

Rob Kooij
Almerima Jamakovic

Faculteit EWI
Technische Universiteit Delft
Postbus 5031
2600 GA Delft
r.e.kooij,a.jamakovic@tudelft.nl

Frank van Kesteren, Tim de Koning
Ildiko Theisler, Pim Veldhoven

TNO Informatie- en Communicatietechnologie
Brassersplein 2
Postbus 5050
2600 GB Delft

Onderzoek

Het Nederlands elftal als complex netwerk

In de zomer van 2008, tijdens het Europees Kampioenschap voetbal in Zwitserland en Oostenrijk, zullen weer miljoenen mensen de verrichtingen van het Nederlands elftal op de voet volgen. Ondanks het feit dat voetbal razend populair is, bestaat er vanuit de wetenschappelijke wereld relatief weinig interesse voor voetbal. In dit artikel bestuderen we het Nederlands elftal vanuit het perspectief van complexe netwerken. In het Nederlands-elftalnetwerk, bestaat elk knooppunt uit een speler die ooit een officiële interland speelde. Twee knopen zijn met elkaar verbonden als de spelers in dezelfde interland hebben gespeeld. Het doel van dit artikel is het onderzoeken van topologische eigenschappen van het aldus verkregen Nederlands-elftalnetwerk. Almerima Jamakovic en Rob Kooij zijn werkzaam als onderzoeker bij de faculteit van Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica van de Technische Universiteit Delft; Rob Kooij werkt eveneens bij TNO Informatie- en Communicatietechnologie evenals de andere vier auteurs.

Voetbal is in vele landen een ontzettend populaire sport. Volgens Arrigo Sacchi, coach van het succesvolle AC Milan in de jaren 90 van de vorige eeuw, is voetbal het belangrijkste van alle onbelangrijke zaken in het leven. Bill Shankly, de legendarische voormalige manager van Liverpool, ging nog een stapje verder: volgens sommigen is voetbal een kwestie van leven en dood. Maar het is veel belangrijker dan dat!

De populariteit van voetbal zien we ook terug in een aantal cijfers gerelateerd aan de eindronde van het WK Voetbal dat in 2006 in Duitsland plaatsvond. Wereldwijd waren er, cumulatief, 27 miljard TV kijkers. In totaal werd er, op TV, meer dan 73000 uur verslag gedaan van het WK [1].

Ondanks het feit dat voetbal zo populair is, wordt er vanuit de wetenschappelijke gemeenschap, relatief weinig aandacht aan voetbal besteed. Ter illustratie, het World Con-

gress on Science & Football [2], wordt slechts om de vier jaar gehouden. Het meest recente congres, dat plaats vond in 2007, had slechts 477 deelnemers, hetgeen een laag aantal is voor een belangwekkende wetenschappelijke conferentie. Desalniettemin zijn er wel enkele interessante publicaties te noemen waarin voetbal wetenschappelijk wordt benaderd.

Een mooi overzicht van wetenschappelijke aspecten van voetbal is te vinden in *How to score*, geschreven door Ken Bray [3]. Zijn boek behandelt onder andere de volgende onderwerpen: natuurkunde van de bal, trainingschemas, doelpuntstatistieken, medische en fysiologische aspecten, het nemen van strafschoppen en de rol van elektronische hulpmiddelen.

Een ander interessant boek, met een compleet andere invalshoek, is geschreven door David Winner. In *Brilliant Orange* [4], onderzoekt hij de relatie tussen de Nederlanders,

hun geschiedenis en architectuur, hun cultuur en politiek, en de invloed van deze zaken op het Nederlandse voetbal.

In dit artikel bekijken we het Nederlands elftal vanuit het perspectief van complexe netwerken. Onze studie is geïnspireerd door een artikel van Onody en De Castro [5], die een netwerk hebben bestudeerd dat bestaat uit voetbalspelers uit de Braziliaanse voetbalcompetitie.

De theorie van complexe netwerken vormt een vrij recent onderzoeksdomein, dat ontstaan is uit de grafentheorie, en minder gericht is op de studie van kleine grafen en de eigenschappen van individuele knopen en de verbindingen tussen knopen in deze grafen, en meer op de statistische eigenschappen van grootschalige netwerken. In de afgelopen jaren is deze theorie uitgegroeid tot een volwaardig onderzoeksgebied. De reden hiervoor is tweeledig: het bestaan van interessante toepassingen binnen biologische, sociale en technologische netwerken, en de beschikbaarheid van grote aantallen data afkomstig van netwerken uit de echte wereld [6,7,8].

Sociale netwerken worden gevormd door mensen, of groepen van mensen, die met elkaar interacteren volgens een bepaald patroon of contact, bijvoorbeeld vriendschap, zaken of een seksuele relatie.

