

TURING TUMBLE™

Docentenhandleiding

Versie 2.5 - Behandelt de puzzels 1 t/m 30



Welkom docenten!

We zijn blij dat je met Turing Tumble aan de slag gaat in je klaslokaal! Dit spel is makkelijk te gebruiken. Batterijen opladen is niet nodig, je hoeft geen apps te installeren en te updaten, en je hebt geen kabels nodig... Laat je leerlingen zien hoe het puzzelboek in elkaar zit en je klas kan meteen aan de slag. Gebruik dit spel als onderdeel van de reken- of wiskundeles, om leerlingen meer over techniek en programmeren te leren, tijdens vrije-keuze-uren of voor workshops in een ontdeklab, museum of bibliotheek.



Deze docentenhandleiding behandelt de eerste dertig uitdagingen van het puzzelboek. De hele handleiding is zwart-wit, zodat die makkelijk te printen en te kopiëren is.

Wat staat er in deze handleiding?

Er zijn twee verschillende onderdelen:

1. *Lessen.* Als de leerlingen de puzzels aan het maken zijn, is er tussendoor lesmateriaal beschikbaar met uitleg over de gebruikte concepten. Die lessen leggen ook de verbinding met alledaagse toepassingen. Je vindt het materiaal voor de lessen verspreid tussen de puzzels.
2. *Hulp bij individuele puzzels.* We laten de puzzel zien, de oplossing en uitleg over de oplossing, evenals vaak voorkomende valkuilen en het bijbehorende concept waar leerlingen meer over leren tijdens het maken van de puzzel.

Als je rondloopt in de klas, kun je even een blik werpen in deze handleiding om snel te zien hoe je leerlingen kunt ondersteunen bij het oplossen van een puzzel en het leren begrijpen van het onderliggende concept.

Wat is Turing Tumble?

Turing Tumble is een spel waarin de spelers mechanische knikkercomputers bouwen om logische puzzels op te lossen. Terwijl je speelt, leer je belangrijke concepten die gebruikt worden in computers en leer je vaardigheden die nuttig zijn voor het programmeren van computers. De puzzels helpen leerlingen eveneens om uit te vinden hoe computers op basaal niveau werken: hoe simpele schakelaars - op een slimme manier met elkaar verbonden - complexe opdrachten kunnen uitvoeren.

Turing Tumble is te gebruiken voor een losse serie lessen over hoe computers werken of als voorbereiding of als aanvulling op programmeerlessen. Het spel is eveneens een handig hulpmiddel om leerlingen op een leuke manier extra te laten oefenen met en meer te leren over wiskundige en programmeerconcepten.

Wat leren leerlingen van de Turing Tumble-puzzels?

Leerlingen leren een flink aantal concepten die aan de basis liggen van computers, programmeren en digitale elektronica. Via het spel Turing Tumble versterken ze hun vaardigheden op het gebied van "denken als een computer" (*computational thinking*), programmeren, logica, het ontwerpen van algoritmen, kritisch denkvermogen, fouten opsporen, problemen oplossen, fijne motoriek, ruimtelijk inzicht en doorzettingsvermogen. Turing Tumble leert leerlingen over concepten als logische poorten, waarheidstabellen, voorwaarden, rekenen met binaire getallen en het ontwerp van digitale schakelingen.

Vind je deze handleiding nuttig?

We horen graag wat je ervan vindt. We zijn altijd op zoek naar manieren om Turing Tumble en deze handleiding beter te maken. Er zijn vast dingen die je goed vindt werken en dingen die je juist minder goed vindt. We waarderen het als je ons een e-mail stuurt of je ideeën en/of vragen deelt op onze Turing Tumble-gemeenschapspagina. Je kunt ook een mailtje sturen naar hello@upperstory.com.



Tips voor gebruik in de klas.....	1
Hoe het werkt	8
Hoe gebruik je deze handleiding?	11
Computerlogica les #1: Wat maakt Turing Tumble een computer?	10
Computerlogica les #2: Tuimelaars.....	14
Uitdaging #1: Zwaartekracht	16
Uitdaging #2: Terugkeer	18
Uitdaging #3: Ontbranding	20
Uitdaging #4: Fusie	22
Computerlogica les #3: Kruisingen	24
Uitdaging #5: Entropie.....	26
Uitdaging #6: Complete interne reflectie.....	28
Uitdaging #7: Weg van de minste weerstand.....	30
Computerlogica les #4: Bits.....	32
Uitdaging #8: Depolarisatie	34
Uitdaging #9: Dimeren	36
Uitdaging #10: Dubbele band	38
Uitdaging #11: Selectiviteit	40
Computerlogica les #5: Opvangbakjes.....	42
Uitdaging #12: Dualiteit - Deel 1.....	44
Uitdaging #13: Dualiteit - Deel 2.....	46
Computerlogica les #6: Voorwaarden	48
Uitdaging #14: Dualiteit - Deel 3.....	52
Uitdaging #15: Inversie	54
Uitdaging #16: Halt.....	56
Uitdaging #17: Vaste verhouding	58
Computerlogica les #7: Logische poorten	60
Uitdaging #18: Verwarring	62
Computerlogica les #8: Waarheidstabellen.....	64
Uitdaging #19: Verwarring	68
Uitdaging #20: Symbiose.....	70

Computerlogica les #9: Registers	72
Uitdaging #21: Quantumgetal.....	76
Uitdaging #22: Depletie	80
Uitdaging #23: Viertal.....	84
Uitdaging #24: Negental	86
Uitdaging #25: Reguliere expressie.....	88
Uitdaging #26: Nucleus.....	90
Uitdaging #27: Reflectie	92
Computerlogica les #10: Tandwielen en tandwielbits.....	94
Uitdaging #28: Vergrendeld.....	100
Uitdaging #29: Tuimelschakelaar.....	102
Uitdaging #30: Overloop	104
Bijlagen	106

<< Deze pagina is bewust leeg gelaten >>



Voor welke leeftijd is Turing Tumble geschikt?

We raden Turing Tumble aan voor 8 jaar en ouder. Het puzzelboek is zo opgezet dat leerlingen er zelfstandig en in hun eigen tempo mee aan de slag kunnen. Onze ervaring is dat kinderen tussen de 8 en 12 in staat zijn om de eerste twintig tot dertig puzzels op te lossen. Universitaire studenten en volwassenen raken verslaafd vanaf puzzel 27, en vanaf puzzel 35 verbazen ze zich over wat er allemaal mogelijk is met een mechanische computer. Jongere kinderen hebben plezier in het oplossen van de eerste tien puzzels en vinden het vaak leuk om daarna hun eigen knikkercomputers te bouwen.

Alleen of met zijn tweeën

We raden aan om niet meer dan twee leerlingen tegelijk te laten puzzelen met één Turing Tumble-spel. Juist het zelf in elkaar zetten van een knikkercomputer helpt leerlingen om goed te begrijpen hoe het werkt. Je ziet leerlingen vaak onderdelen op het bord plaatsen en dan met hun vinger de verwachte route van de ballen aanwijzen om te checken of ze de onderdelen op de goede plaats hebben gezet. Je ziet ze letterlijk leren. En deze manier van leren wordt lastig als er drie of meer kinderen samenwerken met één Turing Tumble-spel.

In een les van een uur lukt het de meeste leerlingen om - naast de introductie en het neerzetten en opruimen van het spel - vier tot vijf puzzels te maken.

Puzzels 1-10:	per puzzel kost het oplossen 5-15 minuten
Puzzels 11-20:	per puzzel kost het oplossen 10-15 minuten
Puzzels 21-30:	per puzzel kost het oplossen 10-20 minuten
Voor de rest van de puzzels varieert de tijd sterk per persoon.	

Opbouw van de puzzels

Laat leerlingen geen puzzels overslaan, ook al vinden ze de eerste puzzels te makkelijk. Elke puzzel introduceert een nieuw concept, een nieuwe regel of truc, en ze gaan snel de mist in als ze niet elke puzzel maken. We zien leerlingen soms na de eerste drie puzzels doorbladeren naar de laatste en dan denken ze dat ze die meteen hebben opgelost omdat ze nog niet alle regels kennen.

Video's voor in de klas

Van start met Turing Tumble (Engelstalige video):
<https://bit.ly/getting-started-with-turing-tumble>

Leerlingen lichten toe hoe je begint met Turing Tumble en geven tips voor hoe je het spel neerzet, hoe je het speelt, en hoe je veelvoorkomende problemen oplost.



Wat maakt Turing Tumble een computer? (Engelstalige video)
<https://bit.ly/like-a-computer>

Dit filmpje legt uit waarom Turing Tumble een mechanische computer is en wat het verschil is tussen mechanische computers en hun elektronische evenknieën die we uit ons dagelijks leven kennen. In de video zie je de binnenkant van een elektronische computer. Er wordt ingezoomd op de superkleine schakelingen in een processor die alleen te zien zijn met een zogenoemde *scanning electron*-microscop. Turing Tumble werkt met mechanische schakelaars die spelers zo moeten verbinden dat er slimme dingen gebeuren. Als Turing Tumble groot genoeg zou zijn, zou het alles kunnen wat een pc, laptop of smartphone kan.



Neem een kijkje binnenin de processor van een computer (Engelstalige video):
<https://bit.ly/computer-processor>

Dit filmpje zoomt in op de processor van een computer, helemaal totdat je individuele schakelaars kunt zien, de zogenoemde transistors, en de superkleine koperen draden die deze met elkaar verbinden. Tijdens het inzoomen zal je opvallen dat de gekleurde beelden veranderen in zwart-witbeelden. Dat is het moment dat de makers van de video moesten omschakelen van het maken van foto's met licht naar het maken van foto's met elektronen, die veel kleiner zijn.



Promotievideo (Nederlandstalig!):
<https://youtu.be/lb4yz13XxTI>

Dit filmpje kun je gebruiken om aan anderen te laten zien wat Turing Tumble is, bijvoorbeeld aan anderen in je school of scholengroep of aan ouders.

Gids met extra oefeningen

In de gids met extra oefeningen van Turing Tumble vind je dertig extra puzzels die de stappen tussen de puzzels in het puzzelboek verkleinen. Je kunt deze Engelstalige *Practice Guide* gratis downloaden op upperstory.com/turingtumble/edu/resources. De gids bevat ook alle puzzels in een makkelijk te printen of kopiëren formaat.

Turing Tumble op een scherm

De online Turing Tumble-simulators zijn handig om in de klas voor te doen hoe je Turing Tumble gebruikt. Je kunt een simulator op een scherm projecteren, snel wat bouwen en meteen de rollende virtuele knikkers op het scherm aan je leerlingen laten zien. We raden het gebruik van de volgende simulators aan:

Simulator 1, gemaakt door Rich Twilton:
<https://bit.ly/tumble-together-simulator>

Deze simulator lijkt op het echte spel. De eerste dertig puzzels zijn beschikbaar via het menu, zodat je meteen kunt spelen. Deze simulator maakt het ook mogelijk voor leerlingen op afstand van elkaar om hun oplossing online te delen via gezamenlijke online ruimtes, zogenoemde *shared rooms*.



