life.) Bepaal de aantrekking tussen twee deeltjes als $(a, \beta) = (1, 0.3)$, $v = 0.67$ en $r = 0.2$.

- (a) $1/2$.
- (b) $-1/2$.
- (c) $1/3$.
- $\sqrt{-1/3}$.

Toelichting.

$$F(r, a) = \begin{cases} \frac{r}{\beta} - 1 & \text{als } r < \beta, \\ a \left(1 - \frac{|2r - 1 - \beta|}{1 - \beta} \right) & \text{als } \beta < r < 1, \\ 0 & \text{anders.} \end{cases}$$

$= 0.$

In ons geval geldt $r < \beta$, dus treedt het eerste geval in werking. Dus het antwoord is

$$\frac{r}{\beta} - 1 = \frac{0.2}{0.3} - 1 = -\frac{1}{3}.$$

5. (Mohr's particle life.) Er zijn vier typen deeltjes, te weten Type A, B, C, en D, waarbij A naar B wil, B naar C wil, en zo rond. Dus: $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$. Verder wil B van A weg, C van B weg, D van C weg, en zo rond.

Geef een aantrekkings-matrix die aan deze eisen voldoet.

$$(a) \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\checkmark \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$(b) \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$(d) \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Toelichting.

$$\underbrace{\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}}_{\text{aantrekking}} + \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}}_{\text{afstoting}} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

Andere getallen zijn ook goed, zolang hetzelfde teken bezitten, en hun absolute waarde niet groter is dan 1—maar dan moeten de getallen wel op de juiste plaats staan, en dat staan ze niet in de andere antwoord-alternatieven.

6. (Schmickl *et al.*'s life like system.) Bereken de rotatie $\Delta\phi$ als $(\alpha, \beta) = (180^\circ, 17^\circ)$, $r = 5$, $v = 0.67$, en $(L, R) = (5, 25)$.

$$\checkmark -30^\circ.$$

$$(b) -170^\circ.$$

$$(c) 170^\circ.$$

$$(d) \text{ Een ander antwoord.}$$

Toelichting.

$$\begin{aligned} \Delta\phi &= \alpha + \beta \cdot (L + R) \cdot \text{sgn}(R - L) \\ &= 180 + 17(5 + 25) \cdot \text{sgn}(25 - 5) \\ &= 180 + 17 \times 30 \times 1 \\ &= 690^\circ = -30^\circ. \end{aligned}$$

7. (Schmickl *et al.*'s life like system.) Waarom rekenen de auteurs scenario's met hoge DHI-waarden niet tot de zogenaamde "region of life" (RoL)?

$$(a) \text{ Hoge DHI-waardes impliceren een te hoge entropie.}$$

$$(b) \text{ De donkerrode gebieden met de hoogste DHI bleken bij controle vaak chaotische patronen te zijn met te veel dynamiek.}$$

$$(c) \text{ De DHI meet hoe gelijkmatig deeltjes verdeeld zijn. Een extreem hoge score betekent vaak dat de dynamiek vervalt in ruizige patronen.}$$

$$\checkmark \text{ Leven heeft een balans nodig. De RoL ligt in het midden-gebied: hier is genoeg structuur voor cellen, maar ook genoeg ruimte voor beweging en groei.}$$

Toelichting. Antwoord (d) klonk sowieso al plausibel, maar hier is de uitleg die er bij hoort.

DHI is een soort klonter-meter: het meet hoe ongelijkmatig deeltjes verdeeld zijn. Een extreem hoge score betekent vaak dat alles in één massieve, onbeweegbare klomp zit, als een soort dood blok kristal (lage entropie). De donkerrode gebieden met de hoogste DHI bleken bij controle inderdaad vaak saaie, dode patronen te zijn die niet veranderen of voortplanten.

