

Nieuws [Reacties](#) woensdag 3 december 2014 Dit is een publicatie van Kennislink

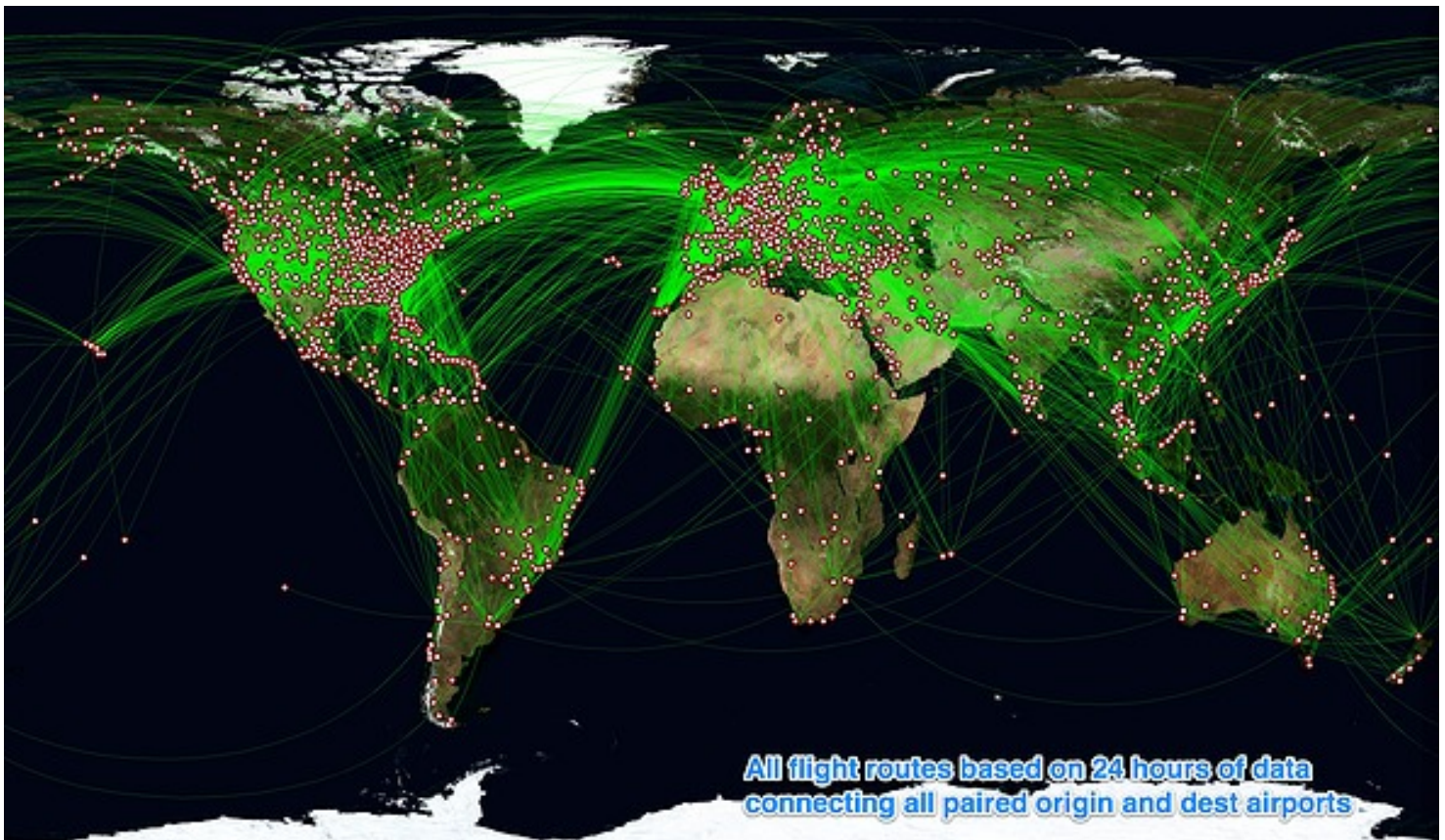
Iedereen is je Facebook-vriend-van-een-vriend-van-een-vriend-van-een-vriend.

