

# Die mede-outeurskapnetwerk in die *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* (1982-2021)

B Senekal

Universiteit van die Vrystaat, Suid-Afrika

**Korresponderende outeur:** B Senekal **E-pos:** [burgertsenekal@yahoo.co.uk](mailto:burgertsenekal@yahoo.co.uk)

Samewerking het oor die afgelope eeu in byna alle wetenskaplike velde toegeneem, met 'n merkbare versnelling oor die afgelope dekades. Die redes vir hierdie toename sluit in die inligtingsontploffing en die uitdaging wat dit aan individuele navorsers stel om kennis te assimileer, die kompleksiteit van navorsingsvrae wat meer diverse kundigheid vereis, en die toenemende belangrikheid van interdisiplinêre navorsing. Die huidige studie ondersoek die mede-outeurskapnetwerk in een van die min Afrikaanse vaktydskrifte in die natuurwetenskappe, die *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie*. Met inagneming van navorsingsartikels wat oor die afgelope vier dekades gepubliseer is, word getoon dat die gemiddelde getal skrywers per artikel met 78,66% toegeneem het van die gemiddelde van die 1980's tot die gemiddelde van die 2020's. Daar word egter getoon dat die netwerk hoogs gefragmenteerd is, wat bestaan uit 226 onverbonde komponente en 'n reusekomponent wat slegs 10,05% van outeurs uitmaak. Hierdie klein, onverbonde komponente is dig verbind met 'n gemiddelde padlengte van 2,47 en oorganklikheid van 0,89, wat lei tot 'n kleinwêreldsheid van 486,77. Soos gevind in ander mede-outeurskapnetwerke, word hierdie netwerk ook regs skeef getoon met 'n skeefheid van 1,49. Deur graadsentraliteit en PageRank te gebruik, word sleutelouteurs ook geïdentifiseer.

**Sleutelwoorde:** mede-outeurskapnetwerk, samewerking in die wetenskap, komplekse netwerke, kleinwêreldnetwerke, sosiale netwerke, Afrikaanse wetenskaplike publikasies

**The co-authorship network in the *South African Journal of Science and Technology* (1982-2021):** Collaboration has increased in nearly all scientific fields over the past century, with a marked acceleration in recent decades. Reasons for this increase include the information explosion and the strain it puts on individual researchers to assimilate knowledge, the complexity of research questions, which requires more diverse expertise, and the increasing importance of interdisciplinary research. The current study investigates the co-authorship network in one of the few Afrikaans language journals in the natural sciences, *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* (South African Journal of Science and Technology). Taking into account research articles published over the past four decades, it is shown that the average number of authors per paper has increased by 79% from the average of the 1980s to the average of the 2020s. The network, however, is shown to be highly fragmented, consisting of 226 unconnected components and a gigantic component that only comprises 10% of authors. These small, unconnected components are densely connected with an average path length of 2,47 and transitivity of 0,89, resulting in a small-worldness of 487. As found in other co-authorship networks, this network is also shown to be right-skewed with a skewness of 1,49, meaning that a small number of authors are highly productive collaborators, while the majority only collaborate on a few papers. Using degree centrality and PageRank, key authors are also identified.

**Keywords:** co-authorship network, collaboration in science, complex networks, small world networks, social networks, Afrikaans scientific publications

## Inleiding

Die wetenskap het oor die afgelope eeu meer van 'n samewerkingspoging geword as wat voorheen die geval was (Wuchty et al. 2007). Die redes vir hierdie samewerkingstendens sluit in die kompleksiteit van hedendaagse navorsingsvrae, wat kundigheid van 'n groter aantal ondersoekers vereis, die inligtingsontploffing, wat 'n groter aantal outeurs vereis om 'n groot hoeveelheid inligting te assimileer, en die toename in interdisiplinêre wetenskap, wat kennis van verskillende velde vereis (Wang & Barabási 2021). Feng en Kirkley (2020) argumenteer byvoorbeeld dat die kompleksiteit van huidige navorsingsonderwerpe die sintese van idees, teorieë en metodologieë uit ander akademiese velde noodsaak, asook die ontwikkeling van nuwe studieveldde buite gevestigde dissiplinêre grense. Sedert die middel van die 1980's was daar 'n toenemende neiging tot interdisiplinêre navorsing in die meeste velde van die wetenskap, en volgens Feng en Kirkley (2020) kan hierdie toename daardeur verklaar word dat 'n omvattende benadering om uitdagings te verstaan die integrasie van verskeie kennisdissiplines vereis (Gates et al. 2019).