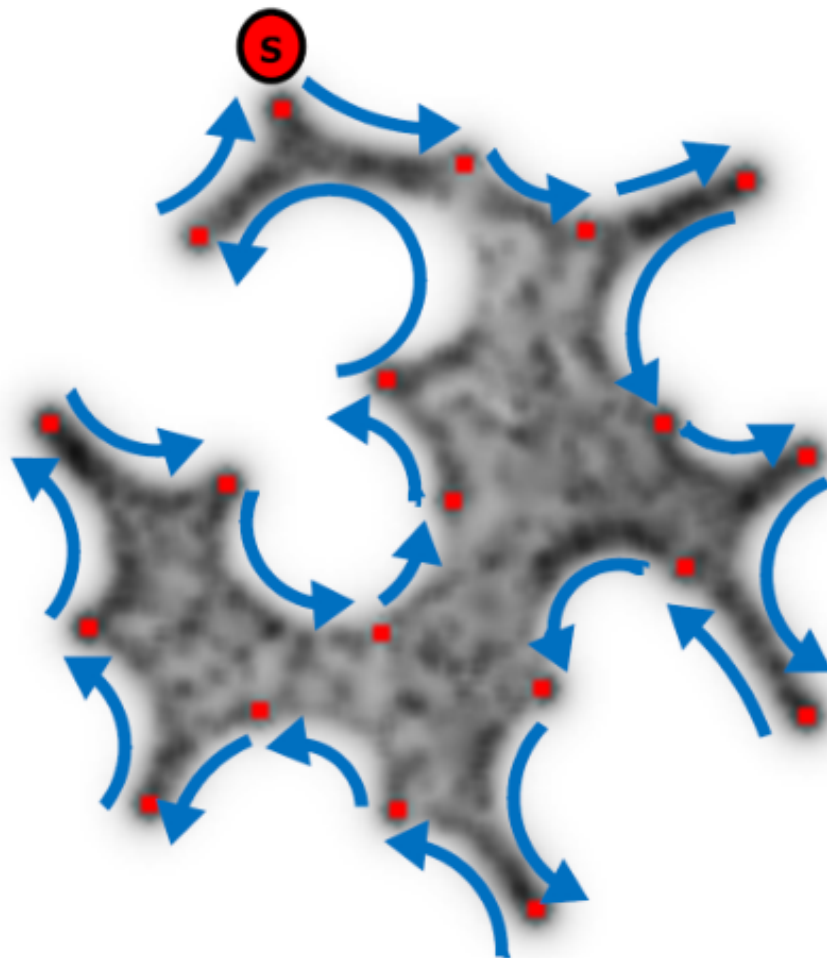
8. (Slime mould.) In het Physarum-model ontstaan spontaan 'kruisingen' of "splittingsen" van een bepaalde vorm. Hoe worden deze genoemd?

$$\checkmark \text{ Steiner-punten.}$$

- (b) Steiner-bomen.
- (c) Percolatie-punten.
- (d) Percolatie-bomen.

Toelichting. In het Physarum-model van Jones *et al.* worden deze specifieke vertakkingen Steiner-punten genoemd. Ze vormen de kern van het biologische netwerkoptimalisatie-proces, waarbij de slijmzwam verbindingen legt onder hoeken van ongeveer 120 graden om de totale lengte en transporttijd te minimaliseren. Deze verbindingen het organisme in staat om op efficiënte wijze kortste paden te vinden tussen verschillende voedselbronnen in een complexe omgeving.

9. (Slime mould.) Hoe worden deeltjes geïnitieerd in Jones & Adamatzky's Physarum-benadering van het handelsreizigerprobleem?



- (a) Filamenteus voederen.
- (b) Filamenteuze condensatie.
- ✓ Plasmodiale krimp.
- (d) Plasmodiale condensatie.

Toelichting. Bij filamenteuze condensatie worden deeltjes met een lage dekkingsgraad (typisch 2%) over het canvas verspreidt. Bij filamenteus voederen worden deeltjes met een lage dekkingsgraad (typisch 2%) bij aanvang van de simulatie gedropt op voederplekken. Bij plasmodiale krimp worden deeltjes met een hoge dekkingsgraad (typisch 50%) over het convexe omhulsel van de voederplekken verspreidt, waarna de mierenpopulatie langzaam afneemt (typisch

sterfte met een kans 0.00025 per mier per tik). Plasmodiale condensatie is in Jones & Adamatzky's raamwerk geen begrip.

10. (Slime mould.) Welke van de volgende beweringen zijn waar?