Rekenen aan *random* netwerken

Het internet, Facebook, of een epidemie: het zijn voorbeelden van netwerken die zo groot en veranderlijk zijn, dat we ze nooit exact in kaart zullen kunnen brengen. Maar als iets te groot is om tot in detail te kennen, kun je die details altijd nog met een dobbelsteen invullen. Zulke *random* netwerken leveren toch bruikbare inzichten op over de echte wereld.

door [Arnout Jaspers](#)

Onze moderne maatschappij draait op netwerken voor vervoer, energie en data die steeds complexer worden. Het is een enorme klus om ervoor te zorgen dat iedereen mobiel kan blijven bellen en naar hartenlust internetten. Eigenlijk weten we nog onvoldoende hoe we zulke complexe netwerken het beste kunnen aansturen en bestand kunnen maken tegen onverwachte storingen.



Het wereldwijde web van vliegverbindingen.

Onvolledige informatie

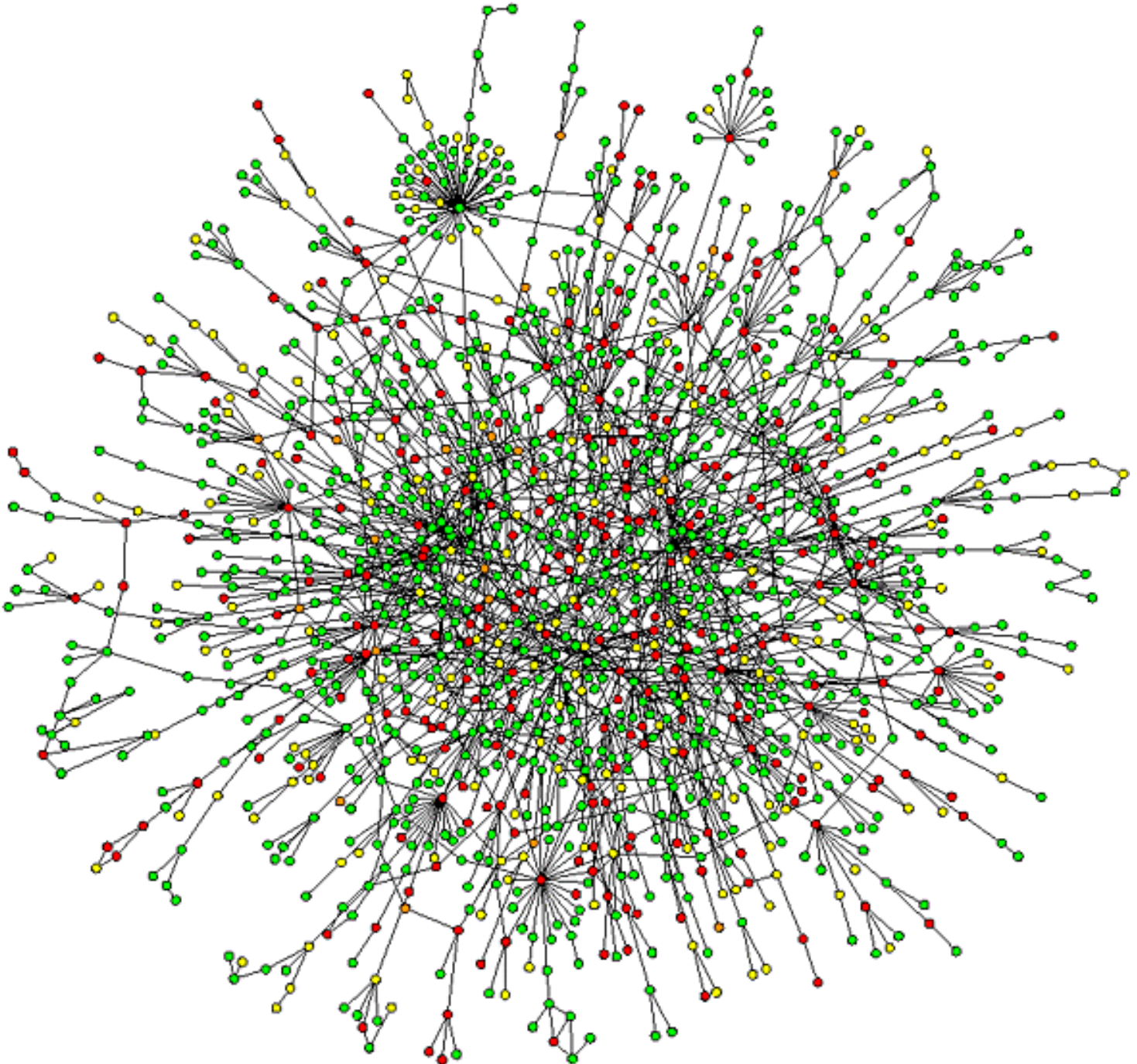
Het managen van netwerken wordt een stuk moeilijker als nergens volledige informatie over de toestand van het netwerk beschikbaar is. Niemand weet hoe druk het nu is op elk knooppunt van het internet. Langs welke route moet ik dan mijn data versturen om ze zo snel mogelijk aan te laten komen? Je kunt het vergelijken met het in goede banen leiden van een groot publieksevenement: als je wilt dat de mensenmassa optimaal doorstroomt terwijl niemand in het gedrang komt, volgens welke vuistregel moet ik, deelnemer en individu dat geen overzicht heeft over het geheel, mij dan gedragen?