In dit artikel bestuderen we het Nederlands elftal (NE) als een sociaal netwerk. In het Nederlands-elftalnetwerk correspondeert elk knooppunt met een speler die een officiële



Abe Lenstra met zijn vrouw Hiltje Lenstra-Wisman (23 februari 1950)

Fotograaf: Ben van Meeren / AHF, collectie ISC, Amsterdam

interland heeft gespeeld voor het Nederlands elftal. Een knoop is verbonden met een andere knoop indien de corresponderende spelers in dezelfde interland hebben gespeeld. Het doel van dit artikel is het bestuderen van de topologische eigenschappen van het Nederlands-elftalnetwerk. De studie naar de topologie van echte-wereldnetwerken is om twee redenen van belang. Ten eerste kunnen we hiervan leren welke netwerkstructuren we tegen komen in het wild en ten tweede kan het ons helpen te voorspellen hoe processen die plaats vinden op netwerken zullen verlopen. Voorbeelden van het laatste punt zijn de effectiviteit van zoekmachines op Internet en de snelheid waarmee een virus zich verspreid in een computernetwerk.

Voor het specifiek bestuderen van het Nederlands-elftalnetwerk zijn meerdere redenen te noemen. Als eerste reden noemen we de populariteit die het Nederlands elftal geniet onder de Nederlandse bevolking. In het bijzonder is het Nederlandse publiek

erg geïnteresseerd in allerlei feiten en statistieken van het Nederlands elftal. Dit blijkt onder andere uit de populariteit van boeken als [9], de aanwezigheid van quizjes op de sites van bijvoorbeeld de KNVB (Koninklijke Nederlandse Voetbal Bond) en Voetbal International en het succes van de site www.voetbalstats.nl. Deze site, waarop informatie wordt bijgehouden van alle officiële wedstrijden van het Nederlands elftal en de Europese wedstrijden van Nederlandse clubteams, heeft gemiddeld ongeveer 550 pageviews per dag. Middels onze studie verzamelen we allerlei nieuwe statistieken van het Nederlands elftal. Een voorbeeld hiervan is: welke international heeft met de meeste medespelers gespeeld?

Ten tweede zouden de resultaten van onze studie ook gebruikt kunnen worden door de bondscoach, bijvoorbeeld bij het bepalen van een opstelling, waarbij bepaalde eigenschappen van het elftal optimaal zijn. Zo kan een elftal worden samen gesteld waarvan zoveel

mogelijk spelers al onderling hebben samen gespeeld.

Achtergrond

Grafentheorie is een tak van wiskunde die de eigenschappen van grafen bestudeert. Een graaf bestaat uit een verzameling punten, knopen genoemd, waarvan sommige verbonden zijn door lijnen, ook wel links genoemd. Structuren die als grafen weergegeven kunnen worden zijn alomtegenwoordig, en veel praktische problemen kunnen als een probleem op een graaf gemodelleerd worden. Research naar complexe netwerken is een vrij recente stroming binnen het onderzoek rond grafen dat minder focust op de studie van kleine grafen en de eigenschappen van individuele knopen en links in deze grafen, maar meer op de statistische eigenschappen van grootschalige netwerken. Deze stroming is ontstaan doordat huidige computers de mogelijkheid bieden om data te analyseren op een veel grotere schaal dan dat vroeger ooit

Nederland		0 - 0	België	
WIKKW		18-11-1973	Toeschouwers: 62000	
Stadion: Olympisch Stadion		Bondscoach: Frantisek Fadrhonic	Scheidsrechter: Pavel Khazakov	

Speler	Club	Gesc.	Strafs.	In	Uit	e.d.	Int.	Doelp.
Schrijvers Piet	FC Twente						4	
Suurbier Wim	Ajax						25	3
Hulshoff Barry	Ajax						14	6
Mansveld Aad	FC Den Haag						6	
Krol Ruud	Ajax						17	
Haan Arie	Ajax						8	1
Neeskens Johan	Ajax						14	6
Mühren Gerrie	Ajax						10	
Rep Johnny	Ajax						3	1
Crujff Johan (c)	Barcelona						26	22
Rensenbrink Rob	Anderlecht						10	

Figuur 1 Opstelling van interland nr. 331

mogelijk was. Vroeger deed men studies met grafen van enkele tientallen of soms enkele honderden knopen, terwijl nu netwerken onderzocht worden met miljoenen of zelfs miljarden knopen.

We bespreken enkele topologische eigenschappen van complexe netwerken (zie ook [10]). Een complex netwerk kan worden gerepresenteerd als een ongerichte graaf $G(V; E)$ die bestaat uit een verzameling knopen V en een verzameling links E , met $N = |V|$ het aantal knopen en $L = |E|$ het aantal links.