- i) In gevormde paden kunnen deeltjes elkaar tegemoet lopen.
 - ii) Gevormde paden kunnen, als ze eenmaal zijn samengekomen, weer uiteengaan.
- (a) Geen.
 (b) Alleen i).
 (c) Alleen ii).
 ✓ Beiden.

Toelichting. De dynamiek is volatiel. Door het wegvallen van feromoon kunnen paden splijten. Deeltjes volgen paden die door andere deeltjes worden aangelegd of onderhouden. In welke richting die andere deeltjes zich bewegen, doet er niet toe; heen en weer bewegen komt dus voor. Dit staat bekend als shuttle streaming.

11. (Mierenkolonieoptimalisatie.) Iemand heeft middels mierenkolonie-optimalisatie een oplossing gevonden voor het handelsreiziger-probleem.

- ✓ Dit is een goede oplossing.
 (b) Dit is de optimale oplossing.
 (c) Dit is een optimale oplossing.
 (d) Dit is in aanleg een optimale oplossing. Om daadwerkelijk een optimale oplossing te verkrijgen moeten de bezochte steden worden geordend.

Toelichting. Mierenkolonie-optimalisatie en andere nature-inspired algoritmen zijn altijd benaderingsalgoritmen. Zij *benaderen* oplossingen van het handelsreiziger-probleem, het rugzak-probleem, en andere NP-moeilijke problemen. Oplossingen van dergelijke algoritmen zijn goede, en misschien wel optimale oplossingen. Echter, we kunnen nooit weten of een aangeleverde oplossing optimaal is. Het kan zijn dat, als je een benaderingsalgoritme niet stopt maar langer laat doorlopen, er op de lange duur toch nog een betere oplossing gevonden wordt.

Antwoord 11d is lang maar verder onzinnig: een toer is per definitie een ordening van steden, dus ga je een toer "ordenen" dan verdwijnt juist informatie over die toer.

12. (Mierenkolonieoptimalisatie.) Welke verbinding(en) kunnen bij exploitatie worden gekozen als $\beta = 2$?

	al bezocht?	lengte	feromoon
Verbinding 1	n	0.20	4
Verbinding 2	n	0.25	4
Verbinding 3	n	0.50	25
Verbinding 4	j	0.40	6

- (a) 1.
 (b) 2.
 (c) 2 en 3.
 ✓ Een ander antwoord.

Toelichting.

		lengte (in km)		aantrekkelijkheid		beste keuze?		keuze-kans	
al bezocht?		feromoon							
1	n	0.20	4	100.0	j	0.379			
2	n	0.25	4	64.0	n	0.242			
3	n	0.50	25	100.0	j	0.379			
4	j	0.40	6	-	-	0.000			

Bij exploitatie zal dus fifty-fifty worden gekozen tussen 1 en 3.

13. (Kardinaliteit.) Bekijk de twee volgende twee verzamelingen:

- (a) De verzameling van alle oneindige bit strings.
- (b) De verzameling van alle eindige strings die te maken zijn vanuit een (vast) aftelbaar oneindig alfabet.

- ✓ (a) is groter dan (b)
- (b) is groter dan (a)
- (c) (a) en (b) zijn even groot
- (d) Een ander antwoord.

Toelichting. (a) is overaftelbaar, wat zo nodig te demonstreren is met een diagonaalargument; (b) is aftelbaar: voor elke n zijn er slechts eindig veel strings x met $\text{lengte}(x) + \text{maxindex}(x) = n$, en elke string is wel bevat in zo'n n -groep. Gebruik nu het feit dat een aftelbare vereniging van eindige verzamelingen weer aftelbaar is.

Ter verduidelijking: de *index* van een symbool uit een aftelbaar alfabet is het rangnummer van dat symbool in een vaste aftelling van dat alfabet; de maximum index van een string is de index van maximum van de indices van de symbolen die in die string voorkomen.

Overigens zijn er verschillende manier om n -groepen te maken. Die hier gesuggereerde is slechts één manier. Het gaat er om dat je de hele verzameling onderverdeelt in eindige (of aftelbare) groepen. Als dat is gedaan, kan het feit worden toegepast dat een aftelbare vereniging van eindige (of zelfs aftelbare) verzamelingen wéér aftelbaar is.