Namate die wetenskap meer globaal georiënteerd geword het, het individuele wetenskaplikes toenemend onder druk gekom om 'n globale gehoor te bereik ten einde 'n impak te maak, en hierdie impak beïnvloed dikwels aanstellings en bevorderings. Een van die strategieë wat deur wetenskaplikes gebruik word om 'n globale gehoor te bereik, is om in Engels te publiseer, omdat publikasies in Engels oor die algemeen meer verwysings ontvang as publikasies in enige ander taal (Kirillova 2019). Die verskuiwing na meer publikasies in Engels het daartoe gelei dat baie nie-Engelstalige vaktydskrifte hul taalbeleide verander het, met sommige wat na slegs-Engelse publikasies verskuif het, terwyl ander die publikasie van parallelle tekste in Engels en 'n ander taal toelaat (Kirillova 2019).

Een van die Suid-Afrikaanse vaktydskrifte wat verengelsing sterk weerstaan het, is die *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie (SATNT)*. As die Natuurwetenskap-tak van die vaktydskrifpublikasies van die Suid-Afrikaanse Akademie vir Wetenskap en Kuns, beoog *SATNT* om die hoër funksies van Afrikaans in 'n natuurwetenskaplike konteks te bewaar en te ontwikkel, soos die *Tydskrif vir Geesteswetenskappe* ten doel het om die hoër funksies van Afrikaans in 'n geesteswetenskaplike konteks te bewaar en te ontwikkel. In onlangse jare het *SATNT* navorsers ook toegelaat om 'n parallelle artikel in Engels te publiseer en sodoende 'n globale gehoor te bereik, en terselfdertyd die hoër funksies van Afrikaans te ontwikkel. Navorsers in die Natuurwetenskappe is egter onder groot druk om 'n globale gehoor te bereik, wat meebring dat *SATNT* saam met *LitNet Akademies Natuurwetenskappe* een van die min kanale is waar Afrikaanse wetenskaplikes hul bevindinge in Afrikaans kan publiseer.

Die huidige studie ontleed die mede-outeurskapnetwerk in *SATNT*. Met behulp van bibliografiese data wat oor byna vier dekades strek, poog die studie om die volgende vrae te beantwoord:

1. In watter mate werk skrywers saam aan publikasies in *SATNT*, en hoe het samewerking oor die afgelope vier dekades verander?
2. Wat suggereer die struktuur van die mede-outeurskapnetwerk in *SATNT* oor inligtingsvloei en die samehang van hierdie netwerk?
3. Wie is die sleutelouteurs in die mede-outeurskapnetwerk in *SATNT*?

Die artikel is soos volg gestruktureer: Eerstens word die studie van samewerkingsnetwerke vanuit die perspektief van die netwerkwetenskap bespreek, met inbegrip van maatstawwe wat in die huidige studie gebruik word. Tweedens word die metodes wat in die huidige studie gebruik word, bespreek, met inbegrip van hoe data ingesamel en verwerk is. Daarna word die bevindinge van die huidige studie gerapporteer en bespreek. Die studie word afgesluit met slotopmerkings en voorstelle vir verdere navorsing.

## Teorie en berekenings

Die netwerkwetenskap is 'n onlangse benadering in die wetenskap en hang hoofsaaklik saam met kompleksiteit, sisteemteorieë, sosialeneterkanalise (SNA) en wiskundige grafiekteorie. Hoewel die wortels van die netwerkwetenskap sover terug strek as die 1700's, voer Barabási (2016) aan dat hierdie benadering eers werklik in die laat 1990's ontstaan het en sedert die vroeë 2000's ontwikkel is. In breë trekke behels 'n netwerkbenadering 'n kwantitatiewe benadering tot komplekse sisteme waar die klem op verhoudinge binne die netwerk val, eerder as op die individuele eienskappe van entiteite (Barabási 2016).

Mede-outeurskapnetwerke is reeds in 'n verskeidenheid netwerkwetenskaplike studies bestudeer (Newman 2001, 2004; Barabási et al. 2002; Durbach et al. 2008; Uddin et al. 2012; Bibi et al. 2018; Kong et al. 2019; Molontay & Nagy 2019, 2021; Feng & Kirkley 2020). In 'n mede-outeurskapnetwerk word outeurs en publikasies as nodusse voorgestel, en 'n skakel word aangedui tussen outeurs en die publikasies waartoe hulle bygedra het (Molontay & Nagy 2019; Wang & Barabási 2021). Om samewerking te bestudeer, kan die netwerk geprojekteer word vanaf sy tweeledige vorm, wat bestaan uit twee tipes nodusse (outeurs en publikasies), na 'n enkelledige netwerk, waar 'n skakel aangedui word tussen twee outeurs wat mede-outeurs van 'n publikasie is (Molontay & Nagy 2019, 2021). Die betekenis van die skakel verander met die projeksie van tweeledige na enkelledige netwerk van "outeur van" na "outeur saam met."