Linkdichtheid

De linkdichtheid S van een graaf is het quotiënt van het aantal links en het totaal aantal mogelijke links. Het is eenvoudig in te zien dat $S = 2L/N(N - 1)$.

Graad

De graad d_i van een knoop i is het aantal buuren van een knoop, dat wil zeggen het aantal knopen waarmee knoop i direct verbonden is. De gemiddelde graad hangt af van het totaal aantal knopen en links: $E[d_i] = \frac{2L}{N}$.

Assortativiteitcoëfficiënt

Een metriek die de correlatie kwantificeert tussen paren knopen is de assortativiteitcoëfficiënt r ($-1 < r < 1$). Netwerken met $r < 0$ zijn disassortatief, hetgeen betekent dat knopen de neiging hebben te grenzen aan knopen met een andere graad. In netwerken met $r > 0$ (assortatieve netwerken) is het waarschijnlijker dat knopen grenzen aan knopen met dezelfde graad [11].

De assortativiteit coëfficiënt r is als volgt gedefinieerd:

$$r = \frac{L^{-1} \sum_i j_i k_i - \left(L^{-1} \sum_i \frac{1}{2} (j_i + k_i) \right)^2}{L^{-1} \sum_i \frac{1}{2} (j_i^2 + k_i^2) - \left(L^{-1} \sum_i \frac{1}{2} (j_i + k_i) \right)^2},$$

waar j_i en k_i de graden representeren van de knopen aan de uiteinden van link i , waarbij $i = 1, \dots, L$.

Afstand

De afstand tussen twee knopen i en j is de

lengte van het kortste pad tussen i en j . De gemiddelde afstand van een graaf is het gemiddelde van de afstand over alle paren knopen in de graaf.

In de jaren zestig deed de psycholoog Stanley Milgram een experiment waarbij brieven werden verstuurd tussen twee willekeurige personen in Noord-Amerika via sociale contacten [12]. Uit dit experiment bleek dat er maar een klein aantal stappen (ongeveer zes) nodig is om een brief van persoon a naar persoon b te sturen. In dit geval komt het gemiddeld aantal stappen overeen met de gemiddelde afstand in het sociale netwerk. Het bestaan van een kort pad tussen twee willekeurige knopen in een complex netwerk wordt in de literatuur het *small-world effect* genoemd. We zullen later aantonen dat het Nederlands-elftalnetwerk eveneens het small-world effect vertoont.

Diameter

De diameter van een graaf is de grootste afstand die voorkomt tussen alle paren knopen.

Eccentriciteit

De eccentriciteit van een knoop is de langste afstand naar een andere knoop in de graaf. De eccentriciteit van de graaf is de eccentriciteit gemiddeld over alle knopen.

Clusteringcoëfficiënt

De clusteringcoëfficiënt C_i van knoop i is de verhouding van het aantal links tussen de buuren van knoop i en het maximale aantal links dat kan bestaan tussen de buuren van knoop i . De clusteringcoëfficiënt C van de graaf is de clusteringcoëfficiënt gemiddeld over alle knopen.

Nabijheid

De nabijheid van een knoop is de gemiddelde afstand naar alle andere knopen. De nabijheid van een knoop geeft de mate van centraliteit van een knoop aan, dat wil zeggen het geeft aan in hoeverre een knoop centraal staat in het netwerk. De knoop met de laagste nabijheid noemen we de meest centrale knoop.

Algebraïsche connectiviteit

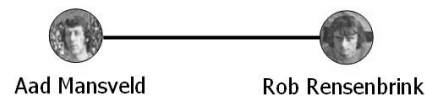
De Laplace matrix van een graaf G met N knopen is een $N \times N$ matrix $Q = \Delta - A$, waarbij $\Delta = \text{diag}(d_i)$, d_i is de graad van knoop i , en A is de verbindingsmatrix van G . De op één na kleinste eigenwaarde van de Laplace matrix wordt aangeduid met de term algebraïsche connectiviteit. De algebraïsche connectiviteit speelt een belangrijke rol in verscheidene problemen uit de grafentheorie (zie bijvoorbeeld [13]). De belangrijkste toepassing van

deze metriek betreft de connectiviteit van de graaf: hoe groter de algebraïsche connectiviteit, hoe moeilijker het is om de graaf uiteen te doen vallen in onafhankelijke componenten.