14. (Maat.) Voor een overaftelbare verzameling betekent “bijna alle” het volgende.

- (a) Alle, op eindig veel uitzonderingen na.
- (b) Alle, op oneindig veel uitzonderingen na.
- ✓ Alle, op aftelbaar veel uitzonderingen na.
- (d) Alle, op aftelbaar oneindig veel uitzonderingen na.

Toelichting. (14a) is fout, want aftelbaar oneindig veel uitzonderingen is ook toegestaan; (14b) is fout, want “oneindig” kan ook “overaftelbaar oneindig” betekenen; (14d) is fout, want eindig veel uitzonderingen is ook toegestaan.

15. (Berekenbaarheid.) Geef een functievoorschrift van de functie

$$g : x \mapsto \mu y (x \mid (y + 4)).$$

- (a) $g(x) = \perp$ als $x = 0$, 1 als $x \in \{1, 3\}$, en 0 anders.
- (b) $g(x) = \perp$ als $x = 1$, 1 als $x \in \{1, 3\}$, en 0 anders.
- ✓ $g(x) = \perp$ als $x = 1$, 1 als $x \in \{2, 4\}$, en 0 anders.
- (d) Een ander antwoord.

Toelichting. Herinner

$$a \mid b =_{Def} \begin{cases} 1 & \text{er is een } x \in \mathbb{N} : ax = b, \\ 0 & \text{anders.} \end{cases}$$

- Nul deelt alleen zichzelf, in het bijzonder $0 \nmid (y + 4)$, voor $y = 0$, dus $g(0) = 0$.
- Eén deelt alle getallen, in het bijzonder $1 \mid (y + 4)$ voor alle $y \geq 0$, dus $g(1) = \perp$.
- Twee deelt $0 + 4$, maar $1 + 4$ niet, dus $g(2) = 1$.
- Drie deelt $0 + 4$ niet, dus $g(3) = 0$.
- Vier deelt $0 + 4$, maar $1 + 4$ niet, dus $g(4) = 1$.
- Verder geldt dat alle getallen $x \geq 5$ geen deler zijn van $0 + 5$. Dus $g(x) = 0$, voor $x \geq 5$.

Functievoorschrift (middels gevals-onderscheid):

$$g(x) = \begin{cases} \perp & \text{als } x = 1, \\ 1 & \text{als } x \in \{2, 4\}, \\ 0 & \text{anders.} \end{cases}$$

16. (Berekenbaarheid.) Waar mag een Turing-machine over beschikken?

- i) Onbegrensde rekentijd.
 - ii) Onbegrensde reken-ruimte.
- (a) Geen enkele.
 (b) Alleen i).
 (c) Alleen ii).
☒ Beiden.

Toelichting. Ten aanzien van (i): Turing-machines mogen net zo lang over een berekening doen als maar nodig is—er is geen “afkaptmoment” of iets dergelijks.

Ten aanzien van (ii): Turing-machines mogen zo veel tape gebruiken als maar nodig is. Ze beschikken over een potentieel oneindige tape.

17. (Berekenbaarheid.) Evalueer de lambda-expressie $\lambda x.((\lambda y.x^y)2)$.

- (a) 2
 - (b) 2^x
 - (c) $\lambda x.2^x$
- ☒ $\lambda x.x^2$

Toelichting. $\lambda x.((\lambda y.x^y)2) \rightarrow \lambda x.x^2$, en daarna valt er niks meer te evalueren.

18. (Berekenbaarheid.) We bekijken de verzamelingen formules in de predikatenlogica.

- i) Deze is semi-beslisbaar.
 - ii) Deze is opsombaar.
- (a) Geen enkele.
 (b) Alleen i).
 (c) Alleen ii).
☒ Beiden.

Toelichting. Op college is verteld dat de (verzamelingen formules in de) predikatenlogica semi-beslisbaar is. Dus, als we toevallig een ware formule hebben (zonder dit noodzakelijk te weten), en deze aan een gevalideerde stellingenbewijzer geven, zal deze de waarheid ervan altijd aantonen. Omgekeerd, als we toevallig een onware formule hebben (zonder dit noodzakelijk te weten), zal elke stellingenbewijzer, gevalideerd of niet, niet altijd de onwaarheid ervan kunnen aantonen.