'n Mede-outeurskapnetwerk kan op 'n makrovlak bestudeer word, wat die struktuur van die netwerk ondersoek, 'n mesovlak, wat die omvang van gemeenskapsvorming ondersoek, en 'n mikrovlak, wat die sleutelnodusse in 'n netwerk identifiseer. Die huidige studie ondersoek die mede-outeurskapnetwerk in *SATNT* op al drie vlakke.

### Makrovlakeienskappe van mede-outeurskapnetwerke

#### Kleinwêreldsheid

'n Eerste belangrike makrovlakeienskap van 'n netwerk is die kleinwêreldsheid daarvan, wat die gemiddelde padlengte ( $L$ ) tussen nodusse en die mate van groeperingsvorming ( $C^{WS}$ ) of oorganklikheid ( $C^d$ ) wat plaasvind, ondersoek, vergeleke met hierdie waardes vir 'n netwerk waar skakelvorming op 'n lukrake wyse plaasvind (Senekal 2020) (kyk hieronder). 'n Pad in 'n netwerk verwys na die kleinste getal stappe wat nodig is om 'n nodus van 'n ander nodus af te bereik (Senekal 2020). Die gemiddelde pad in 'n netwerk ( $L$ ) word bereken met Vergeelyking (1) (Liang et al. 2009), waar  $d_{ij}$  die kortste pad tussen nodusse  $i$  en  $j$  aandui en  $N$  die totale getal nodusse in die netwerk, met  $N(N-1)$  wat die maksimum getal skakels in die netwerk aandui. Die meeste netwerke word gekenmerk deur 'n kort gemiddelde padlengte, soos gemodelleer deur Watts en Strogatz (1998).

$$L = \frac{2\sum_{i>j} d_{ij}}{N(N-1)} \quad (1)$$

Groeperingsvorming ("clustering" of  $C^{WS}$ ), soos geformuleer in Watts en Strogatz (1998), meet die getal skakels wat tussen die bure van 'n nodus gevind word, vergeleke met die getal moontlike skakels (Senekal 2020). Groeperingsvorming kan met Vergelyking (2) bereken word (Liang et al. 2009; Barabási 2016), waar  $E_i$  na die getal skakels tussen die bure van nodus  $i$  verwys, en  $k_i$  na die getal skakels van nodus  $i$ .

$$C_i = \frac{2E_i}{k_i(k_i-1)} \quad (2)$$

Die groepering van die hele netwerk ( $C^{WS}$ ) is dan die gemiddelde van  $C_i$  vir die netwerk, soos in Vergelyking (3).

$$C^{WS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i \quad (3)$$

Groeperingsvorming ( $C^{WS}$ ) is soortgelyk aan oorganklikheid ("transitivity" of  $C^{\Delta}$ ) en lewer dikwels vergelykbare waardes, hoewel hierdie twee metings nie identies is nie. Oorganklikheid ( $C^{\Delta}$ ) vergelyk die aantal driehoeke en drietalle in 'n netwerk, waar 'n driehoek 'n stel van drie nodusse is waar 'n skakel tussen al drie nodusse voorkom en 'n drietal 'n stel van drie nodusse is waar slegs twee skakels voorkom (Senekal 2020). Oorganklikheid ( $C^{\Delta}$ ) word bereken met Vergelyking (4) (Humphries & Gurney 2008; Barabási 2016).

$$C^{\Delta} = \frac{3 \times \text{getal driehoeke}}{\text{getal drietalle}} \quad (4)$$

Aangesien Humphries en Gurney (2008)  $C^{\Delta}$  bo  $C^{WS}$  verkies, is hul voorbeeld in die huidige studie gevolg en word  $C^{\Delta}$  eerder as  $C^{WS}$  bereken. Die algoritme ontwikkel deur Latapy (2008) word in berekeninge van  $C^{\Delta}$  hieronder gebruik.

Om 'n netwerk as 'n kleinwêreldnetwerk te klassifiseer moet die waardes van  $L$  en  $C$  ( $C^{WS}$  of  $C^{\Delta}$ ) vir die netwerk vergelyk word met hierdie waardes vir 'n ekwivalente netwerk wat saamgestel is deur gebruik te maak van Erdős en Rényi se lukrake netwerkmodel (Erdős & Rényi 1960), wat as  $L_{ER}$  en  $C_{ER}$  onderskeidelik geskryf kan word (Senekal 2020). 'n Ekwivalente netwerk verwys hier na Erdős en Rényi se  $G(n,m)$ -model, waar die getal nodusse ( $n$ ) en skakels ( $m$ ) in die model gelyk is aan dié van die oorspronklike netwerk.