Het Nederlands-elftalnetwerk

De data die nodig is om het Nederlands-elftalnetwerk te construeren is beschikbaar op de site www.voetbalstats.nl. Op de site zijn alle opstellingen te vinden van alle officiële interlands van het Nederlands elftal. We hebben alle interlands beschouwd tot en met Wit Rusland–Nederland (21 november 2007), hetgeen de 661^e interland was. De eerste interland van Oranje was België–Nederland (30 april 1905). Als een voorbeeld tonen we de opstelling van interland nr. 331, Nederland–België (18 november 1973), zie figuur 1.

Uiteraard corresponderen alle spelers die voorkomen in figuur 1 met knopen in het Nederlands-elftalnetwerk, en bovendien bestaan er tussen alle spelers in figuur 1 onderlinge links. Dus, ter illustratie, Aad Mansveld is verbonden met Rob Rensenbrink.



Figuur 2 Twee verbonden spelers in het NE netwerk

Nadat we de data van alle 661 wedstrijden in een database hebben ingevoerd, waren we in staat om met behulp van een eenvoudige query de lijst van alle verbindingen in het Nederlands-elftalnetwerk te bepalen. Het is gebleken dat in de 661 interlands in totaal 691 internationals hebben gespeeld. Elke individuele speler hebben we voorzien van een unieke ID, variërend van 1 tot en met 691. De ordening van de ID's was gebaseerd op het aantal speelminuten in het Nederlands elftal. De verbindingslijst is een representatie van alle links in het netwerk. Bijvoorbeeld, omdat Aad Mansveld ID 294 heeft terwijl Rob Rensenbrink ID 41 bezit, bevat de verbindingslijst het element $41 - 294$. We hebben geconstateerd dat het totaal aantal links in het Nederlands-elftalnetwerk 10450 bedraagt.

We hebben het Nederlands-elftalnetwerk gevisualiseerd door de verbindingslijst in te voeren in het Pajek programma [14] (figuur 5). Knopen aan de linkerzijde van de graaf corresponderen met spelers uit het begin van de vorige eeuw. De nog steeds actieve spelers zijn te vinden aan de rechterzijde van de graaf.

Resultaten

In deze sectie geven we waarden van enkele topologische eigenschappen die eer-

Topologische eigenschappen	Waarde
# knopen	691
# links	10450
linkdichtheid	0.044
gemiddelde graad	30.25
assortativiteitscoëfficiënt	-0.063
gemiddelde afstand	4.49
diameter	11
eccentriciteit	8.60
clusteringcoëfficiënt	0.75
algebraïsche connectiviteit	0.16

Tabel 1 Topologische eigenschappen

der zijn geïntroduceerd voor het Nederlands-elftalnetwerk. We hebben ze berekend met behulp van Pajek en enkele speciaal daartoe ontwikkelde Matlab functies. De resultaten zijn te vinden in tabel 1.

Ten eerste kunnen we concluderen dat het Nederlands-elftalnetwerk geconnecteerd is. Dat wil zeggen dat er tussen elke twee internationals een pad bestaat. Als voorbeeld beschouwen we Johan Crujff en Marco van Basten. Deze twee internationals hebben nooit in dezelfde interland gespeeld, maar ze hebben wel allebei met Willy van de Kerkhof gespeeld. De afstand tussen Crujff en van Basten is dus 2.

Omdat de gemiddelde afstand tussen spelers klein is (4.46) vertoont het Nederlands-elftalnetwerk, net als veel andere sociale netwerken, het small-world effect. Verder zien we dat een speler gemiddeld met ongeveer dertig internationals heeft samengespeeld.

Uiteraard is de informatie die we hebben verkregen veel gedetailleerder dan getoond. Zo zijn we bijvoorbeeld nu in staat de vraag welke international met de meeste medespelers gespeeld heeft, te beantwoorden. We hebben ontdekt dat de speler met de hoogste graad Harry Dénis is. Zoals blijkt uit tabel 2 speelde hij in wedstrijden waarin 117 andere internationals hebben gespeeld:

Speler	Wedst.	Graad	NE carrière	Clust.
Van der Sar	122	97	1995-heden	0.39
Dénis	56	117	1919-1930	0.17

Tabel 2 Karakteristieken voor Van der Sar en Dénis

Omdat er in de tijd dat Dénis actief was niet werd gewisseld weten we dus dat hij precies 117 medespelers heeft gehad. Het is opmerkelijk dat Edwin van der Sar, recordinternational met 122 interlands, slechts een graad heeft van 97. Het is interessant op te merken dat Dénis ook de laagste clusteringcoëfficiënt heeft van alle spelers, dat wil zeggen hij is de speler waarvan de medespelers onderling het minst verbonden zijn.

Volgens tabel 1 is de diameter van het

Nederlands-elftalnetwerk gelijk aan 11. In tabel 3 tonen we het kortste pad tussen Rafael van der Vaart en Jan van Beek, dat inderdaad lengte 11 heeft.