Simulator 2, gemaakt door Jesse Crossen:
<https://bit.ly/tt-sim>

Deze simulator, die ook op het echte spel lijkt, levert mooie animaties van de rollende ballen gebaseerd op natuurkundige wetten. Je kunt zelfs het puzzelbord groter maken als je ingewikkeldere virtuele knikkercomputers wilt bouwen.

Simulator 3, gemaakt door Lode Vandevenne:
<https://bit.ly/js-tumble>

Deze simulator is makkelijk in gebruik. Binnen een paar minuten ben je al virtuele knikkercomputers aan het bouwen.

Tips

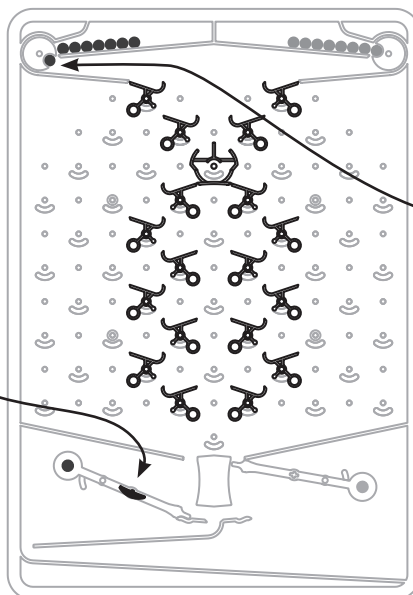
- De bordstandaard kan op twee manieren in elkaar gezet worden, maar slechts één manier is de goede. Als je het bord niet goed op de standaard kunt zetten zodat die blijft staan, haal dan de twee onderdelen weer uit elkaar, draai één onderdeel om en probeer het bord er opnieuw in te zetten.
- Zet de bordstandaard IN de deksel van de doos. Zo kun je alle onderdelen makkelijk bij elkaar houden en raak je niet zo snel balletjes kwijt.
- Plaats de balletjes pas bovenin het spel NADAT de onderdelen van de puzzel op het bord zijn geplaatst. Tijdens het oplossen van een puzzel kan het bord wat bewegen of raak je misschien een hefboom aan de onderkant van het bord aan. Hierdoor kunnen er balletjes vrijkomen die vervolgens wegstuiteren.
- Plaats niet alle beschikbare balletjes bovenin het spel! Kies het aantal dat nodig is voor de specifieke puzzel waar je aan werkt. Meestal zijn er aan elke kant acht balletjes nodig.
- Wijs met je wijsvinger de gewenste route van de balletjes aan als je nadenkt over waar je de verschillende onderdelen moet plaatsen. Komt je vinger bij een wit pinnetje, dan kun je daar een onderdeel toevoegen.
- De balletjes horen nooit een vrije val te maken. Als dat wel gebeurt, heb je extra onderdelen nodig om de balletjes netjes naar beneden te laten rollen.
- Gebruik de hefbomen aan de onderkant als "noodstop" door ze vast te houden en de balletjes weg te vangen voordat ze nieuwe balletjes bovenin vrij laten komen.
- Bewaar de zwarte plaat waar de "benen" van de standaard inpassen tijdens het spelen onderin de doos.
- Opruimtips:
 - Zorg dat elk onderdeel op de goede plek in de doos wordt teruggezet.
 - Plaats het puzzelboek boven op de spelonderdelen met de ringband in de riggel.
 - Plaats de "benen" van de standaard op de zwarte plaat en leg deze bovenop de onderdelen en het puzzelboek.
 - Plaats het witte bord helemaal bovenop.

Hoe werkt het?



Het speelbord laat bovenin steeds één balletje vrij:

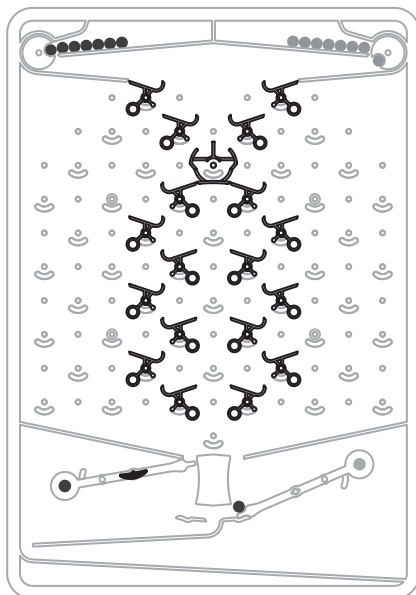
Druk hier om de knikkercomputer te starten...



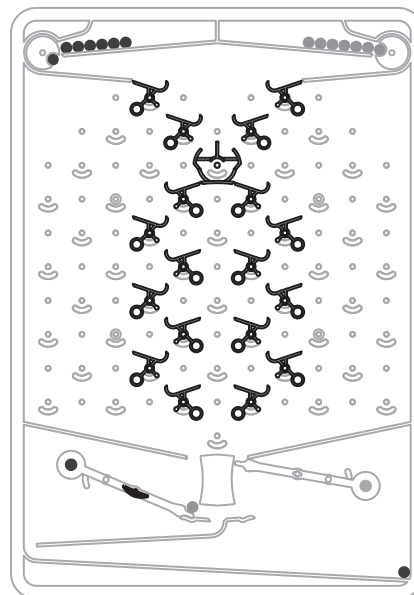
...dan komt er aan de bovenkant een balletje vrij.

Elk balletje dat via het bord naar beneden gaat, drukt aan de onderkant van het bord op een van de hefboomen, waarna er bovenin een nieuw balletje vrijkomt.

Als een balletje de **rechter** hefboom indrukt, komt er een **rood** balletje vrij.



Als een balletje de **linker** hefboom indrukt, komt er een **blauw** balletje vrij.



Spelers kunnen **zes verschillende onderdelen** op het bord plaatsen:



TUIMELAAR

Tuimelaars sturen het balletje in één richting: naar links of naar rechts - afhankelijk van hoe je ze op het bord plaatst. Nadat er een balletje overheen is gerold, keren ze terug naar hun beginpositie. Het tegengewicht in de tuimelaars zorgt hiervoor. Tuimelaars kun je vergelijken met draadjes in een computer en de balletjes met elektrische stroompjes.



KRUISING

Kruisingen laten het pad van twee balletjes kruisen. Balletjes gaan er aan de ene kant in en komen er aan de andere kant uit. Je kunt het vergelijken met twee draadjes die elkaar kruisen zonder elkaar te raken of met viaducten waarmee auto's over andere wegen heen kunnen rijden.



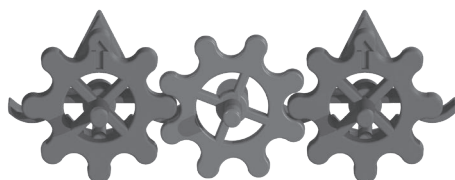
BIT

De **bit** voegt logica toe. Dit onderdeel slaat informatie op, zoals een 0 of een 1, door naar links of rechts te wijzen. De twee toestanden (links of rechts) kunnen ook de programmeertermen "onwaar" of "waar" voorstellen. Een balletje dat door de bit rolt, verandert de bit van richting en verandert daarmee de opgeslagen informatie. Naarmate de puzzels moeilijker worden, wordt de bit steeds belangrijker.



OPVANGBAKJE

Wanneer het doel van een knikkercomputer is bereikt, is het **opvangbakje** te gebruiken om te zorgen dat de computer stopt en er dus geen nieuwe balletjes meer vrijkomen.



TANDWIEL EN TANDWIELBIT

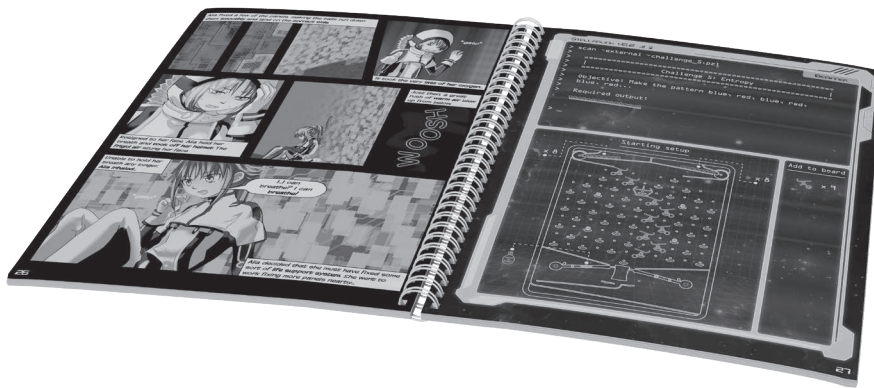
Net als de bit kan de **tandwielbit** informatie opslaan door naar links of rechts te wijzen. Maar de tandwielbit kan meer. Die kan ook andere tandwielbits - verbonden via **tandwielen** - de andere kant op laten wijzen.

De tandwielbits zijn echte breinbrekers. Ze voegen een compleet nieuw niveau aan functionaliteiten toe. Ze maken de computer bovendien "Turing-compleet". Dat betekent dat - als het bord groot genoeg zou zijn - de Turing Tumble alles kan wat een normale computer ook kan doen.

Bij elk spel zit een klein zakje met zwarte frictieplaatjes. Wanneer er slechts twee tandwielbits met elkaar zijn verbonden, moet je deze achter de tandwielbits plaatsen om ze goed te laten functioneren. Wanneer je echter *meer* dan twee tandwielbits bij elkaar plaatst (die elkaar kunnen laten draaien), dan moet je de frictieplaatjes *niet* gebruiken.

Bij Turing Tumble hoort een boek met zestig uitdagingen. Die beginnen makkelijk en worden steeds moeilijker. Tijdens het maken van de puzzels komen er steeds weer nieuwe onderdelen bij. Je begint bijvoorbeeld eerst met vier puzzels met alleen maar tuimelaars, en daarna maken spelers kennis met de kruising. Elke puzzel laat de spelers nieuwe concepten ontdekken die ze later kunnen toepassen bij de ingewikkeldere puzzels.

Bij de puzzels hoort ook een stripverhaal om ze meer context te geven en hopelijk interessanter te maken voor leerlingen die van verhalen houden. Elke puzzel brengt ruimtevaartingenieur Alia een stukje dichterbij de redding van een ogenschijnlijk verlaten planeet.





De oplossingen van de eerste dertig puzzels zijn in deze handleiding te vinden. Sommige vragen van leerlingen kun je waarschijnlijk beantwoorden door even snel naar de oplossing te kijken. Bij elke uitleg van een puzzel staat bovenaan ook een referentie naar de pagina in het puzzelboek, zodat die snel te vinden is.

Lessen in computerlogica

De uitleg over nieuwe onderdelen en concepten staat in deze handleiding steeds voordat de leerlingen een nieuw onderdeel of een nieuw concept gaan gebruiken. Zo kunnen docenten zien wat er in de volgende puzzels aan de orde komt. Maar misschien vind je het handiger om pas een les hierover te geven nadat de leerlingen wat hebben geoefend met een nieuw onderdeel.