Fronczak, Fronczak en Holyst (2004) illustreer dat 'n presiese formulering van  $L_{ER}$  in Vergelyking (5) gevind kan word, waar  $N$  die getal nodusse in die netwerk aandui, en  $\langle k \rangle$  die gemiddelde getal skakels in die netwerk. Hul berekening van  $L_{ER}$  word in die huidige studie gebruik.

$$L_{ER} = \frac{\ln N - \gamma}{\ln \langle k \rangle} + \frac{1}{2} \quad (5)$$

Vir groeperingsvorming in ER-netwerke stel Shen en Wu (2005) Vergelyking (6) voor, wat ook in die huidige studie gebruik is.

$$C_{ER} \approx \frac{\langle k \rangle}{N} \quad (6)$$

'n Kleinwêreldnetwerk word gewoonlik as sodanig gedefinieer wanneer  $L \approx L_{ER}$  en  $C \gg C_{ER}$  (Liang et al. 2009). Meer presies stel Humphries en Gurney (2008) voor dat kleinwêreldheid ( $S$ ) met Vergelykings (7), (8) en (9) gekwantifiseer kan word.

$$\gamma = \frac{C}{C_{ER}} \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{L}{L_{ER}} \quad (8)$$

$$S = \frac{\gamma}{\lambda} \quad (9)$$

Volgens Humphries en Gurney (2008) is 'n netwerk 'n kleinwêreldnetwerk indien  $S > 1$ , maar wanneer  $1 \leq S \leq 3$  is die netwerk 'n grensgeval, wat beteken dat wanneer  $S > 3$  die netwerk 'n duidelike kleinwêreldnetwerk is. Youngblood en Lahti (2018) het Humphries en Gurney (2008) se maatstaf op 'n mede-outeurskapnetwerk toegepas en 'n waarde van  $S = 22,42$  gekry, en die verwagting is dat die mede-outeurskapnetwerk van SATNT ook 'n kleinwêreldnetwerk sal wees.

### Skakelverspreidingspatrone

Die skakelverspreidingspatroon in baie netwerke is tipies regs skeef, leptokurties en het 'n hoë standaardafwyking (Yamashita et al. 2019; Sidorov et al. 2021). Hierdie netwerke, genoem skaalvrye ("scale-free") of vetstert- ("fat-tailed") netwerke, is deur Barabási en Albert (1999) gemodelleer, wat geïdentifiseer het dat die verspreiding van skakels in die meeste netwerke 'n kragwet volg. Hoewel daar 'n mate van debat is oor tegnieke wat gebruik word om die skakelverspreiding van netwerke by die kragwet te laat inpas (Clauset et al. 2009), argumenteer Stumpf en Porter (2012) dat die identifikasie van 'n skewe skakelverspreidingspatroon belangriker is as die vraag of die skakelverspreidingspatroon aan die tegniese vereistes van die kragwet voldoen of nie. Stumpf en Porter se voorstel word hier gevolg deur bloot die skeefheid van die skakelverspreiding in die mede-outeurskapnetwerk in SATNT te bereken.

### Mesovlakeienskappe

'n Mesovlaknetwerkontleding ondersoek die vorming van gemeenskappe, soos gemeet met behulp van modulariteit (Blondel et al. 2008), blokmodellering (Peixoto 2019) of statistiese afleiding (Zhang & Peixoto 2020). Op 'n eenvoudiger vlak kan die vorming van verbinde komponente bestudeer word, wat komponente identifiseer waar elke nodus aan elke ander nodus verbind is (Wang & Barabási 2021), byvoorbeeld deur die algoritme te gebruik wat deur Tarjan (1972) ontwikkel is. In 'n mede-outeurskapnetwerk sal 'n verbinde komponent 'n groep outeurs verteenwoordig waar outeurs saam met ander gepubliseer het, wat ook saam met verdere outeurs gepubliseer het, byvoorbeeld indien Outeur A saam met Outeur B gepubliseer het, maar Outeur B het ook saam met Outeur C en D gepubliseer, dan vorm Outeurs A, B, C en D 'n verbinde komponent. Aangesien die identifisering van die reuse-komponent – die grootste verbinde komponent in 'n netwerk –

belangrik is in mede-outeurskapnetwerkstudies, en aangesien mede-outeurskapnetwerke groot getalle onverbinde komponente kan bevat, is die ontleding hieronder beperk tot die bestudering van verbinde komponente.

### Mikrovlakeienskappe

Die belangrikheid van individuele nodusse in 'n netwerk kan met 'n verskeidenheid maatstawwe bereken word, waarvan die gewildste graad-, tussenligging- en nabyheidsentraliteit (Freeman 1977), Eigenvektorsentraliteit (Bonacich 1987) en PageRank (Brin & Page 1998) is. Hierdie maatstawwe is reeds met vrug in vroeëre mede-outeurskapnetwerkstudies gebruik om belangrike outeurs te identifiseer (Uddin et al. 2012; Bibi et al. 2018; Zhou et al. 2018; Kong et al. 2019; Molontay & Nagy 2019, 2021).