Merk op dat het Nederlands-elftalnetwerk nog veel meer kortste paden van lengte 11 bevat. Bijvoorbeeld, elke speler die met Edwin van der Sar samenspeelde na 2000, heeft ook een kortste pad van lengte 11 naar Jan van Beek. Met behulp van Pajek hebben we uitgerekend dat er in het Nederlands elftal netwerk in totaal 324 kortste paden zijn van lengte 11.

Door de nabijheid van alle spelers te berekenen, zijn we ook in staat te bepalen wie de meest centrale speler is in het Nederlands-elftalnetwerk. Met 'meest centraal' wordt hier bedoeld de speler die gemiddeld de kortste afstand heeft tot alle overige spelers. Tabel 4 toont de Top 5 van spelers met de laagste nabijheid. De meest centrale speler in het Nederlands elftal netwerk is Roel Wiersma, die actief was in 1954-1962, en 53 interlands op zijn naam heeft staan. Merk op dat het niet verrassend is dat de meest centrale spelers ongeveer vijftig jaar geleden actief waren, omdat het Nederlands Elftal ongeveer honderd jaar bestaat. Van de nog actieve spelers is Edgar Davids het meest centraal, met een gemiddelde afstand tot alle overige spelers van 4.73.

We zullen nu de topologische kenmerken van het Nederlands elftal netwerk vergelijken met die van enkele andere netwerken uit de echte wereld. In tabel 5 vergelijken we het Nederlands-elftalnetwerk met de volgende netwerken:

- Braziliaanse-Voetballersnetwerk (BV) [5]
- electriciteitsnet van westelijke staten in de V.S. (Pow) [15]
- het Internet op het niveau van Autonome Systemen (Int) [16]
- netwerk dat proteïne interactie representeert voor de gistsoort *Saccharomyces cerevisiae* (Pro) [17]

In tabel 5, die gedeeltelijk is overgenomen uit [17], ontbreken enkele kenmerken in de BV kolom, omdat deze niet zijn beschreven in [5].

Op basis van tabel 5 kunnen we onder andere de volgende conclusies trekken. Net als het Nederlands-elftalnetwerk, vertonen ook het Braziliaanse-Voetballersnetwerk, het Internet op Autonomoos Systeem niveau en het proteïnenetwerk het small-world effect. Gemiddeld heeft een speler uit de Braziliaanse competitie 50% meer medespelers gehad dan een speler van het Nederlands elftal. In tegenstelling tot het Nederlands-elftalnetwerk, is het Braziliaanse netwerk assortatief. Met uitzondering van het electriciteitsnet (Pow)

	Speler	NE carrière
1	Rafael van der Vaart	2001-heden
2	Edwin van der Sar	1995-heden
3	Aron Winter	1987-2000
4	Arnold Mühren	1978-1988
5	Jan Jongbloed	1962-1978
6	Roel Wiersma	1954-1962
7	Bertus de Harder	1938-1955
8	Puck van Heel	1925-1938
9	Harry Dénis	1919-1930
10	Just Göbel	1911-1919
11	John Heijning	1907-1912
12	Jan van Beek	1907

Tabel 3 Een kortste pad in NE netwerk van lengte 11

	Speler	NE carrière	Nabijheid
1	Roel Wiersma	1954-1962	3.119
2	Faas Wilkes	1946-1961	3.213
3	Bertus de Harder	1938-1955	3.217
4	Kees Rijvers	1946-1960	3.222
5	Mick Clavan	1948-1965	3.230

Tabel 4 Top 5 meest centrale spelers

heeft het Nederlands-elftalnetwerk de hoogste gemiddelde afstand tussen de knopen. De clusteringcoëfficiënten van het Nederlands-elftalnetwerk en het Braziliaanse netwerk zijn vergelijkbaar, en veel hoger dan van de overige beschouwde netwerken. Het Nederlands elftal netwerk heeft de grootste algebraïsche connectiviteit, dus van de beschouwde netwerken valt dit netwerk het minst snel uiteen in onafhankelijke componenten.

Overige resultaten

Tenslotte bespreken we een aantal resultaten over het Nederlands elftal die niet gerelateerd zijn aan het Nederlands-elftalnetwerk. Figuur 4 toont het aantal interlands gespeeld door het Nederlands elftal per jaar.

Een visuele inspectie van figuur 4 laat onder andere het volgende zien: het plaats vinden van twee wereldoorlogen, het optreden van lokale maxima bij het behalen van de finale van twee WK eindronden (1974 en 1978), een lokaal minimum als gevolg van de uitschakeling voor de WK eindronde in 2002 en de tendens van een toenemend aantal wedstrijden per jaar.