Extra informatie over elke puzzel

Bij elke uitdaging staat beschreven wat leerlingen leren over het spel en over computerconcepten. Die uitleg vind je onder de tekening van de puzzel en oplossing. Docenten kunnen snel naar een van de puzzels bladeren en tips vinden om leerlingen te ondersteunen bij dingen die ze mogelijk lastig vinden.

Sommige uitleg staat bij meerdere puzzels. Zowel bij uitdaging vijf, zes en zeven leren leerlingen bijvoorbeeld de kruising te gebruiken. Die informatie staat bewust bij meerdere puzzels, zodat je als docent snel een puzzel kunt opzoeken en daar meteen alle relevante informatie vindt, zonder dat je hoeft terug te bladeren naar eerdere puzzels voor extra uitleg.

- **Wat de spelers leren over computerlogica**

In dit onderdeel vind je een korte opsomming over de link tussen de uitdaging en wat er binnenin een computer gebeurt. De computerlogicalessen gaan dieper in op die link.

- **Wat spelers leren over het spel**

Dit onderdeel laat zien wat de spelers over het spel leren, zoals hoe je het bord en de onderdelen gebruikt, waar je op moet letten in het puzzelboek of een truc die de speler leert en later opnieuw zal moeten gebruiken.

- **Tips bij mogelijke valkuilen**

In dit onderdeel staan hints die leerlingen helpen om de opdracht te voltooien. Niet alle mogelijke hints die je als docent zou kunnen geven, staan vermeld. We brengen vooral een aantal stappen voor het voetlicht waarvan we gezien hebben dat spelers er moeite mee kunnen hebben.

We zijn overigens benieuwd naar je ervaringen als gebruiker van deze handleiding en waarderen input waarmee we deze gids in de toekomst kunnen verbeteren en mogelijk kunnen uitbreiden.

Computerlogica les #1: Wat maakt Turing Tumble een computer?

Veel mensen zullen zich afvragen hoe het mogelijk is dat een knikkerbaan kan functioneren als een computer. Er is geen scherm, geen toetsenbord, geen elektronica. Hoe kan het dan een soort computer zijn?

Laten we om te beginnen een kijkje nemen in een gewone pc.

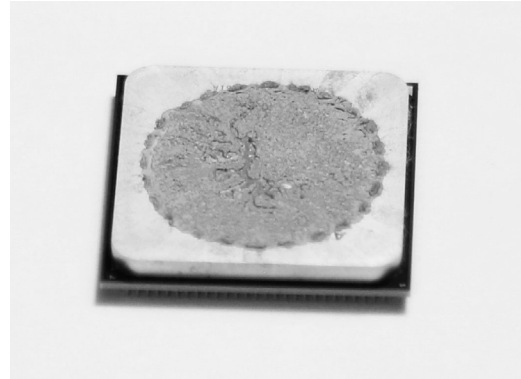
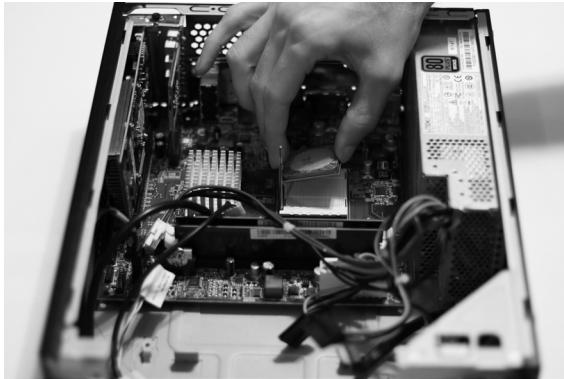


Daar zitten allerlei dingen in, zoals printplaten, ventilatoren, lampen en motortjes, maar dat zijn niet de "slimme" onderdelen van een computer. In feite zijn die er alleen maar voor het ondersteunen van de processor van de computer - een kleine rechthoekige chip onder een grote ventilator die voor verkoeling zorgt.

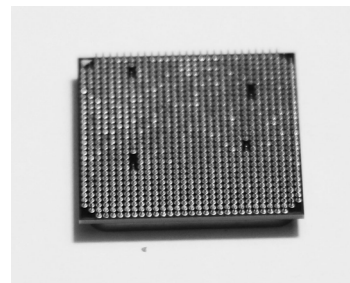


De processor van een computer, ook wel *central processing unit* (CPU) genoemd, is waar de "denkkracht" zit. De processor is het onderdeel dat computerprogramma's uitvoert door te rekenen en logica toe te passen. Dat is hard werken en daar komt een hoop warmte bij vrij. Daarom zorgt de ventilator voor verkoeling zodat de processor niet oververhit raakt.

Dit is hoe een losse processor van een computer eruit ziet:



Het spul dat bovenop de processor zit is zogenoemde koelpasta. Die maakt het makkelijker voor de chip om warmte af te voeren. Als we de koelpasta verwijderen, dan zien de boven- en onderkant er zo uit:



Aan de onderkant van de processor zie je meer dan duizend kleine pinnen uitsteken. Die pinnen verbinden de binnenkant van de processor met andere onderdelen van de computer. Sommige pinnen behandelen invoer - ze sturen informatie naar de processor of leveren eenvoudigweg stroom. Andere pinnen zijn bedoeld voor uitvoer - de processor gebruikt ze om informatie naar de rest van de computer te sturen.

Het toetsenbord levert bijvoorbeeld invoer, ook wel *input* genoemd, voor de processor, terwijl het scherm informatie toont die de processor via een uitvoerpin, ook wel *output* genoemd, heeft geleverd.

Wat zit er in de processor van een computer?

Schakelaars. Heel veel schakelaars. Miljarden schakelaars. Deze schakelaars zijn zo klein dat je ze niet met het blote oog kunt zien. Ze zijn zelfs zo klein dat je ze ook door een microscoop niet kunt zien, omdat de golflengte van zichtbaar licht te groot is. Schakelaars in de processor van een computer zijn momenteel ongeveer duizend keer kleiner dan de dikte van een haar van een mens.

Het volgende filmpje zoomt in op de processor van een computer, helemaal totdat je individuele schakelaars kunt zien, de zogenoemde transistors, en de superkleine koperen draadjes die deze met elkaar verbinden. Tijdens het inzoomen zal je opvallen dat de gekleurde beelden veranderen in zwart-witbeelden. Dat is het moment dat de makers van de video moesten omschakelen van het maken van foto's met licht naar het maken van foto's met elektronen, die veel kleiner zijn. Hier is de link naar de video:

<https://bit.ly/computer-processor>

Hoe kunnen schakelaars "slimme" dingen doen?

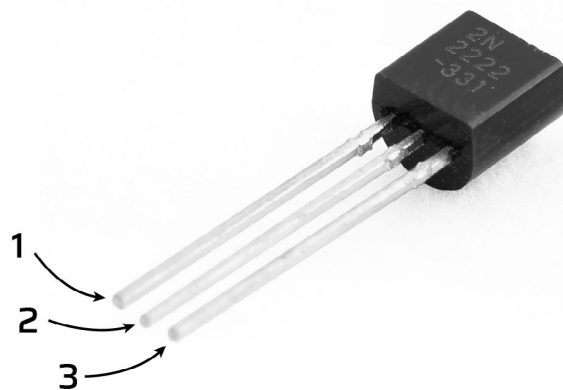
Als je het woord "schakelaar" hoort, denk je al snel aan schakelaars op de muur waarmee je het licht aan en uit kunt doen. Het is moeilijk voor te stellen dat je met zulke schakelaars iets anders kunt doen dan dingen aan- en uitzetten.



En je hebt gelijk als het over het lichtknopje gaat. Dat kan niets ingewikkelds doen. Schakelaars in computers kunnen echter meer dan alleen iets aan- of uitzetten zoals een lichtschaakelaar. Hun toestand (aan of uit) beïnvloedt ook het gedrag van andere schakelaars in hun omgeving. Met andere woorden: schakelaars in computers kunnen slimme dingen doen, omdat ze in staat zijn om de toestand van andere schakelaars te veranderen.

Schakelaars kunnen echter alleen slimme dingen doen als ze de toestand van een andere schakelaar kunnen veranderen met dezelfde type energie als waar ze zelf controle over hebben. Voor een lichtschakelaar geldt dat niet. Die kan andere schakelaars niet aan- of uitzetten, omdat daar mechanische energie voor nodig is. Dit terwijl de lichtschakelaar zelf alleen kan bepalen of er wel of geen elektrische energie door een schakeling loopt. Oftewel, je kunt twee lichtschakelaars niet zo aan elkaar koppelen dat ze elkaar zelfstandig aan of uit kunnen zetten.

In Turing Tumble verandert *mechanische* energie de toestand van de schakelaars (dat zijn de blauwe en paarse onderdelen die we "bits" en "tandwielbits" noemen), terwijl deze schakelaars zelf ook controle hebben over *mechanische* energie. Ze draaien richting de andere kant van het speelbord als er een balletje over hen heen rolt én ze bepalen of een balletje aan hun linker- of rechtekant verder naar beneden gaat.



Schakelaars in computers, zogenoemde transistors, veranderen niet alleen door *elektrische* energie van toestand, maar ze hebben ook controle over *elektrische* energie. Het plaatje hierboven is een relatief grote transistor. Die is ongeveer even groot als de nagel van je pink. Dit is hoe het werkt: pin 1 heeft controle over hoeveel stroom er van pin 2 naar pin 3 gaat. Als er stroom op pin 1 wordt gezet, kan er stroom van pin 2 naar pin 3 gaan. Zonder stroom op pin 1 is dat niet mogelijk.

Dus schakelaars in zowel processors als in Turing Tumble kunnen andere schakelaars van toestand laten veranderen met hetzelfde type energie als waarmee ze zelf veranderen. Als je aan de slag gaat met de puzzels van Turing Tumble zul je ontdekken hoe deze ene simpele eigenschap het mogelijk maakt om apparaten te maken met oneindig veel mogelijkheden.

Video over wat Turing Tumble een computer maakt (Engelstalig):
<https://bit.ly/like-a-computer>

Computerlogica les #2: Tuimelaars

Tijdens de eerste uitdagingen is de "tuimelaar" het enige onderdeel dat we gebruiken. Die ziet er zo uit:



Het doel van de tuimelaar is om de balletjes altijd in een specifieke richting te laten gaan. Als je een tuimelaar zo op het speelbord zet dat die naar rechts wijst, zullen de balletjes altijd aan de rechterkant naar beneden rollen.

Hoe zien elektronische tuimelaars eruit in een elektronische computer?

In een elektronische computer, zoals een laptop, pc of smartphone, hebben draadjes dezelfde functie als de tuimelaars. Dunne draadjes sturen elektrische stroompjes een specifieke kant op, als een soort pijp voor elektronen. Soms sturen draden stroom naar een schakelaar of een andere elektronische component, soms komen ze uit op meer draden waar de stroom zich over kan uitsplitsen.