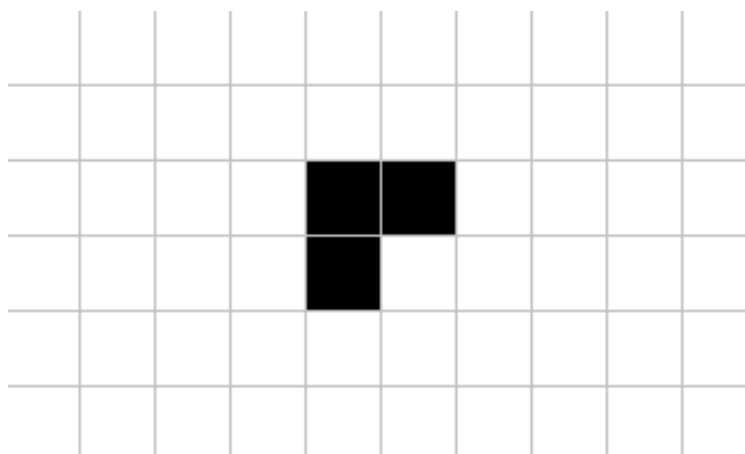
Aangezien opsombaarheid en semi-beslisbaarheid op hetzelfde neerkomen, zijn beide antwoorden dus waar.

19. (Berekenbaarheid.) Het afdruk-probleem is het probleem om te bepalen of een invoerloos programma, bij executie, een niet-lege uitvoer bezit (dus ooit iets zal “afdrukken”). Hoe kan de onbeslisbaarheid van het afdruk-probleem worden aangetoond?

- (a) Laat zien dat instanties van het afdruk-probleem rechtstreeks kunnen worden vertaald naar instanties van het stop-probleem.
- (b) Laat zien dat instanties van het afdruk-probleem automatisch kunnen worden vertaald naar instanties van het stop-probleem.
- (c) Laat zien dat instanties van het stop-probleem rechtstreeks kunnen worden vertaald naar instanties van het afdruk-probleem.
- ✓ (d) Laat zien dat instanties van het stop-probleem automatisch kunnen worden vertaald naar instanties van het afdruk-probleem.

Toelichting. Als je de reductie-richting goed hebt, blijven er nog maar twee antwoorden over. Het adjectief “rechtstreeks” voegt niet zo veel toe, het adjectief “automatisch” des te meer. In een reductie-argument moet de vertaling (de reductie, dus) automatisch plaatsvinden, anders is er geen totaal-algoritme. Dus is het antwoord (c).

20. (Cellulaire automaten.) Zie hier een patroon in Conway’s Game of Life.



- (a) Sterft uit na één tik.
- (b) Sterft uit na twee tikken.
- ✓ (c) Stabiel na één tik.
- (d) Stabiel na twee tikken.

Toelichting. Na één tik blijven alle zwarte cellen leven, en blijven alle witte cellen, behalve de inkeping, dood; de inkeping komt tot leven. De aldus ontstane configuratie (een vierkant) is stabiel: alle zwarte cellen van het vierkant blijven leven, en alle witte cellen daar omheen blijven dood.

21. (Cellulaire automaten.) Iemand beweert een programma te hebben geschreven dat voor elke beginconfiguratie van Conway’s Game of Life, op een 1080p (1920 × 1080) raster, kan bepalen of deze uitsterft.

- i) Theoretisch is dit mogelijk.
- ii) Praktisch is dit mogelijk.

- (a) Geen enkele.
- ✓ Alleen i).
- (c) Alleen ii).
- (d) Beiden.

Toelichting. Theoretisch kan het: er zijn “slechts” eindig veel ($2^{1920 \times 1080} \approx 10^{624,216}$) configuraties, dus op den duur treedt herhaling op, en daar kun je in theorie op checken.