Omdat doelpunten de essentie vormen van voetbal, zullen we ons nu richten op enkele statistieken rond doelpunten. In figuur 3 laten we de kans $P(g)$ zien dat een speler in totaal g doelpunten heeft gescoord voor het Nederlands elftal.

We kunnen concluderen uit figuur 3 dat de kans dat een international nooit heeft gescoord voor het Nederlands elftal gelijk is aan 62%. De 10 spelers die het meest hebben gescoord voor het Nederlands Elftal zijn te vinden in tabel 6.

Metriek	NE	BV	Pow	Int	Pro
# knopen	691	13411	4940	20906	4713
# links	10450	315566	6594	42994	19528
linkdichtheid	0.044	0.0035	0.00054	0.0002	0.0018
gem. graad	30.25	47.10	2.67	4.11	8.29
assort. coëff.	-0.063	0.12	0.0036	-0.20	-0.13
gem. afstand	4.49	3.29	18.54	3.89	3.16
diameter	11	-	46	11	4
eccentriciteit	8.60	-	34.06	8.03	3.99
clust. coëff.	0.75	0.79	0.080	0.21	0.11
algebr. connectiviteit	0.16	-	0.0009	0.015	0.12

Tabel 5 Topologische kenmerken voor verschillende netwerken uit de echte wereld

Het is duidelijk dat Patrick Kluivert de topscorer is van het Nederlands Elftal. Echter, we zien ook uit tabel 6 dat Kluivert meer dan twee keer zoveel wedstrijden nodig had als Faas Wilkes, om slechts vijf doelpunten meer te scoren. Om de trefzekerheid van spelers op een eerlijkere manier met elkaar te vergelijken, hebben we daarom ook gekeken naar het doelpuntenquotiënt (DQ) van spelers, dat wil zeggen het aantal doelpunten dat ze gemiddeld hebben gescoord per 90 minuten speeltijd. Hierbij beschouwen we alleen spelers die minimaal 20 interlands hebben gespeeld. Het resultaat is te zien in tabel 7.

Het blijkt uit tabel 7 dat van alle spelers die twintig of meer interlands hebben gespeeld, Beb Bakhuis het meest trefzeker was. Met een doelpuntenquotiënt van 0.62 neemt Patrick Kluivert op deze ranglijst slechts plek 14 in.

We merken nog op dat Piet de Boer een doelpuntenquotiënt van 3 heeft. Hij heeft slechts één keer gespeeld voor het Nederlands elftal (wedstrijd nr. 148 in 1937) en daarin scoorde hij dus 3 keer. Volgens [9] werd hij na deze wedstrijd niet meer geselecteerd omdat de keuzeheren hem te klein vonden.

De bondscoach

In dit artikel hebben we enkele topologische eigenschappen bestudeerd van het Nederlands-elftalnetwerk. Indien alle interlands die tot en met 2007 zijn gespeeld worden meegenomen, dan zijn de belangrijkste conclusies als volgt

- Het Nederlands-elftalnetwerk bestaat uit

691 spelers met 10450 onderlinge verbindingen.

- Het Nederlands-elftalnetwerk is geconnecteerd, dat wil zeggen tussen elke twee internationals bestaat een pad.
- Het Nederlands-elftalnetwerk vertoont het small-world effect, omdat de gemiddelde afstand tussen spelers klein is (4.46).
- De speler die de meeste medespelers heeft gehad in het Nederlands elftal is Harry Dénis. Hij speelde met 117 internationals samen.
- Van alle internationals heeft Harry Dénis de laagste clusteringcoëfficiënt, dat wil zeggen hij is de speler waarvan de medespelers onderling het minst verbonden zijn.
- De diameter van het Nederlands-elftalnetwerk bedraagt 11, dat wil zeggen het langste kortste pad dat voorkomt heeft lengte 11.
- De meest centrale speler in het Nederlands-elftalnetwerk is Roel Wiersma.

Vervolgens hebben we de topologische eigenschappen van het Nederlands elftal netwerk vergeleken met die van enkele netwerken uit de echte wereld, te weten het Braziliaanse-Voetballersnetwerk, een electriciteitsnet in de V.S., het Internet op het niveau van Autonome Systemen (Int) en een proteïne-interactienetwerk. Tot slot hebben we enkele resultaten besproken die niet gerelateerd zijn aan de topologische aspecten van het Nederlands Elftal netwerk:

- Het grootste aantal interlands per jaar ooit bedraagt 17. Dit vond plaats in 2004.
- De kans dat een international nooit heeft gescoord voor het Nederlands Elftal is gelijk aan 62%.
- Van alle spelers die twintig of meer interlands hebben gespeeld, scoorde Beb Bakhuis per negentig minuten speeltijd gemiddeld het meeste doelpunten.