Er zitten zelfs piepkleine draden in een microchip zoals deze:



Foto van een processor van een Motorola 68040.
Gedeeld door Konstantin Lanzet onder de CC BY-SA
3.0-licentie op en.wikipedia.org/wiki/Motorola_68040.

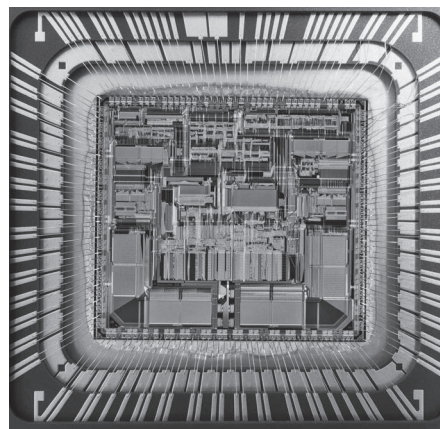
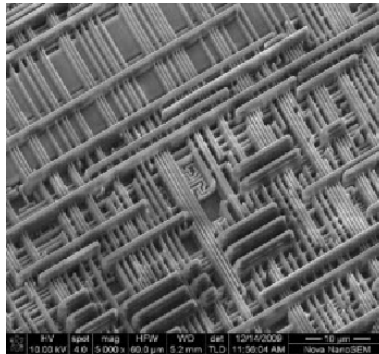


Foto van binnenkant van een Motorola 68040-processor.
Gedeeld door Gregg M. Erickson onder de CC BY
3.0-licentie op en.wikipedia.org/wiki/Motorola_68040.

De linkerfoto toont een microchip, zoals je die misschien wel eens gezien hebt binnenin je computer. Microchips zijn hele kleine elektronische

circuits, beschermd door een bovenkant van plastic of keramisch materiaal. Op de rechterfoto op de vorige pagina zie je dezelfde microchip, maar nu zonder beschermende laag.

Als je ver genoeg inzoomt, kun je hele kleine koperen draadjes zien die de verschillende onderdelen van het elektronische circuit met elkaar verbinden.



Dit plaatje van de binnenkant van een microchip, gemaakt met een *scanning electron*-microscoop, publiceren we met toestemming van DELTA Microelectronics (asic.madebydelta.com)

In het spel Turing Tumble gebruiken we tuimelaars als het ware als draadjes en de balletje als elektriciteit. Wanneer je de tuimelaars op het speelbord plaatst, maak je een "weg" voor de balletjes waar ze overheen kunnen bewegen, net zoals elektriciteitsdraden een weg maken waar elektronen in de vorm van een elektrisch stroompje overheen kunnen bewegen.

Uitdaging #1: Zwaartekracht

(pagina 15 in puzzelboek)



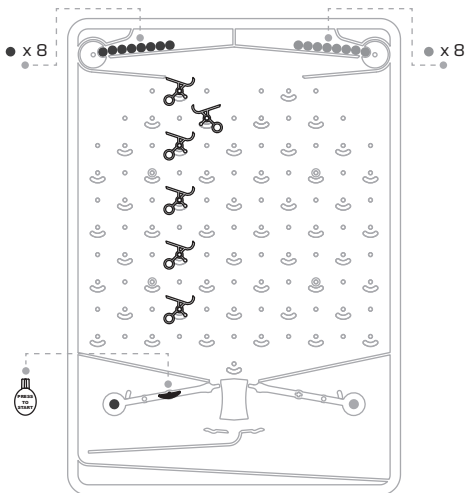
Uitdaging 1: Zwaartekracht

Doel: Zorg ervoor dat alle blauwe balletjes (en alleen de blauwe balletjes) het einde bereiken.

Resultaat:



Uitgangspositie



Beschikbare onderdelen

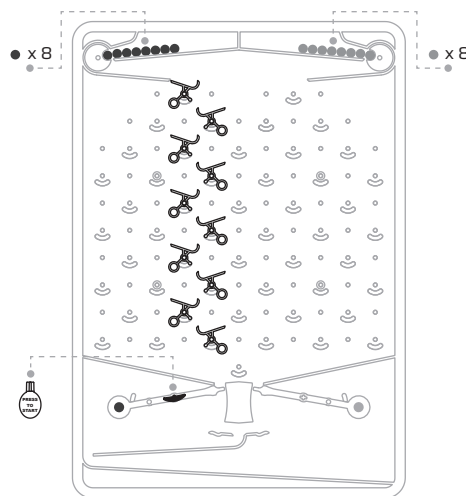


x 4

Oplossing van uitdaging 1

Uitleg: De balletjes kunnen netjes naar beneden "rollen" door er vier tuimelaars bij te plaatsen. Je maakt als het ware een weg voor de balletjes.

Het is goed om te onthouden dat balletjes niet vrij naar beneden mogen vallen, ook niet een klein stukje. Als ze van een onderdeel afrollen, moeten ze meteen op het volgende onderdeel landen.



23

Wat de spelers leren over computerlogica:

- De tuimelaar, het enige onderdeel dat we in deze puzzel gebruiken, heeft een vergelijkbare rol als draden in een elektrische schakeling. De balletjes kun je vergelijken met elektriciteit. Als de spelers de tuimelaars op het speelbord plaatsen, maken ze een "weg" voor de balletje net zoals geleidende draden een "weg" vormen waar elektrische stroom door kan gaan.

Wat spelers leren over het spel:

- Dat de hefboomen onderaan zijn verbonden met de happertjes aan de bovenkant die een bal kunnen vrijlaten.
- Ze raken vertrouwd met de opzet van de uitdagingen: het doel, de uitgangspositie, de beschikbare onderdelen en het gewenste resultaat dat de puzzel moet gaan opleveren nadat de startknop is ingedrukt.

- Ze oefenen met het op het speelbord plaatsen van de tuimelaars. Spelers zullen ontdekken dat de tuimelaars op twee manieren op het bord zijn te plaatsen; je kunt ze als het ware **omkeren**. De balletjes gaan óf aan de linkerkant naar beneden óf aan de rechterkant.

Tips bij mogelijke valkuilen:

- De knikkercomputers mogen nergens een balletje vrij naar beneden laten vallen. Balletjes kunnen in een onverwachte richting wegstuiteren als er een tuimelaar in de verkeerde richting wijst of als er ergens een onderdeel ontbreekt waardoor de balletjes niet helemaal netjes naar beneden worden begeleid.
- Als de knikkercomputer eenmaal is opgestart, is het niet de bedoeling dat de spelers het speelbord nog aanraken of op een andere manier de loop van de knikkers beïnvloeden. Ze hoeven alleen de startknop onderaan één keer in te drukken. Zodra er een balletje de onderkant bereikt, zal die de hefboom indrukken en er zo voor zorgen dat het volgende balletje wordt vrijgegeven.
- Let op dat de tuimelaars op twee manieren op het bord zijn te plaatsen. Tip: kijk dus goed welke kant een tuimelaar moet opwijzen voordat je die op het speelbord plaatst.

Uitdaging #2: Terugkeer



(pagina 16 in puzzelboek)

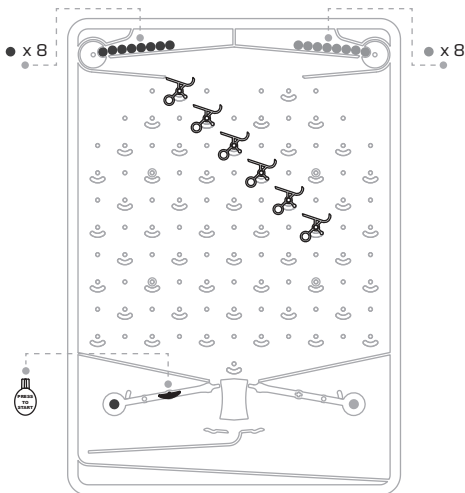
Uitdaging 2: Terugkeer

Doel: Zorg ervoor dat alle blauwe balletjes (en alleen de blauwe balletjes) het einde bereiken.

Resultaat:



Uitgangspositie



Beschikbare onderdelen



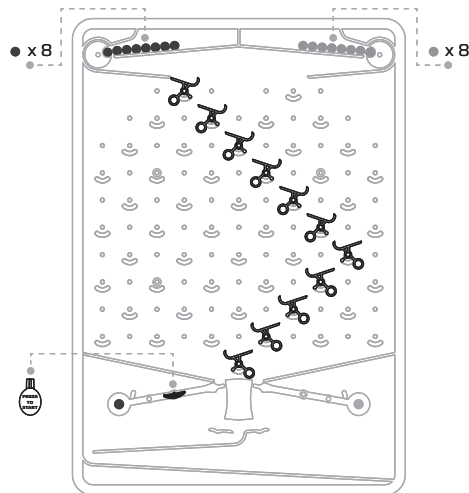
x 5

23

Oplossing van uitdaging 2

Uitleg: De uitgangspositie stuurt de ballen naar de rechterkant. Dat is een probleem! Als de ballen de rechter hefboom indrukken, dan komen er rode balletjes vrij, terwijl de opdracht is om alleen blauwe balletjes naar beneden te laten gaan.

Om deze puzzel op te lossen, moet je vijf tuimelaars zo plaatsen dat ze de balletjes terugleiden naar de linker hefboom.



23

Wat de spelers leren over computerlogica:

- De tuimelaar, het enige onderdeel dat in deze puzzel wordt gebruikt, heeft in dit spel een vergelijkbare rol als draden in een elektrisch circuit. De balletjes kun je vergelijken met elektriciteit. Als de spelers de tuimelaars op het speelbord plaatsen, maken ze een "weg" voor de balletje net zoals geleidende draden een "weg" vormen waar stroom door kan gaan.

Wat spelers leren over het spel:

- Dat de hefboomen onderaan via de achterkant van het speelbord zijn verbonden met de happertjes aan de bovenkant die een bal kunnen vrijlaten.
- Ze raken vertrouwd met de opzet van de uitdagingen: het doel, de uitgangspositie, de beschikbare onderdelen en het gewenste resultaat dat de puzzel moet gaan opleveren nadat de startknop is ingedrukt.

- Ze oefenen met het op het speelbord plaatsen van de tuimelaars. Spelers zullen ontdekken dat de tuimelaars op twee manieren op het bord zijn te plaatsen; je kunt ze als het ware **omkeren**. De balletjes gaan óf aan de linkerkant naar beneden óf aan de rechterkant.

Tips bij mogelijke valkuilen:

- Spelers plaatsen de tuimelaars misschien eerst op zo'n manier dat een balletje de rechter hefboom onderaan het bord indrukt. Dat is een mooi moment om te checken of ze goed naar de achterkant van het speelbord hebben gekeken. Moedig de leerlingen vervolgens aan om de tuimelaars zo te verplaatsen dat ze het balletje wél naar de linkerkant - de "blauwe" kant - sturen.