Graadsentraliteit ("degree centrality") identifiseer gewoonlik aktiewe nodusse in 'n netwerk en sal die outeurs identifiseer wat saam met die grootste getal ander outeurs in 'n mede-outeurskapnetwerk gepubliseer het. Hierdie maatstaf meet eenvoudig die getal direkte skakels van 'n nodus en is daarom 'n plaaslike meting wat nie die hele netwerk in ag neem nie, in teenstelling met die ander maatstawwe wat hier gebruik word. Graadsentraliteit ( $C_D$ ) word bereken deur gebruik te maak van Vergelyking (10), waar  $(n_i)$  'n nodus in 'n stel nodusse verteenwoordig, en  $d(n_i)$  die graad van 'n nodus  $n_i$  (Bibi et al. 2018).

$$C_D(n_i) = d(n_i) \quad (10)$$

Nabyheidsentraliteit ("closeness centrality") identifiseer die nodusse wat gemiddeld enige ander nodus met die kortste pad kan bereik en neem daardeur alle skakels in die netwerk in ag. Nabyheidsentraliteit ( $C_C$ ) word bereken deur gebruik te maak van Vergelyking (11), waar  $C_C(n_i)$  die nabyheidsentraliteit van die gegewe nodus verteenwoordig, en  $d(n_i, n_j)$  die afstand tussen twee gegewe nodusse in die netwerk is (Bibi et al. 2018).

$$C_C(n_i) = \left[ \frac{\sum_j d(n_i, n_j)}{N-1} \right]^{-1} \quad (11)$$

Tussenliggingsentraliteit ("betweenness centrality") identifiseer nodusse in oorbruggingsrolle wat op kort paaie in die netwerk geposisioneer is en is ook 'n globale maatstaf wat alle skakels in die netwerk in ag neem. Tussenliggingsentraliteit ( $B_C$ ) word bereken deur gebruik te maak van Vergelyking (12), waar  $B_C(n_i)$  die tussenliggingsentraliteit van die gegewe nodus verteenwoordig,  $\sigma_{st}$  die totale getal kortste paaie van nodus  $n_i$  na nodus  $n_j$  en  $\sigma_{st}(n_i)$  die getal kortste paaie wat deur nodus  $n_i$  gaan (Bibi et al. 2018).

$$B_C(n_i) = \sum_{n_j \neq n_i, n_k \in A} \frac{\sigma_{st}(n_i, n_j) \sigma_{st}(n_j, n_k)}{\sigma_{st}} \quad (12)$$

In die huidige studie is die algoritme wat deur Brandes (2001) ontwikkel is, gebruik om tussenliggingsentraliteit mee te bereken.

PageRank (Brin & Page 1998) is ontwikkel deur die stigters van Google om soekresultate op die wêreldwye web mee te rangskik, maar hierdie maatstaf se bruikbaarheid om belangrike

nodusse in ander soorte netwerke te identifiseer, waaronder mede-outeurskapnetwerke, is deeglik gedemonstreer (Liu et al. 2005; Bibi et al. 2018; Zhou et al. 2018; Kong et al. 2019). PageRank word bereken deur gebruik te maak van Vergelyking (13), waar  $d$  die dempfaktor is,  $PR(n_j)$  gebruik word om die PageRank van nodus  $n_j$  voor te stel en  $OD(n_j)$  die uit-graad van nodus  $n_j$  (Bibi et al. 2018) verteenwoordig.

$$PR(n_j) = \sum_{j=1}^n \frac{PR(n_j)}{OD(n_j)} + \frac{1-d}{N} \quad (13)$$

Liu et al. (2005) het ondersoek ingestel na watter maatstaf die beste daarmee vaar om die belangrikste outeurs in 'n mede-outeurskapnetwerk te identifiseer, en het bevind dat PageRank die beste vaar, tussenliggingsentraliteit minder goed, en graad- en nabyheidsentraliteit die swakste. Aangesien Liu et al. (2005) die voordele van die gebruik van PageRank bo graad-, nabyheid- en tussenliggingsentraliteit in mede-outeurskapnetwerke gedemonstreer het, word voorkeur hieronder aan PageRank gegee, hoewel waardes verskaf word vir ander sentraliteits-berekeninge.

Die volgende afdeling bespreek die versameling van data.