Praktisch gezien is de bewering niet erg geloofwaardig. Om te beginnen zijn er extreem veel mogelijke begin-configuraties. Elk scenario uitputtend analyseren lijkt praktisch onmogelijk, tenzij er een globale systematiek bestaat, wat echter onwaarschijnlijk is. Immers, bekende patronen zoals de *glider* en de *Gosper glider gun* tonen dat zelfs eenvoudige begin-configuraties al een niet-triviale, langdurige dynamiek kunnen produceren. Configuraties kunnen extreem lang complexe patronen vertonen voordat ze stabiliseren of uitsterven, waardoor het moeilijk is vooraf een algemene bovengrens te bepalen voor de benodigde simulatie-duur. Bovendien is *GoL* Turing-volledig. Daardoor is het zeer waarschijnlijk dat een 1080p-raster voldoende ruimte biedt voor “duivelse” configuraties die, vergelijkbaar met busy-beaver-machines, extreem lang actief blijven.

22. (Langton’s mier.) Op enig moment staat de (originele RL-) mier op een veld, wijzende naar het Noorden. Direct na dat moment slaat de mier linksaf. Na een groot aantal stappen zien we de mier voor het eerst weer terug op datzelfde veld.

N.B. De draairichting (links of rechts) wordt altijd bekeken vanuit de mier zelf.

- (a) De oriëntatie is weer Noord, en de mier slaat weer linksaf.
- (b) De oriëntatie is weer Noord, maar de mier slaat nu rechtsaf.
- (c) De oriëntatie is nu onbekend, en de mier slaat weer linksaf.
- ✓ De oriëntatie is nu onbekend, en de mier slaat nu rechtsaf.

Toelichting. Het enige wat we weten is dat de mier weer in een verticale oriëntatie terugkomt. Immers, de onderhavige cel is niet noodzakelijk een rand-cel, zoals in het bewijs van Kung & Cohen, dus de mier kan zowel vanuit het Noorden als vanuit het Zuiden aankomen.

Een concreet voorbeeld is wanneer de mier na acht stappen terugkeert in de oorsprong: hij heeft (0, 0) dan drie keer bezocht: op $t = 0$, $t = 4$ en $t = 8$, met oriëntaties respectievelijk N, N, en Z. Dit concrete voorbeeld hoeft je niet te geven om bij het goede antwoord uit te komen: je default is “onbekend”, en er is verder geen *a priori* argumentatie voor “Noord”.

Wat we wél weten, is dat na een eerstvolgend bezoek de kleur één keer is omgedraaid, zodat de mier nu—vanuit zijn perspectief—rechtsaf slaat.

23. (Langton’s mier.) Over hoeveel toestanden beschikken velden bij Langton’s mier met instructie-string LLRLRRL?

- (a) 2.
- (b) 6.
- ✓ 7.
- (d) Een ander antwoord.

Toelichting. Bij Langton’s mier bepaalt de lengte van de instructie-string direct het aantal mogelijke toestanden van de velden op het rooster. Voor de specifieke string LLRLRRL, die uit zeven karakters bestaat, zijn er exact zeven toestanden (kleuren) nodig. Elk karakter correspondeert met een kleur die de mier een specifieke draairichting oplegt. Na elke passage van de mier verandert een veld cyclisch naar de volgende toestand binnen deze reeks van zeven.

24. (Cellulaire automaten.) Welke van de volgende beweringen zijn waar ten aanzien van Silverman's Wireworld?

- i*) Bij een doodlopende leiding ("draad") zal een signaal uitdoven.
 - ii*) Een signaal kan zich splitsen over meerdere leidingen.
- (a) Geen enkele.
(b) Alleen *i*).
(c) Alleen *ii*).
✓ Beiden.

Toelichting. (*i*) Waar: een signaal (electronenkop + electronenstaart) dat langs een doodlopende draad reist, bereikt het einde: de kop wordt staart, de staart wordt draad, en er zijn geen verdere draadcellen om een nieuwe kop te activeren. Het signaal dooft uit.

(*ii*) Waar: Met een Y-splitsing (één draad die vertakt in twee) kan een signaal zich splitsen, mits de geometrie klopt: als de electronenkop bij het splitsingsknoop precies 1 of 2 naburige draadcellen heeft die elk afzonderlijk aan de activatievoorwaarde voldoen, ontstaan er twee nieuwe electronenkoppen. Splitters zijn dan ook een standaard bouwsteen in Wireworld-schakelingen.