Uitdaging #3: Ontbranding



(pagina 17 in puzzelboek)

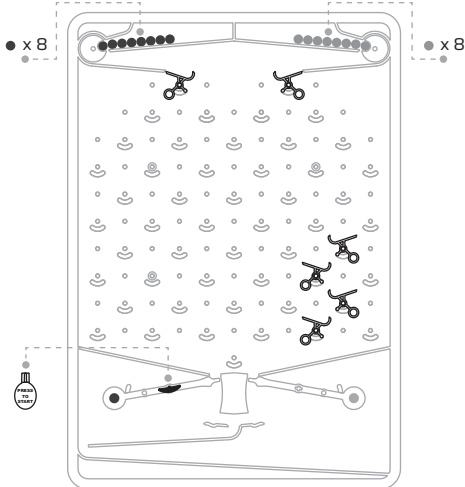
Uitdaging 3: Ontbranding

Doel: Laat één blauw balletje vrij en laat vervolgens alle rode balletjes vrij.

Resultaat:



Uitgangspositie



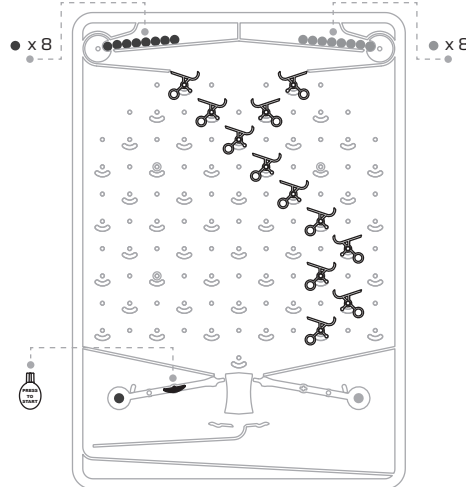
Beschikbare onderdelen



x 6

Oplossing van uitdaging 3

Uitleg: Bij deze puzzel moeten de tuimelaars de route voor de blauwe en rode balletjes samenbrengen en die route moet naar de rechter hefboom toe gaan. Er komt dan eerst een blauw balletje vrij en daarna alleen nog maar rode.



Wat de spelers leren over computerlogica:

- De tuimelaar, het enige onderdeel dat in deze puzzel wordt gebruikt, heeft in dit spel een vergelijkbare rol als draden in een elektrische schakeling. De balletjes kun je vergelijken met elektriciteit. Als de spelers de tuimelaars op het speelbord plaatsen, maken ze een "weg" voor de balletje net zoals geleidende draden een "weg" vormen waar elektrische stroom door kan gaan.

Wat spelers leren over het spel:

- Dat ze niet per se de rechter hefboom hoeven in te drukken om rode balletjes vrij te laten komen. Een blauw balletje kan er ook voor zorgen dat er een rood balletje vrijkomt en naar beneden gaat.

Tips bij mogelijke valkuilen:

- Soms vinden spelers het lastig om uit te vinden hoe ze één blauw balletje kunnen laten vrijkomen en daarna alleen maar rode. Herinner hen eraan dat het blauwe balletje vrijkomt als ze op de startknop drukken en dat ze vervolgens zelf kunnen bepalen welke kleur bal daarna wordt vrijgegeven door te kiezen richting welke hefboom ze de tuimelaars laten gaan.

Uitdaging #4: Fusie

(pagina 18 in puzzelboek)



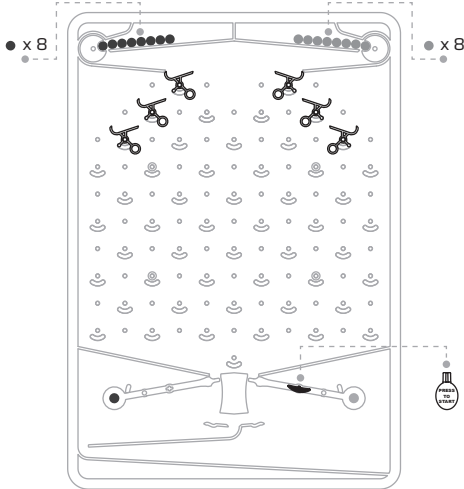
Uitdaging 4: Fusie

Doel: Laat één rood balletje vrij en laat vervolgens alle blauwe balletjes vrij.

Resultaat:



Uitgangspositie



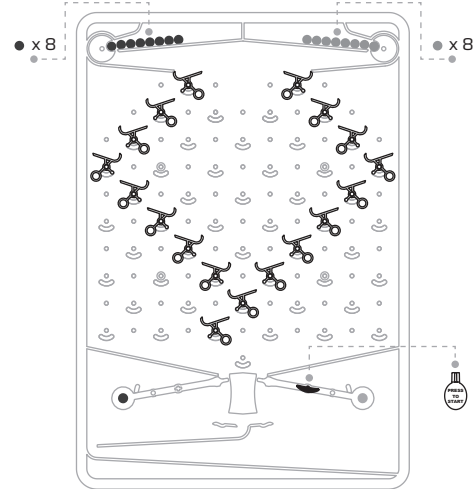
Beschikbare onderdelen



x 13

Oplossing van uitdaging 4

Uitleg: De wegen voor de rode en de blauwe balletjes moeten bij elkaar komen, maar in de uitgangspositie staan ze ver uit elkaar. Gebruik de tuimelaars om de paden weer bij elkaar te brengen en alle balletjes naar de linkerkant te sturen.



Wat de spelers leren over computerlogica:

- De tuimelaar, het enige onderdeel dat in deze puzzel wordt gebruikt, heeft in dit spel een vergelijkbare rol als draden in een elektrische schakeling. De balletjes kun je vergelijken met elektriciteit. Als de spelers de tuimelaars op het speelbord plaatsen, maken ze een "weg" voor de balletje net zoals geleidende draden een "weg" vormen waar stroom door kan gaan.

Wat spelers leren over het spel:

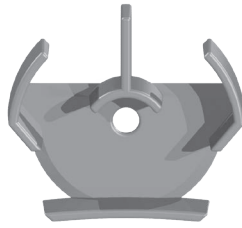
- Voor de startknop kun je een van beide hefboomen kiezen. Bij deze uitdaging moet je de startknop op de rechtheefboom plaatsen, zodat er als eerste een rood balletje vrijkomt.
- Zoals te lezen valt in het gedachtenwolkje kunnen spelers een puzzel soms oplossen met minder onderdelen dan vermeld onder het kopje "Beschikbare onderdelen". Je kunt leerlingen die de eerste puzzels makkelijk vinden uitdagen om de simpelste en elegantste oplossing te vinden.

Tips bij mogelijke valkuilen:

- Het kan lastig zijn voor leerlingen om uit te vinden hoe ze eerst een rood balletje kunnen laten vrijkomen en daarna alleen maar blauwe. Herinner hen eraan dat het rode balletje vrijkomt als ze op de startknop drukken en dat ze vervolgens zelf kunnen bepalen welke kleur bal daarna wordt vrijgegeven door te kiezen richting welke hefboom ze de tuimelaars laten gaan.
- Er zijn veel verschillende manieren om deze puzzel op te lossen. Het plaatje op de vorige pagina toont slechts een van de manieren waarop de tuimelaars te plaatsen zijn.

Computerlogica les #3: Kruisingen

In puzzel 5 tref je voor het eerst het onderdeel “kruising” aan. Dat ziet er zo uit:



De kruising maakt het mogelijk om twee routes voor de balletjes elkaar te laten kruisen. Een balletje dat er aan de linkerkant inkomt, komt er aan de rechterkant uit. Een balletje dat rechts erin komt, komt er juist links weer uit.

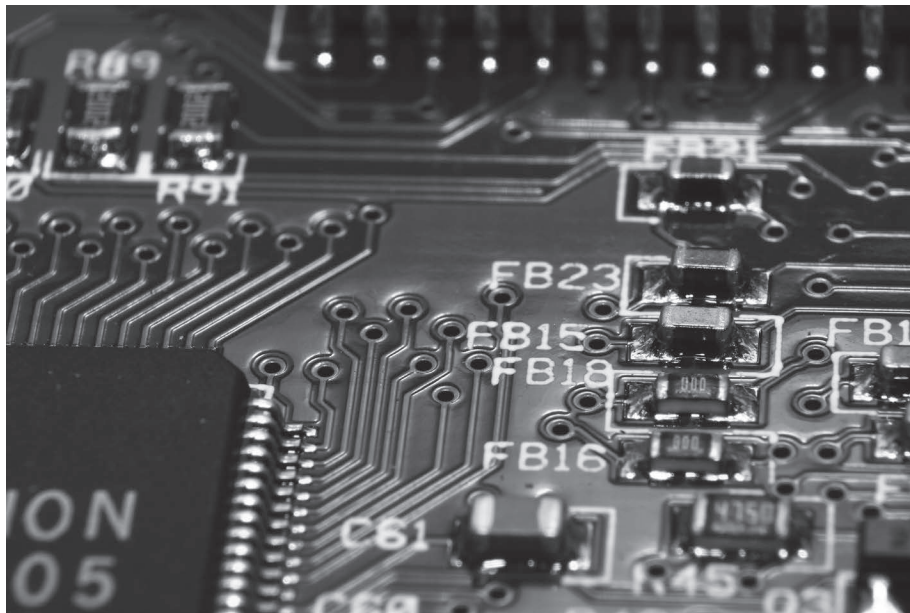
Hoe ziet een kruising er in een elektronische computer uit?

De kruising werkt hetzelfde als twee elektrische draden die elkaar kruisen, maar elkaar *niet* raken. Je kunt de kruisingen uit het spel ook vergelijken met viaducten en fly-overs waarmee auto's over andere wegen heen kunnen rijden. Complexe circuits voor computerchips maken is onmogelijk zonder dat er elektronische verbindingen opzitten die elkaar kruisen. Dus moeten ontwerpers er voor zorgen dat twee geleidende draadjes elkaar niet fysiek raken. Omdat je in Turing Tumble met kruisingen de routes van de blauwe en de rode balletjes elkaar zonder problemen kunt laten kruisen, bootsen ze dus iets na dat op een chip ook gebeurt.



In elektronische computers worden printplaten gebruikt om alle verbindingen stevig en veilig te fixeren op een specifieke plek. Een printplaat is gemaakt van een dun hard materiaal. Aan de bovenkant zit een laag met dunne koperen lijntjes, aangebracht als een zorgvuldig ontworpen patroon. De lijntjes zijn een soort draadjes die de elektronische onderdelen op de plaat verbinden.

Op een printplaat zit natuurlijk veel meer dan alleen elkaar kruisende draadjes. Er zitten ook transistors op, processors en veel meer. Hieronder zie je een voorbeeld van een printplaat. Op de foto zie je duidelijk allerlei koperen lijntjes tussen alle elektronische onderdelen:



Maar hoe kunnen die koperen verbindingen elkaar kruisen zonder elkaar te raken als ze op een printplaat allemaal op een plat oppervlak liggen? Om dat mogelijk te maken bestaan de meeste printplaten uit meerdere lagen met koperen draadjes met daartussen steeds een niet-geleidende laag. Kleine gaatjes, zogenoemde *vias*, verbinden koperen draadjes die op verschillende lagen zitten. Op het plaatje hierboven zie je veel van zulke gaatjes die het mogelijk maken om koperen draadjes over andere heen of onder andere door te laten gaan zonder dat ze elkaar aanraken. Zelfs op een chip die uit slechts één laag bestaat, kunnen de koperen verbindingen elkaar kruisen. Daarvoor worden "springende draadjes" gebruikt, in het Engels "jumper wires" genoemd. Dat is een koperen draadje dat bovenop een chip wordt gesoldeerd en over een ander koperen draadje heengaat zonder dat te raken.