### Metodes

Bibliografiese data is vir die huidige studie ingesamel deur gebruik te maak van die vaktydskrif se webblad op AOSIS (<https://journals.satnt.aosis.co.za/index.php/satnt/issue/archive>) en die vaktydskrif se webblad op Sabinet (<https://journals.co.za/loi/aknat>). Terwyl die vaktydskrif se eie webblad (<http://www.satnt.ac.za/index.php/satnt>) alle uitgawes sedert 1982 bevat, bevat AOSIS slegs uitgawes van 1982 tot 2017, en Sabinet bevat slegs uitgawes sedert 2001. Die formaat van die vaktydskrif se AOSIS- en Sabinet-webblaaie het egter voorsiening gemaak vir 'n minder tydrovende insameling van data met behulp van die toepassing Sciwheel (<https://sciwheel.com/>), 'n verwysingsbestuurhulpmiddel. Die tydskrif se AOSIS-webblad is vir bibliografiese data van 1982 tot 2017 gebruik, en die tydskrif se Sabinet-webblad vir bibliografiese data van 2018 tot 2021. Aangesien die fokus van die huidige studie op navorsingsartikels is, is alle publikasies ingesluit wat as oorspronklike navorsing gemerk is, maar redaksionele notas, boekresensies, uitnodigings om bydraes, aankondigings en konferensieverrigtinge is van die ontleding uitgesluit.

Sciwheel maak dit moontlik om verskeie metadatavelde, byvoorbeeld outeur(s), titel, datum van publikasie, bladsynommers, volume, nommer, Digital Object Identifier (DOI) (indien beskikbaar) en nog vele meer te versamel. Slegs die eerste drie velde (outeur(s), titel, datum van publikasie) was vir die huidige studie van belang. Sciwheel laat ook die navorser toe om rekords in 'n kommageskeide waarde (.csv)-formaat uit te voer, wat dan in Google Sheets (<https://www.google.com/sheets/about/>) ingevoer is vir ontleding.

Nadat 'n lys van publikasies saamgestel is, is skrywersname gestandaardiseer. Skrywers sal soms met hul voorname gelys word, ander kere met 'n voornaam en 'n voorletter, en ander kere met slegs voorletters, benewens ander variasies wat voorkom (soos Kotzé en Kotze). 'n Lys outeurs is in Google

Sheets onttrek en handmatig vir konsekwentheid gekontroleer. Nadat die data deeglik nagegaan is vir konsekwentheid, is 'n lys van nodusse en skakels saamgestel vir invoer in Gephi (Bastian, Heymann en Jacomy, 2009), 'n netwerkontledingsagteware-pakket. Twee tipes nodusse is gebruik: outeurs en die titel van publikasies. Die netwerk is geprojekteer na 'n enkelledige netwerk, soos voorheen bespreek is.

Die volgende afdeling bespreek die resultate van die huidige studie.