Zoals uit de bovenstaande resultaten blijkt, kunnen we door het bestuderen van het Nederlands-elftalnetwerk, allerlei nieuwe, interessante statistieken omtrent het Nederlands elftal achterhalen. Een mogelijke toepassing van onze studie is het automatische

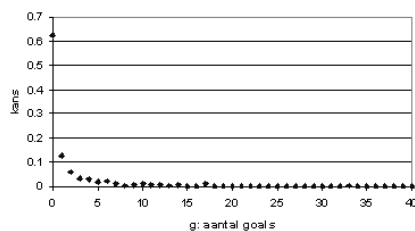
	Speler	Wedstrijden	Goals
1	Patrick Kluivert	79	40
2	Dennis Bergkamp	79	37
3	Faas Wilkes	38	35
4	Abe Lenstra	47	33
5	Johan Crujff	48	33
6	Ruud van Nistelrooy	59	30
7	Beb Bakhuis	23	28
8	Kick Smit	29	26
9	Marco van Basten	58	24
10	Leen Vente	21	19

Tabel 6 Topscorers Nederlands elftal

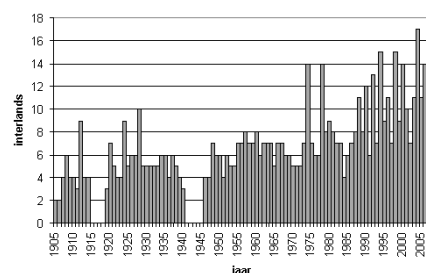
genereren van quizvragen rond het Nederlands elftal. (Zie [19] voor een voorbeeld van hoe zo'n quiz er uit zou kunnen zien.)

De resultaten van onze studie zouden ook gebruikt kunnen worden door de bondscoach. We geven hier twee voorbeelden van. In het eerste voorbeeld veronderstellen we dat de bondscoach voor de linksbackpositie twijfelt tussen Tim de Cler en Urby Emanuelson. Beide spelers hebben 10 interlands gespeeld maar de graad van de Cler is 37 terwijl die van Emanuelson 29 is. Op basis hiervan kan de bondscoach besluiten de Cler op te stellen, omdat een hogere graad in het Nederlands-elftalnetwerk op meer ervaring kan duiden. Als tweede voorbeeld noemen we de mogelijkheid voor de bondscoach om een elftal dusdanig samen te stellen dat bepaalde eigenschappen van het elftal optimaal zijn. Zo kan een elftal worden samen gesteld waarvan zoveel mogelijk spelers al onderling hebben samen gespeeld of een elftal waarvan het aantal medespelers van de opgestelde spelers maximaal is.

Voor vervolgonderzoek richten we ons op drie aspecten. Ten eerste willen we de topologische eigenschappen van het Nederlands elftal vergelijken met die van nationale voetbalteams van andere landen. Bij voorkeur voeren we een dergelijk onderzoek uit in samenwerking met de UEFA, de Europese voetbalbond. Ten tweede gaan we ons toeleveren op de visualisatie van het Nederlands-elftalnetwerk. We hebben de ontwikkeling van een interactieve tool voor ogen, waarmee de gebruiker zelf door het netwerk kan bewe-



Figuur 3 De kans dat een speler g doelpunten heeft gemaakt



Figuur 4 Aantal interlands van Nederlands elftal per jaar

gen. Een dergelijke tool kan interessant zijn voor de KNVB, www.voetbalstats.nl en zelfs het Oranje Voetbal Museum te Amsterdam. Ten derde willen we de correlatie onderzoeken tussen de topologische eigenschappen van de subgraaf gevormd door spelers die in één specifieke wedstrijd speelden en de uitslag van die wedstrijd. ←