In computerchips zitten ook meerdere lagen met kleine koperen draadjes die over elkaar heen gaan.

Uitdaging #5: Entropie

(pagina 21 in puzzelboek)



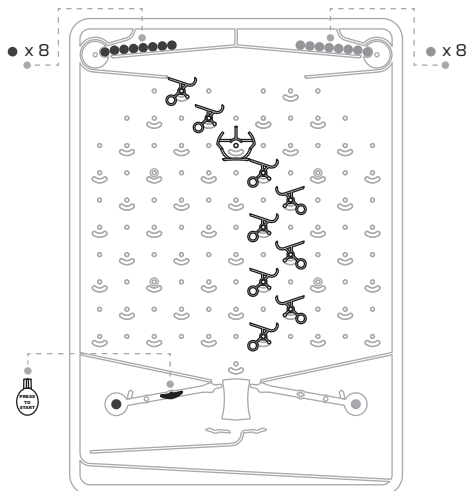
Uitdaging 5: Entropie

Doel: Maak het volgende patroon: blauw, rood, blauw, rood, blauw, rood...

Resultaat:



Uitgangspositie



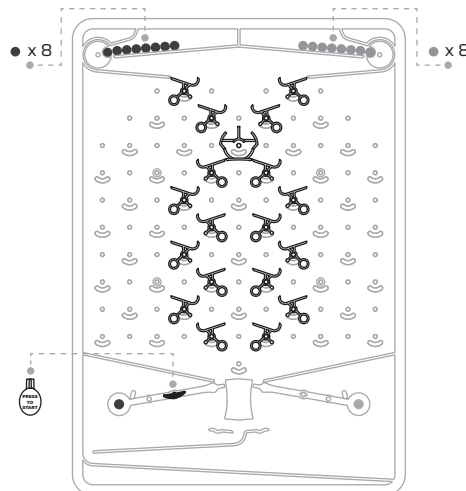
Beschikbare onderdelen



x 9

Oplossing van uitdaging 5

Uitleg: Bij deze puzzel moet je zelf een route maken voor de rode balletjes naar de hefboom links onderaan het speelbord. Het is de bedoeling dat je de kruising gebruikt om de route van de blauwe balletjes te kruisen.



Wat de spelers leren over computerlogica:

- De kruising in dit spel is de mechanische versie van twee geleidende draadjes op een printplaat die elkaar kruisen zonder elkaar te raken. In elektronische circuits worden koperen draadjes gebruikt om onderdelen op een printplaat met elkaar te verbinden. Die draadjes gaan om elkaar heen of onder andere lijntjes door of over andere draadjes heen om elektrische stroom de goede kant op te sturen.
- Printplaten bestaan vaak uit meerdere lagen met koperen draadjes erop met daartussen steeds een niet-geleidende laag. Die draadjes kunnen elkaar zonder problemen kruisen als ze op verschillende lagen zitten. Zelfs op een chip die uit slechts één laag bestaat, kunnen de koperen verbindingen elkaar kruisen. Daarvoor worden "springende draadjes" gebruikt, in het Engels "jumper wires" genoemd. Dat is een koperen draadje dat bovenop een chip wordt gesoldeerd en over een ander koperen draadje heen gaat zonder dat te raken.

Wat spelers leren over het spel:

- Spelers oefenen met het plaatsen van een kruising op het speelbord.
- Ze ervaren hoe een kruising werkt. Ze zien dat een balletje dat er aan de linkerkant in gaat, er aan de rechterkant uit komt. En dat een balletje dat er rechts ingaat, er juist links weer uit komt.
- Ze versterken hun begrip over hoe de hefboomen onderaan op het speelbord ervoor zorgen dat er bovenaan een balletje vrijkomt.

Tips bij mogelijke valkuilen:

- Bij deze puzzel moeten leerlingen de startknop weer op de linker hefboom plaatsen.
- Als je het spelonderdeel kruising op het speelbord plaatst, moet de "glimlach" aan de achterkant van de oranje kruising in de "glimlach" op het bord vallen. Duw dat uitstekende stukje helemaal in het speelbord. Zie ook pagina 29.
- Bij een mechanische computer is de precieze positie van de onderdelen belangrijk. Spelers zullen merken dat de balletjes wat minder voorspelbaar bewegen als ze de onderdelen niet goed aandrukken.

Uitdaging #6: Complete interne reflectie



(pagina 22 in puzzelboek)

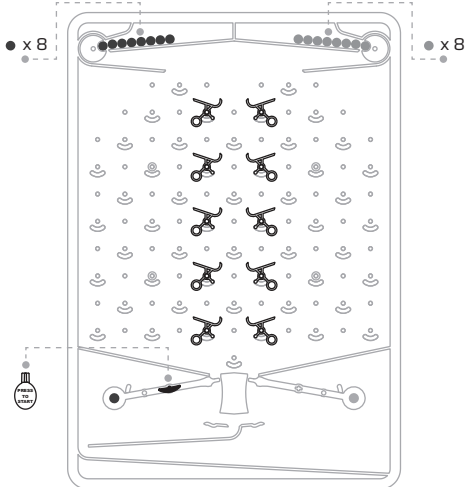
Uitdaging 6: Complete interne reflectie

Doel: Maak het volgende patroon: blauw, rood, blauw, rood, blauw, rood...

Resultaat:



Uitgangspositie



Beschikbare onderdelen

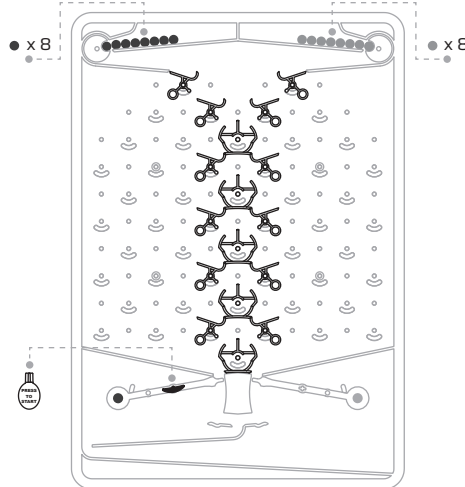
 x 2

 x 5

Oplossing van uitdaging 6

Uitleg: De routes voor de blauwe en rode balletjes kruisen elkaar vijf keer. Bij elk kruispunt moet een kruising worden geplaatst.

In de vorige twee puzzels kruisten de routes elkaar één en drie keer. Eén, drie en vijf zijn allemaal oneven getallen. Wat zou er gebeuren als de routes elkaar een even aantal keer kruisen?



Wat de spelers leren over computerlogica:

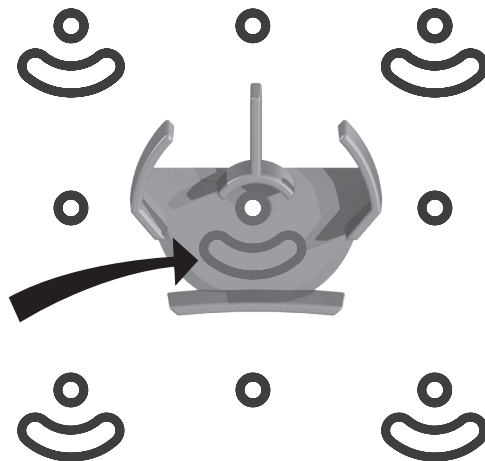
- De kruising in dit spel is de mechanische versie van twee geleidende draadjes op een printplaat die elkaar kruisen zonder elkaar te raken. In elektronische circuits worden koperen draadjes gebruikt om onderdelen op een printplaat met elkaar te verbinden. Die draadjes gaan om elkaar heen of onder andere draadjes door of over andere draadjes heen om elektrische stroom de goede kant op te sturen.
- Printplaten bestaan vaak uit meerdere lagen met koperen draadjes erop met daartussen steeds een niet-geleidende laag. Die draadjes kunnen elkaar zonder problemen kruisen als ze op verschillende lagen liggen. Zelfs op een chip die uit slechts één laag bestaat, kunnen de koperen verbindingen elkaar kruisen. Daarvoor worden "springende draadjes" gebruikt, in het Engels "jumper wires" genoemd. Dat is een koperen draadje dat bovenop een chip wordt gesoldeerd en over een ander koperen draadje heen gaat zonder dat te raken.

Wat spelers leren over het spel:

- Deze uitdaging levert hetzelfde eindresultaat als bij uitdaging 5, maar het is een elegantere en simpelere oplossing.
- Spelers oefenen het plaatsen van de kruisingen op het speelbord.
- Ze versterken hun begrip over hoe de hefboomen onderaan op het speelbord ervoor zorgen dat er bovenaan een balletje vrijkomt.

Tips bij mogelijke valkuilen:

- Als je het spelonderdeel kruising op het speelbord plaatst, moet de "glimlach" aan de achterkant van de oranje kruising in de "glimlach" op het bord vallen. Duw dat uitstekende stukje helemaal in het speelbord.
- Bij een mechanische computer is de precieze positie van de onderdelen belangrijk. Spelers zullen merken dat de balletjes wat minder voorspelbaar bewegen als ze de onderdelen niet goed aandrukken.



Uitdaging #7: Weg van de minste weerstand



(pagina 23 in puzzelboek)

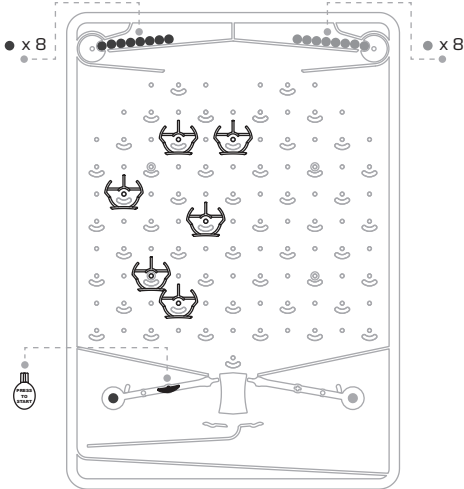
Uitdaging 7: Weg van de minste weerstand

Doel: Maak een route voor de blauwe balletjes zodat ze met slechts 6 tuimelaars het juiste resultaat bereiken.