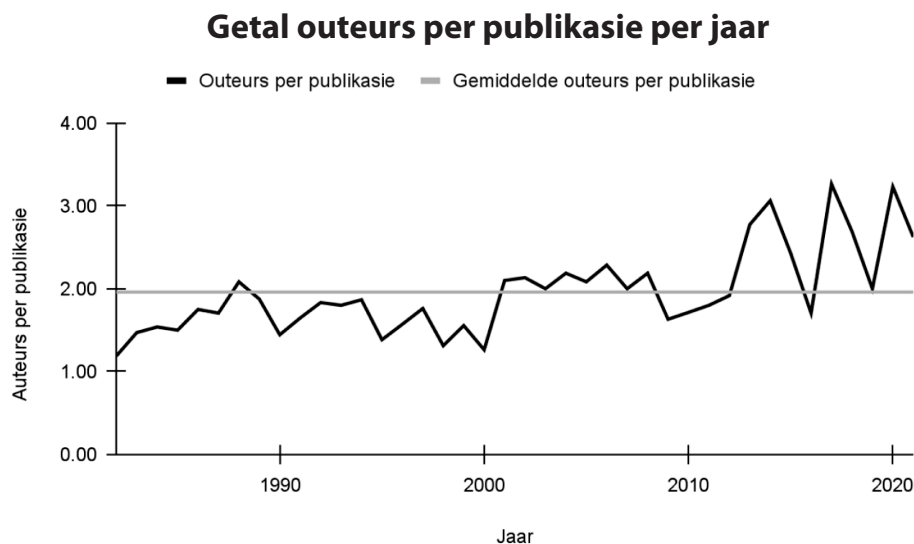
## Resultate en bespreking

### Oorsig oor die datastel

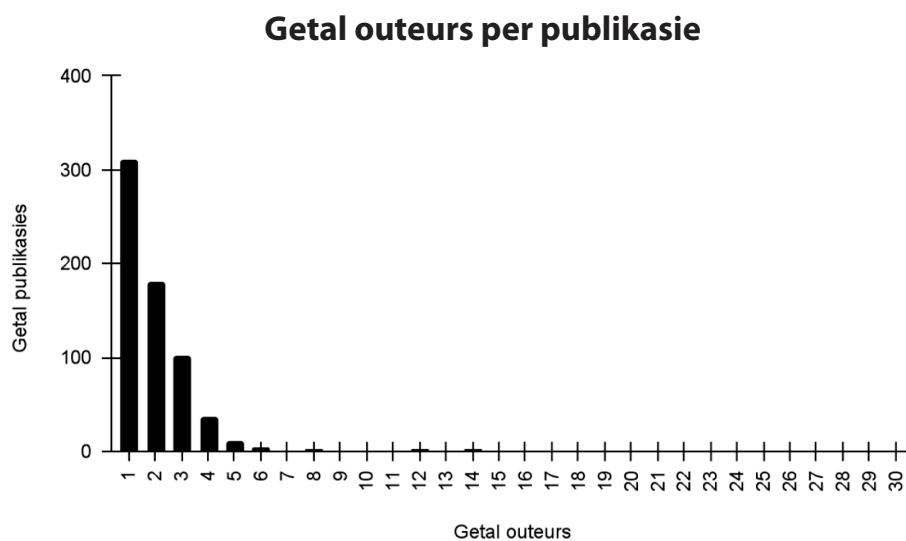
Daar is 654 publikasies in hierdie datastel, wat oor 38 jaar strek teen 'n gemiddeld van 16,35 publikasies per jaar vanaf 1982-03-24 tot 2021-01-01.<sup>1</sup> Figuur 1 toon die getal outeurs per publikasie vir die hele tydperk.

Publikasies is geskryf deur 755 unieke outeurs teen 'n gemiddelde van 1,96 outeurs per publikasie. Die meeste publikasies (311 of 47,55%) is deur een outeur geskryf, gevolg deur twee outeurs (180 of 27,52% van publikasies) en drie outeurs (101 of 15,44% van publikasies). Hierdie is 'n verrassende bevinding, aangesien enkelouteurpublikasies in die Geesteswetenskappe oorheers, maar nie gewoonlik in die Natuurwetenskappe nie (Wuchty et al. 2007). Samewerking kom egter dikwels voor en die maksimum getal outeurs per publikasie is 14, met 'n totaal van sewe publikasies (1,07% van publikasies) wat deur meer as tien outeurs geskryf is.

Terwyl enkelouteurpublikasies oor die hele tydperk oorheers, het samewerking egter meer algemeen geword, met 'n waarneembare toename in samewerking oor die afgelope twee dekades. Figuur 2 toon die gemiddelde getal outeurs per jaar.



**Figuur 2:** Die gemiddelde getal outeurs per jaar



**Figuur 1:** Die getal outeurs per publikasie

1. Die presiese datum van publikasie, soos aangedui op die betrokke webblaaie, is hier gebruik. Indien die publikasiedatums slegs in jare aangedui is, strek die datastel oor 39 jaar.



Die gemiddelde getal outeurs per publikasie wissel tussen 1,19 (1982) en 3,26 (2017). Soos Figuur 2 toon, was die getal outeurs per publikasie meestal bo die gemiddelde van 1,96 outeurs per publikasie sedert 2001, en meestal onder die gemiddelde vir 1982 tot 2000. Daar was 'n 25,35%-toename in die gemiddelde getal outeurs per publikasie van die 2010's tot die huidige dekade, 'n 17,54%-toename van die 2000's tot die 2010's, en 'n 22,84%-toename vanaf die 1990's tot die 2000's. In die 1990's was daar gemiddeld 1,62 outeurs per publikasie, in die 2000's gemiddeld 1,99 outeurs per publikasie, in die 2010's gemiddeld 2,34 outeurs per publikasie, en in die 2020's gemiddeld 2,93 outeurs per publikasie. In die geheel het die getal outeurs per publikasie met 78,66% toegeneem van die gemiddelde gedurende die 1980's tot die gemiddelde gedurende die 2020's, wat 'n duidelike neiging na meer samewerking toon. Hierdie toename in samewerking is in ooreenstemming met die bevindinge van vorige studies oor samewerking in die wetenskap (Wuchty et al. 2007; Uddin et al. 2012; Bibi et al. 2018).

Die volgende onderafdeling bespreek die mede-outeurskapnetwerk in meer besonderhede.