Volgens Michel Mandjes, wiskundige aan de Universiteit van Amsterdam (UvA) en het Centrum Wiskunde & Informatica (CWI), is dit de hamvraag bij de analyse van complexe netwerken: "Zijn er regels te vinden die lokaal gelden, maar die ervoor zorgen dat het hele netwerk optimaal functioneert?" In het geval van de mensenmassa luidt regel 1: *Niet duwen*, maar dat is slechts een kwestie van gezond verstand.

Om dieper inzicht te krijgen in zulke complexe netwerken, vormde Mandjes met wiskundigen van diverse Nederlandse universiteiten onder de naam NETWORKS een samenwerkingsverband, dat vorig jaar 23 miljoen euro onderzoeksgeld kreeg voor de komende jaren. Op een symposium bij de KNAW, de Koninklijke Academie van Wetenschappen, kwamen op 28 november diverse onderzoekers vertellen waar ze mee bezig zijn.

Facebook-relaties

Elk netwerk – of het nu autoverkeer, brieven of bytes vervoert – wordt in de wiskunde voorgesteld door een graaf, een abstract ding dat bestaat uit een aantal knooppunten of knopen, en elke knoop kan verbonden zijn met een of meer andere knopen door een lijn (in het Engels heten die respectievelijk: *vertex* en *edge*). Als de graaf het Europese elektriciteitsnet voorstelt zijn de knopen elektriciteitscentrales en de lijnen hoogspanningsleidingen; als het een graaf is van Facebook, zijn de knopen Facebook-pagina's en de lijnen Facebook-vriendschapsrelaties.



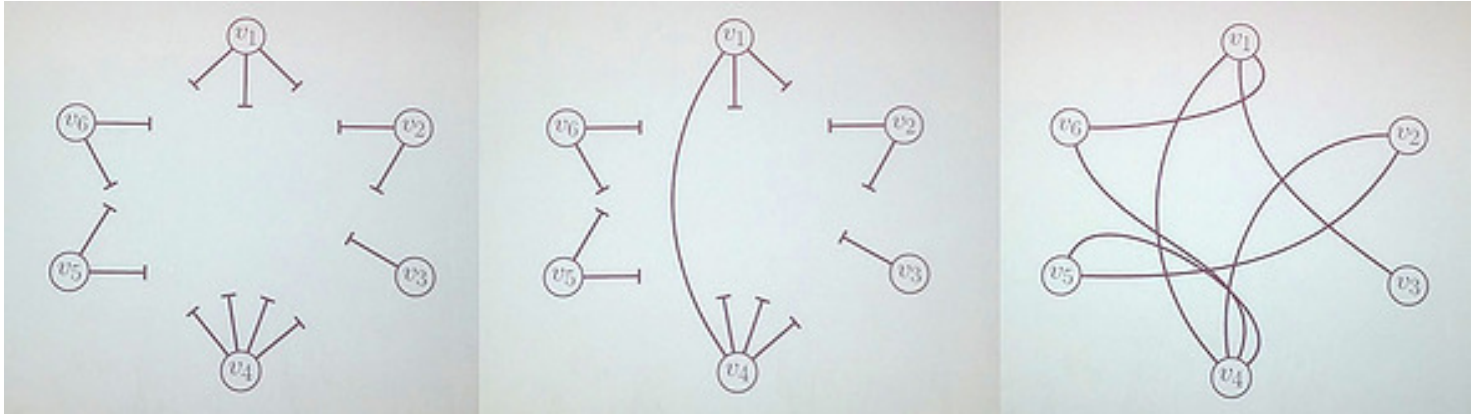
Het netwerk van eiwitten in een levende cel. De knooppunten zijn eiwitten, er is een verbinding als de twee op enig moment in de levenscyclus van een cel een chemische reactie met elkaar aangaan.