Resultaat:



Uitgangspositie



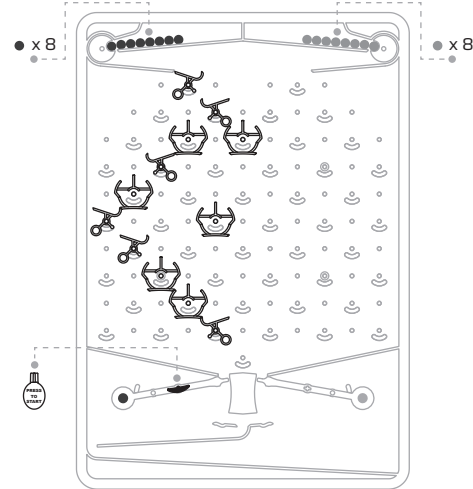
Beschikbare onderdelen



x 6

Oplossing van uitdaging 7

Uitleg: Deze uitdaging is wat lastiger dan de vorige. Bovenaan moet je een keuze maken: laat je de bal naar de rechterkant of linkerkant gaan. In deze puzzel is het de bedoeling dat je de route naar links kiest.



Wat de spelers leren over computerlogica:

- De kruising in dit spel is de mechanische versie van twee geleidende draadjes op een printplaat die elkaar kruisen zonder elkaar te raken. In elektronische circuits worden koperen draadjes gebruikt om onderdelen op een printplaat met elkaar te verbinden. Die draadjes gaan om elkaar heen of onder andere draadjes door of over andere draadjes heen om elektrische stroom de goede kant op te sturen.
- Printplaten bestaan vaak uit meerdere lagen met koperen draadjes erop met daartussen steeds een niet-geleidende laag. Die draadjes kunnen elkaar zonder problemen kruisen als ze op verschillende lagen liggen. Zelfs op een chip die uit slechts één laag bestaat, kunnen de koperen verbindingen elkaar kruisen. Daarvoor worden "springende draadjes" gebruikt, in het Engels "jumper wires" genoemd. Dat is een koperen draadje dat bovenop een chip wordt gesoldeerd en over een ander koperen draadje heen gaat zonder dat te raken.

Wat spelers leren over het spel:

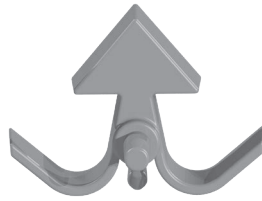
- De spelers hoeven niet alle onderdelen te gebruiken. Af en toe staan er bij de uitgangspositie onderdelen weergegeven die niet nodig zijn voor het oplossen van de puzzel.

Tips bij mogelijke valkuilen:

- Bij deze uitdaging staan onderdelen weergegeven bij de startpositie die je niet hoeft te gebruiken. Moedig spelers aan om na te denken over een route die nuttig gebruik maakt van zoveel mogelijk kruisingen.

Computerlogica les #4: Bits

In puzzel 8 wordt het onderdeel "bit" geïntroduceerd. Dat ziet er zo uit:



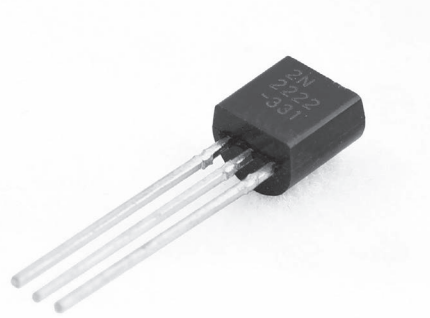
Deze bits zijn de mechanische versie van elektronische schakelaars binnenin computers. Zulke schakelaars maken het mogelijk om te kiezen welke kant de stroom op gaat afhankelijk van de begintoestand. De mechanische schakelaars laten je kiezen naar welke kant een balletje toerolt door de bit in de startpositie een specifieke kant op te laten wijzen.

In dit spel moet je vaak kiezen in welke richting een bit wijst voordat je de knikkercomputer opstart. Moet de bit naar links of naar rechts wijzen? Als je voor links kiest, dan zal het eerstvolgende balletje naar rechts vallen. Als je voor rechts kiest, valt het eerstvolgende balletje juist naar links.

Anders dan bij elektronische bits gaan de blauwe bits in dit spel een andere richting opwijzen als er een balletje doorheen is gegaan. In de bits zit geen tegengewicht zoals bij de tuimelaars dat ervoor zorgt dat ze teruggaan naar hun oorspronkelijke positie.

Hoe zien bits eruit in een elektronische computer?

De meest basale elektronische schakelaar in een computer heet "transistor". Transistors zijn meestal extreem klein. Degene die je hieronder ziet, zit in een relatief grote plastic behuizing om er makkelijker elektronische schakelingen mee te kunnen maken (deze transistor is overigens nog steeds niet groter dan de grootte van de nagel van je pink):



Zie je dat de transistor drie pootjes heeft? Eén pootje heeft een soort regelfunctie. Als je spanning op dat regel-pootje zet, wordt er elektriciteit "ingeduwd". De hoeveelheid stroom die over het regel-pootje loopt, bepaalt of er elektriciteit via het tweede pootje de transistor in kan stromen en via het derde pootje er weer uit kan gaan en zoja, hoeveel.

Dat is cool, maar hoe kan een schakelaar nu informatie opslaan? Dat blijkt te kunnen met vier transistors. Als je die op een bepaalde manier met elkaar verbindt, creëer je een kleine schakeling die *onthoudt* of die aan of uit is gezet, zelfs als er geen stroom meer door het regel-pootje gaat. Zo'n schakeling wordt een "flip-flop" genoemd. Het is een van de belangrijkste bouwstenen van een computer. Om informatie op te slaan in het geheugen gebruikt een computer miljarden flip-flops.

Hoe zien bits eruit in een programmeertaal?

Als je bits gebruikt om informatie op te slaan, dan werken ze als variabelen in een programmeertaal. Uiteraard is er met één bit niet zoveel informatie op te slaan. Alleen een 0 of een 1. Maar als je meerdere bits combineert en samen gebruikt als een variabele, dan kunnen ze cijfers, letters of allerlei andere dingen voorstellen.

Verder werken bits hetzelfde als het meest basale commando in programmeertalen: het "als"-statement. Je kunt de werking van een enkele bit dan ook zo beschrijven:

```
Als (bit.richting = rechts) Dan
    bal.stuur_links()
Anders
    bal.stuur_rechts()
```

In het Engels, wat in veel programmeertalen wordt gebruikt, zou dat er zo uit kunnen zien:

```
If (bit.direction = right) Then
    ball.send_left()
Else
    ball.send_right()
```

Uitdaging #8: Depolarisatie



(pagina 26 in puzzelboek)

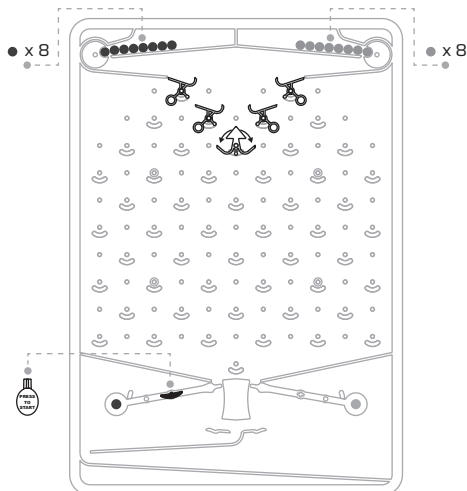
Uitdaging 8: Depolarisatie

Doel: Maak het volgende patroon: blauw, rood, blauw, rood, blauw, rood...

Resultaat:



Uitgangspositie



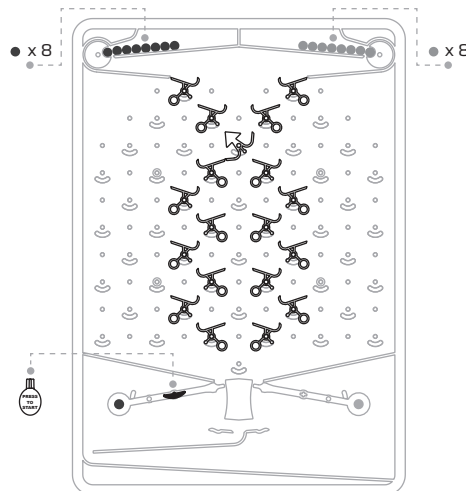
Beschikbare onderdelen



x 14

Oplossing van uitdaging 8

Uitleg: In deze puzzel gebruik je een bit om afwisselend een rode en een blauwe bal vrij te geven.



Wat de spelers leren over computerlogica:

- Bits zijn mechanische versies van elektronische schakelaars binnenin computers. In computers bepalen elektronische schakelaars de route voor elektrische stroom. Bij Turing Tumble bepaalt de richting waarin de bit wijst naar welke kant het balletje rolt. Als een bit naar links wijst, zal het balletje naar rechts vallen. Als de bit naar rechts wijst, zal het balletje juist aan de linkerkant verder rollen. Bits in Turing Tumble werken overigens niet helemaal hetzelfde als schakelaars op computerchips, omdat ze elke keer als er een balletje overheen rolt van richting veranderen.

Wat spelers leren over het spel:

- De beginpositie van een bit is erg belangrijk. Als een bit naar links wijst, zal het balletje aan de rechterkant eraf rollen. Wijst de bit naar rechts, dan valt het balletje juist naar links. Spelers moeten bij deze uitdaging zelf de beginpositie van de bit kiezen.

- Als er een balletje via een bit naar beneden rolt, verandert de bit van richting en blijft die vervolgens in die richting staan. In de bits zit geen tegengewicht zoals bij de tuimelaars dat ervoor zorgt dat ze teruggaan naar hun oorspronkelijke positie.

Tips bij mogelijke valkuilen:

- Bij de uitgangspositie wordt de bit met het pijltje omhoog getoond met twee ronde pijltjes ernaast, eentje die naar links wijst en eentje die naar rechts wijst. Als de bit zo getekend is, moet de speler zelf *kiezen* in welke richting hij de bit laat wijzen bij de start van het spel.
- Moedig spelers aan om met hun vinger aan te wijzen hoe het balletje via de verschillende onderdelen naar beneden rolt en om goed te kijken naar het verschil tussen de tuimelaars, die door het tegengewicht teruggaan naar hun oorspronkelijke positie, en de bit, die van richting verandert als er een balletje overheen rolt.

Uitdaging #9: Dimeren

(pagina 27 in puzzelboek)



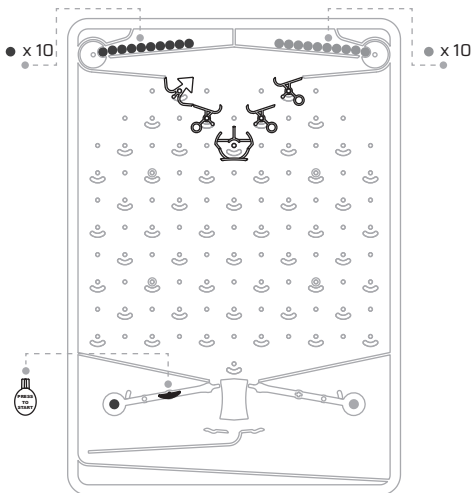
Uitdaging 9: Dimeren

Doel: Maak het volgende patroon: blauw, blauw, rood, blauw, blauw, rood...