Dankwoord

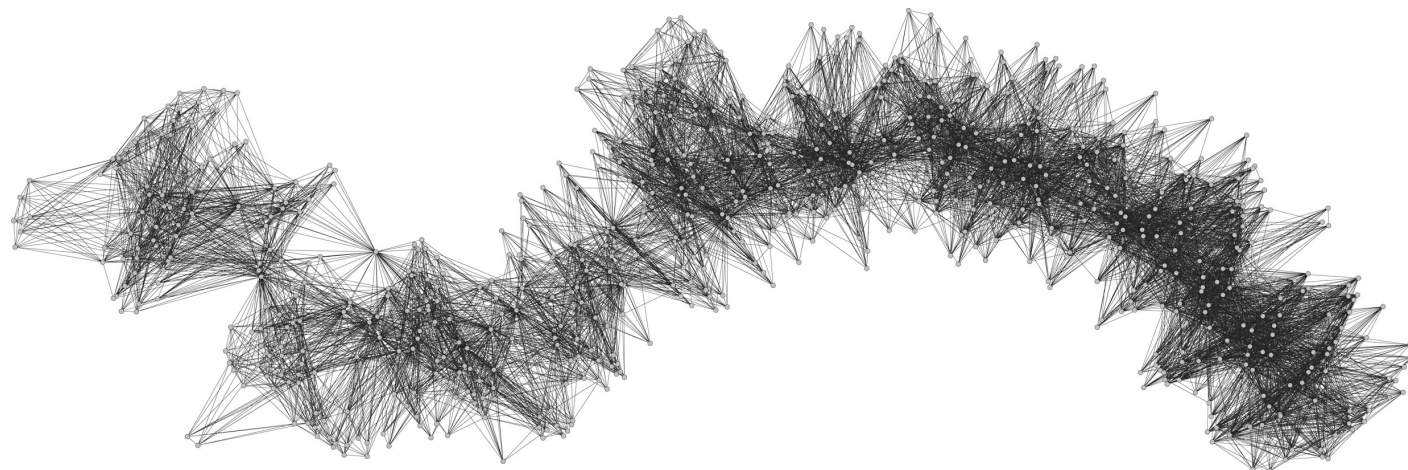
Dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt met behulp van financiële steun van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO), middels projectnummer 643.000.503, en door het Next Generation Infrastructures programma (www.nginfra.nl). De auteurs bedanken Jos Weber (TU Delft en Excelsior'20) voor zijn waardevolle suggesties en commentaar.

Referenties

- 1 www.fifa.com/mm/document/fifafacts/fifaprojects/ip-401.06e.tv.2658.pdf
- 2 www.wcsf2007.org
- 3 Ken Bray, *How to score: Science and the Beautiful Game*, Granta Books, 2006
- 4 David Winner, *Brilliant Orange: The Neurotic Genius of Dutch Football*, Bloomsbury Publishing PLC, 2001
- 5 R.N. Onody and P.A. de Castro, 'Complex network study of Brazilian soccer players', *Physical Review E*, 70(3), 037103, 2004
- 6 S.N. Dorogovtsev and J.F.F. Mendes, *Evolution of Networks: From Biological Nets to the Internet and WWW*, Oxford University Press, Oxford, 2003
- 7 A.L. Barabasi, *Linked: The new science of networks*, Perseus, Cambridge, MA, 2002
- 8 D.J. Watts, *Six Degrees: The Science of a Connected Age*, W.W. Norton and Company, 2003
- 9 Martin van Neck, *De Oranje Rapporten*, Uitgeverij 521, Amsterdam, 2004
- 10 M.E.J. Newman, 'The structure and function of complex networks', *SIAM Review* 45, 167-256, 2002
- 11 M.E.J. Newman, 'Assortative mixing in networks', *Phys. Rev. Lett.* 89, 208701, 2002
- 12 J. Travers and S. Milgram, 'An experimental study of the small world problem', *Sociometry* 32(4), pp. 425-443, 1969
- 13 F.R.K. Chung, *Spectral graph theory*, Conference Board of the Mathematical Sciences No.92, AMS, Providence, RI, 1997
- 14 Pajek, 'Program for large network analysis', vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek
- 15 D.J. Watts and S. H. Strogatz, 'Collective dynamics of small-world networks', *Nature* 393, 440-442, 1998
- 16 CAIDA, 'Macroscopic Topology AS-Adjacencies Data set', www.caida.org/tools/measurement/skitter/as_adjacencies.xml
- 17 H. Jeong, S. Mason, A.L. Barabasi and Z.N. Oltvai, 'Centrality and lethality of protein networks', *Nature* 411, 41, 2001
- 18 A. Jamakovic, S. Uhlig and I. Theisler, *On the relationships between topological metrics in real-world networks*, Proc. of the 4th European Conference on Complex Systems (ECCS07), Dresden, Germany, October, 2007
- 19 www.magicbob.nl/oranjequiz.html

	Speler	Wedstr.	Min.	Goals	DQ
1	Beb Bakhuys	23	2070	28	1.22
2	Pierre van Hooydonk	46	1295	14	0.97
3	Leen Vente	21	1870	19	0.91
4	Faas Wilkes	38	3450	35	0.91
5	Kick Smit	29	2587	26	0.90
6	John Bosman	30	1968	17	0.78
7	Mannes Francken	22	2010	17	0.76
8	Ruud Geels	20	1310	11	0.76
9	Tonny van de Linden	24	2138	17	0.72
10	Abe Lenstra	47	4260	33	0.70

Tabel 7 Doelpuntenquotiënt (spelers met minimaal 20 interlands)



Figuur 5 Visualisatie van het Nederlands-elftalnetwerk