 Duke University

Traditioneel bestudeerden wiskundigen grafen met een klein aantal knopen, of grafen met een heel regelmatige structuur, bijvoorbeeld een 'matje' waarin elke knoop met zijn vier naaste burens verbonden is. Ook dan kan het heel moeilijk zijn om bepaalde eigenschappen van grafen te bewijzen, maar in ieder geval beschik je over alle relevante informatie.

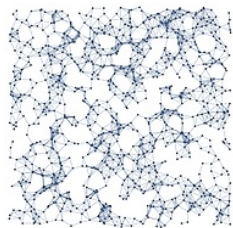
Maar met deze aanpak kom je niet ver als je het Word Wide Web of Facebook wilt analyseren. Zulke netwerken zijn zo groot dat je geen volledige lijst met knooppunten en verbindingen kunt opstellen, te meer omdat ze voortdurend veranderen. Niemand weet hoeveel webpagina's er online zijn, maar het zijn er zeker vele miljarden, en het aantal links tussen die pagina's is nog veel groter.

Het beste model voor zulke complexe netwerken blijkt een random graaf te zijn, een netwerk waarin je (binnen bepaalde randvoorwaarden) willekeurige knopen met elkaar verbindt.



Het construeren van een random graaf met zes knopen.

Hoewel zo'n netwerk op kleine schaal bekeken een chaos is, voldoet het op grote schaal toch aan interessante wetmatigheden. Neem bijvoorbeeld de vraag of een netwerk samenhangend is. Dat wil zeggen: kan je vanuit elk knooppunt via de verbindingen elk ander knooppunt bereiken? De theorie van random grafen zegt, dat er een omslagpunt ligt bij gemiddeld één verbinding per knooppunt. Is het aantal verbindingen minder dan 1, dan valt het netwerk als los zand uit elkaar. Is het aantal groter dan 1, dan zal het overgrote deel van het netwerk samenhangen (dit heet de reuzecomponent). De rest bestaat uit 'stof', een stel relatief piepkleine, onderling niet verbonden netwerkjes.



Detail van een random graaf.

Mathematica

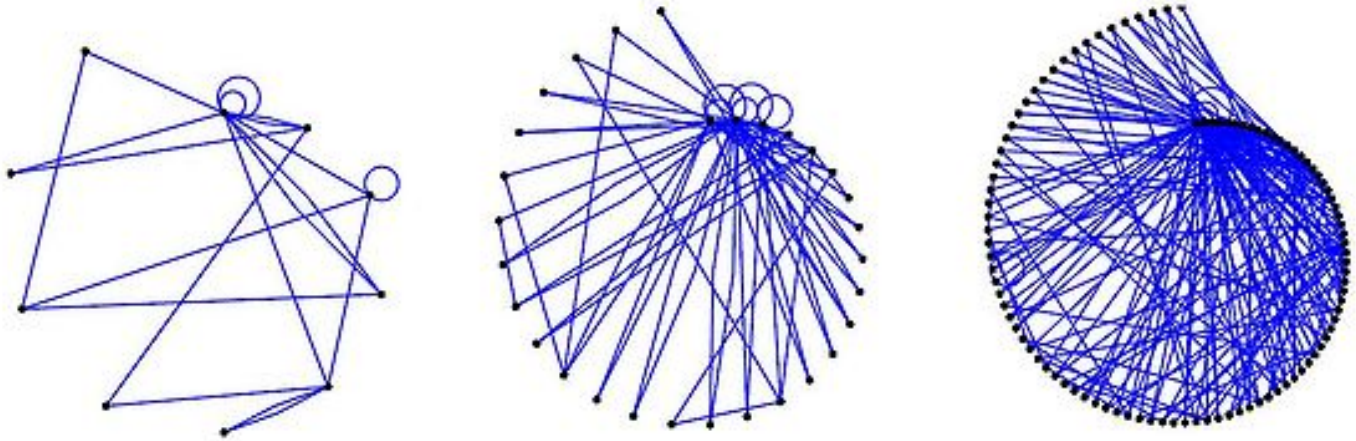
Hoe zit dat met Facebook? Iedereen mag zelf een Facebook-pagina beginnen, je hoeft Marc Zuckerberg er niet voor te kennen, of wie dan ook die al lid is van Facebook. Het is daarom denkbaar, dat Facebook had bestaan uit een groot aantal losse vriendennetwerkjes. Dat geldt bijvoorbeeld voor het denkbeeldige netwerk van leden van voetbalclubs: vrijwel niemand is lid van meer dan één voetbalclub, de meeste fanclubs zullen wat dat betreft eilandjes zijn.