Resultaat:



Uitgangspositie



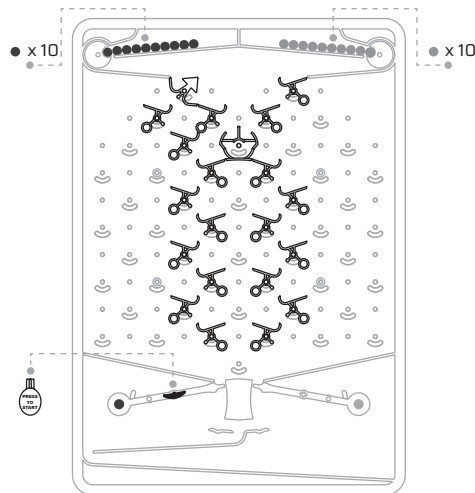
Beschikbare onderdelen

 x 18

Oplossing van uitdaging 9

Uitleg: Bij deze uitdaging zorgt elk rood balletje ervoor dat er een blauw balletje vrijkomt. Echter, slechts de helft van de blauwe balletjes laat een rood balletje vrijkomen.

Zie je hoe de bit de blauwe balletjes over twee routes verdeelt? Dit wordt belangrijk bij de volgende puzzels!



Wat de spelers leren over computerlogica:

- Bits zijn mechanische versies van elektronische schakelaars binnenin computers. In computers bepalen elektronische schakelaars de route voor elektrische stroom. Bij Turing Tumble bepaalt de richting waarin de bit wijst de kant waar het balletje naar toe rolt. Als een bit naar links wijst, zal het balletje naar rechts vallen. Als de bit naar rechts wijst, zal het balletje juist aan de linkerkant verder rollen. Bits in Turing Tumble werken overigens niet helemaal hetzelfde als schakelaars op computerchips, omdat ze elke keer als er een balletje overheen rolt van richting veranderen.

Wat spelers leren over het spel:

- De beginpositie van de bit is erg belangrijk. Bij deze uitdaging kan de speler *niet* zelf de richting kiezen. In de getekende uitgangspositie wijst de bit naar rechts. Dat betekent dat de bal er aan de linkerkant afrolt.

- Als er een balletje via een bit naar beneden rolt, verandert de bit van richting en blijft die vervolgens in die richting staan. In de bits zit geen tegengewicht zoals bij de tuimelaars dat ervoor zorgt dat ze teruggaan naar hun oorspronkelijke positie.
- De tekening van de uitgangspositie toont ook hoeveel ballen er nodig zijn. Dit is de eerste uitdaging die tien in plaats van acht balletjes gebruikt.
- Het tegelijk gebruiken van de bit en de kruising maakt het genereren van een complexer patroon mogelijk, omdat je daarmee de balletje op het speelbord drie verschillende kanten op kunt sturen.

Tips bij mogelijke valkuilen:

- Op de tekening van de uitgangspositie wijst het symbool voor de bit naar rechts. Bij deze uitdaging kan de speler *niet* zelf de richting kiezen waarnaar de bit wijst. De bit moet naar rechts wijzen aan het begin van het spel.
- Dit is de eerste keer dat spelers de bit en de kruising tegelijk gebruiken. Het kost misschien even tijd om uit te vinden hoe de bal naar beneden gaat als de bit naar rechts wijst (uitgangspositie) versus hoe de bal naar beneden gaat als de bit naar links wijst. Moedig spelers aan om hun wijsvinger te gebruiken om de routes van de balletjes te voorspellen.

Uitdaging #10: Dubbele band



(pagina 28 in puzzelboek)

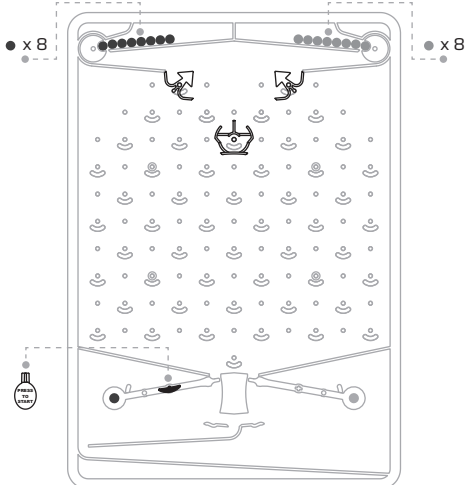
Uitdaging 10: Dubbele band

Doel: Maak het volgende patroon: blauw, blauw, rood, rood, blauw, blauw, rood, rood...

Resultaat:



Uitgangspositie



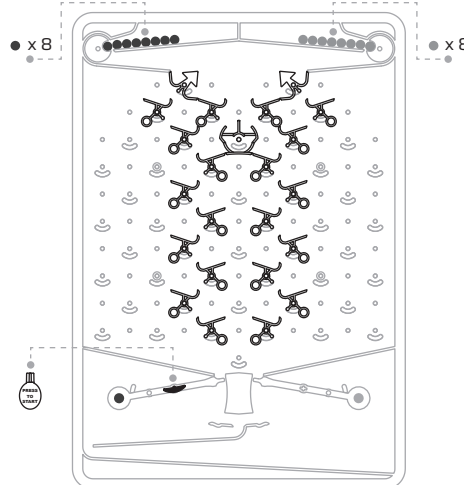
Beschikbare onderdelen



x 22

Oplossing van uitdaging 10

Uitleg: Deze keer komen zowel de blauwe als de rode balletjes een bit tegen op hun route. Deze bits laten de balletjes om en om naar links en naar rechts gaan.



Wat de spelers leren over computerlogica:

- Bits zijn mechanische versies van elektronische schakelaars binnenin computers. In computers bepalen elektronische schakelaars de route voor elektrische stroom. Bij Turing Tumble bepaalt de richting waarin de bit wijst de kant waar het balletje naar toe rolt. Als een bit naar links wijst, zal het balletje naar rechts vallen. Als de bit naar rechts wijst, zal het balletje juist aan de linkerkant verder rollen. Bits in Turing Tumble werken overigens niet helemaal hetzelfde als schakelaars op computerchips, omdat ze elke keer als er een balletje overheen rolt van richting veranderen.

Wat spelers leren over het spel:

- De beginpositie van de bit is erg belangrijk. Bij deze uitdaging kunnen de spelers de benodigde beginpositie uit de tekening aflezen.
- Als er een bal via een bit naar beneden rolt, verandert de bit van richting en blijft die vervolgens in die richting staan. In de bits zit geen tegengewicht

zoals bij de tuimelaars dat ervoor zorgt dat ze teruggaan naar hun oorspronkelijke positie.

- De tekening van de uitgangspositie laat ook zien hoeveel balletjes er nodig zijn. Bij deze uitdaging zijn acht balletjes per kleur weer genoeg.
- Twee bits maken het genereren van een complexer patroon mogelijk, omdat je daarmee de balletje op het speelbord vier verschillende kanten op kunt sturen.

Tips bij mogelijke valkuilen:

- Op de tekening van de uitgangspositie wijst het symbool voor de bit aan de ene kant naar rechts en aan de andere kant naar links. Bij deze uitdaging kan de speler *niet* zelf de richting kiezen waarnaar de bits wijzen.
- Aan de bovenkant van het speelbord zijn er vier routes voor de balletjes. Toch zijn er onderaan het bord maar twee routes nodig: eentje die naar de blauwe linker hefboom leidt en eentje die naar de rode rechter hefboom leidt.

Uitdaging #11: Selectiviteit

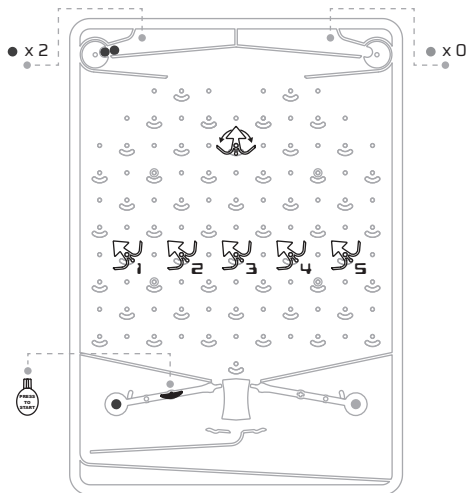


(pagina 29 in puzzelboek)

Uitdaging 11: Selectiviteit

Doel: Laat bits 2 en 5 naar rechts kantelen.

Uitgangspositie



Beschikbare onderdelen

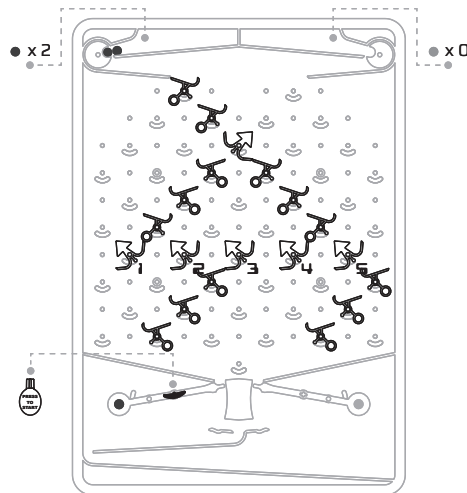


x 15

23

Oplossing van uitdaging 11

Uitleg: De bovenste bit verdeelt de blauwe balletjes over twee routes. De ene route leidt naar bit 2, de andere naar bit 5.



23

Wat de spelers leren over computerlogica:

- Bits zijn mechanische versies van elektronische schakelaars binnenin computers. In computers bepalen elektronische schakelaars de route voor elektrische stroom. Bij Turing Tumble bepaalt de richting waarin de bit wijst de kant waar het balletje naar toe rolt. Als een bit naar links wijst, zal het balletje naar rechts vallen. Als de bit naar rechts wijst, zal het balletje juist aan de linkerkant verder rollen. Bits in Turing Tumble werken overigens niet helemaal hetzelfde als schakelaars op computerchips, omdat ze elke keer als er een balletje overheen rolt van richting veranderen.

Wat spelers leren over het spel:

- De tekening van de uitgangspositie laat zien hoeveel balletjes er nodig zijn. Voor deze uitdaging gebruik je slechts twee blauwe balletje, niet meer.

- De beginpositie van een bit is erg belangrijk. Als een bit naar links wijst, rolt het balletje er aan de rechtekant af. Als een bit naar rechts wijst, valt het balletje naar links. In deze uitdaging kunnen de spelers alleen de startpositie van de bovenste bit zelf kiezen. Aan het begin van het spel moeten de bits 1 tot en met 5 allemaal naar links wijzen.
- Spelers hoeven de balletjes niet door elk onderdeel op het speelbord te laten gaan.

Tips bij mogelijke valkuilen:

- De tekening van de uitgangspositie laat zien hoeveel balletjes er nodig zijn. Voor deze uitdaging gebruik je slechts twee blauwe balletje, niet meer.
- Op de tekening van de uitgangspositie staan onderdelen waar de balletjes nooit doorheen gaan.