Maar Facebook voldoet keurig aan de voorspelling voor een random graaf. Uit een groot onderzoek in 2011 bleek dat 99,91% van alle destijds 721 miljoen Facebook-gebruikers in de reuzecomponent zitten. Iets meer dan een half miljoen Facebookers vielen daar buiten. Het grootste netwerk in het 'stof' had maar tweeduizend leden, de rest was nog kleiner. Sindsdien is Facebook nog een stuk groter geworden; het heeft nu ruim een miljard gebruikers, maar de eigenschappen van zulke enorme netwerken veranderen niet of nauwelijks als ze groeien.

Reuzecomponent

Een andere wezenlijke vraag over een netwerk: is het een 'kleine wereld'? Het concept van de kleine wereld werd bekend door de experimenten van Stanley Milgram in de jaren zestig. Die vroeg een paar honderd proefpersonen om een brief aan een hen onbekend persoon ergens in de VS te sturen, door hem te posten naar de vriend waarvan ze dachten dat die de beste kans maakte om de brief dichterbij de bedoelde persoon te brengen. De brieven die aankwamen – een minderheid – waren meestal vijf of zes keer doorgestuurd voor ze hun bestemming bereikten. Het idee, dat ieder mens op deze wereld via een stuk of vijf tussenpersonen ieder ander mens kent, is daarna in experimenten met e-mail bevestigd en gemeengoed geworden.

Facebook blijkt zelfs nog kleiner: iedereen in de reuzecomponent kan in ongeveer vier stappen elke andere Facebooker bereiken. Dus als jij op Facebook zit, zijn alle andere Facebookers minstens jouw Facebook-vriend-van-een-vriend-van-een-vriend-van-een-vriend.



Een graaf die groeit, waarbij nieuwe knooppunten bij voorkeur verbindingen leggen met knooppunten die al relatief veel verbindingen hebben.

📷 R. van der Hofstad

Het 'kleine wereld'-fenomeen treedt niet op in een graaf waarin alle knopen ongeveer evenveel verbindingen hebben. Maar in een random graaf zullen sommige knopen toevallig veel meer verbindingen hebben dan gemiddeld. Die nemen dan automatisch de rol van *hubs* op zich, knooppunten waarlangs je snel andere delen van het netwerk bereikt. Dit is ook de reden voor de fameuze paradox, dat je vrienden gemiddeld meer vrienden hebben dan jijzelf.

Dit effect is nog sterker in een random graaf die groeit, waarbij je aanneemt dat nieuwe knopen bij voorkeur verbindingen leggen met 'populaire' knopen (die al relatief veel verbindingen hebben). Vertaald naar Facebook: hoe meer vrienden iemand al heeft, hoe groter de kans dat hij of zij er nog vrienden bij krijgt.

Dit zorgt voor een 'de rijken worden rijker'-effect dat de onderlinge verschillen steeds groter maakt. Remco van der Hofstad van de Technische Universiteit Eindhoven onderzocht dit proces: "Eigenlijk is het niet 'de rijken worden rijker', maar 'de ouden worden rijker.'" Immers, van degenen die er vroeg bij waren, bouwen sommigen een voorsprong op die daarna alleen maar steeds groter wordt. Zo blijkt het 'kleine wereld'-fenomeen een bijna universele eigenschap van complexe netwerken; het heeft weinig te maken met bewuste beslissingen van individuen of de sociologie van de mensenmaatschappij.



📷 Dr. Benard Ssebide

Epidemie effectiever bestrijden

Ook op de uitbraak van een ziekte als Ebola of vogelgriep kun je netwerkanalyse toepassen. Mensen of boerderijen vormen de knopen in het netwerk, en wie besmet raakt, is verbonden met een ander.

Hoewel de modellen op dit moment nog niet heel realistisch zijn, doemt ook hier het 'kleine wereld'-effect op. Voor een epidemie houdt dit in dat deze vooral in stand gehouden wordt door hubs, een relatief klein aantal mensen die extreem veel contacten hebben. Als je die kan identificeren in de populatie, kun je de epidemie veel effectiever bestrijden dan door algemene maatregelen voor de hele bevolking door te voeren.

Volgens Michel Mandjes verkeren de diverse onderzoekslijnen binnen NETWORKS nog wel in een fundamentele fase. Hij verwacht dat deze wiskundige modellen en technieken pas over een paar jaar geschikt zijn om netwerken in de echte wereld beter te managen.

Lees meer over netwerken



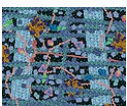
"Binnen tientallen jaren een minimale cel bouwen? Dat moet kunnen"

22 augustus 2014 · door Mariska van Sprundel



Supersnel internet dankzij nieuwe technologie

26 juni 2014 · door Robert Visscher



Programmeerbare chemische reacties

28 oktober 2013 · door Roel van der Heijden



De wiskunde van de grote stad

5 juli 2013 · door Marc Seijlhouwer



Dataverkeer zonder vertraging

26 februari 2013 · door Robert Visscher



De Rubiks kubus van het Europese nationalisme

28 december 2012 · door Maarten Muns

0 Reacties

kennislink.nl

Inloggen ▾

Sorteren op oudste ▾

Delen Favoriet ★



Start de discussie...

Reageer als eerste.

OOK OP KENSLINK.NL

Lachend de les door

1 reactie · 17 days ago



Alfa — Het probleem is dan wel dat, als je sympathieke leerlingen hebt, die je altijd aankijken en altijd ...

Kerstmis in de loopgraven

1 reactie · 19 hours ago



Arendsoog — Het was vooral voor de elite een doorn in het oog dat er niet gevochten werd. De elite van de ...

Zit België deze winter in de kou?

3 reacties · 8 days ago



Ad Meijer — In Nederland loopt er een hoogspannings net tot Borsele, en in België tot Doel. Waarom ...

Zou jij je DNA laten aanpassen om ouder te kunnen worden?

13 reacties · 14 days ago



Eles Lalieu — Beste Susanne, Dank voor de link. Interessant onderzoek, maar wel nog in het beginstadium. ...

Abonneren

Voeg Disqus toe aan uw site

Privacy

DISQUS

Deel deze publicatie

Dit is een publicatie van **Kennislink**

→ [meer informatie](#) | → [website](#)

© Kennislink, [sommige rechten voorbehouden](#)

Vakgebied

Wiskunde

Onderwerpen

Techniek & Natuurwetenschappen, Gezondheid, Hersenen & Gedrag, Mens & Maatschappij

Kernwoorden

netwerk, graaf, facebook, epidemie, internet

Bezoek ook



Elke drie seconden: de wiskunde van het seksuele

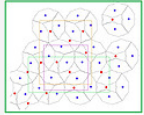
op woensdag 21 januari 2015



Wiskunde A, B of C?

tot maandag 31 augustus 2015

Lees ook



Aan de slag met vraag 7 van de Wetenschapsquiz

11 december 2014



Pakjesavond is NP-hard

5 december 2014



Is een aardbeving met magnitude 3,1 veel zwaarder dan een aardbeving met magnitude 2,9?

30 november 2014



Welk wiskundeboek past in de schoen?

19 november 2014



Eerbetoon aan uitvinders van de computer

18 november 2014



Drukke tijden voor de *Faces of Science!*

18 november 2014



De bliksem is een kernreactor

11 november 2014

Wiskunde

 [Stuur ons een reactie](#)



[Home](#)

[Over Kennislink](#)

[Publicaties](#)

[Wekelijkse nieuwsbrief](#)

[Nieuwsfeeds](#)

[Kennislink API](#)

Kennislink is een uitgave van de Stichting Nationaal Centrum voor Wetenschap en Technologie (NCWT). De activiteiten van NCWT worden mogelijk gemaakt door

inhoudelijke en/of financiële bijdragen van onder andere het publiek, het bedrijfsleven, vanuit fondsen en het **ministerie van OCW**. Kennislink wordt mede mogelijk gemaakt door de bijdragen van de Nederlandse universiteiten, wetenschappelijke organisaties en een groot aantal **andere partijen** op het gebied van wetenschap en techniek.

© 2002–2014 Kennislink / [disclaimer](#)

i Deze website maakt gebruik van [cookies](#).

[verberg deze melding](#)