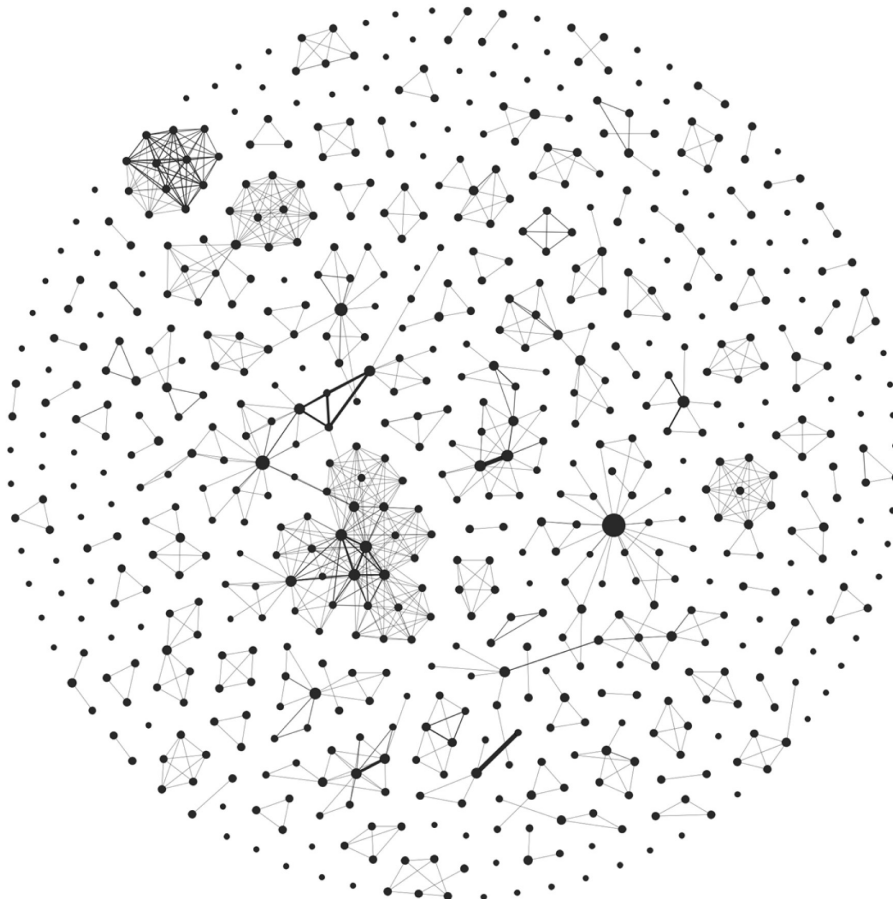
### Die mede-outeurskapnetwerk

#### Makrovlakeienskappe

Figuur 3 toon die mede-outeurskapnetwerk in SATNT van 1982 tot 2021. Die visualisering is gedoen met behulp van Gephi (Bastian et al. 2009) met die kraggebaseerde uitlegalgoritme

wat deur Fruchterman en Reingold (1991) ontwikkel is. Nodusse se PageRank-waardes is deur hul grootte aangedui (kyk hieronder). Die gemiddelde graad ( $\langle k \rangle$ ) is 2,86, die mediaan is 2 en die mees algemene graad is 2. Soos hierdie netwerkgrafiek wys, bestaan die netwerk uit talle onverbinde komponente, eerder as 'n groot reusekomponent waar die meeste nodusse verbind is. Hierdie gefragmenteerde aard van die mede-outeurskapnetwerk word hieronder in meer besonderhede bespreek.

Die gemiddelde padlengte ( $L$ ) in hierdie netwerk is as 2,47 bereken, en oorganklikheid ( $C$ ) as 0,89.  $L_{ER}$  is bereken as 6,09, en  $C_{ER}$  as 0,004, wat beteken dat hierdie netwerk 'n kleinwêreldnetwerk is met 'n kleinwêreldsheid van  $S = 486,77$ . Die gemiddelde padlengte is buitengewoon laag in die SATNT-netwerk, met Newman (2004) wat byvoorbeeld gemiddelde padlengtes tussen 4,6 en 7,6 gevind het, Durbach et al. (2008) gemiddelde padlengtes van 5,57 en 4,51, Bibi et al. (2018) 'n gemiddelde padlengte van 4,10, en Maloney en Nagy (2019) 'n gemiddelde padlengte van 6,8 (6,6 in Molontay en Nagy (2021)). Oorganklikheid is egter soortgelyk aan die bevindings van Molontay en Nagy (2019, 2021), wat onderskeidelik 0,98 en 0,97 in hul twee studies bereken het, en Durbach et al. (2008), wat 0,43 en 0,85 gevind het. Hierdie lae gemiddelde pad en hoë mate van oorganklikheid beteken dat skrywers dikwels met dieselfde ander outeurs saamwerk, wat die indruk kan skep dat hierdie 'n heg verbinde mede-outeurskapnetwerk is. Soos



Figuur 3: Die mede-outeurskapnetwerk in SATNT (1982-2021)

Figuur 3 aandui, is die hegte verbindings egter lokaal: die netwerk bestaan uit 'n groot getal heg verbinde maar klein subnetwerke.

Figuur 4 toon die graadverspreiding in die mede-outeurskapnetwerk in die huidige studie.

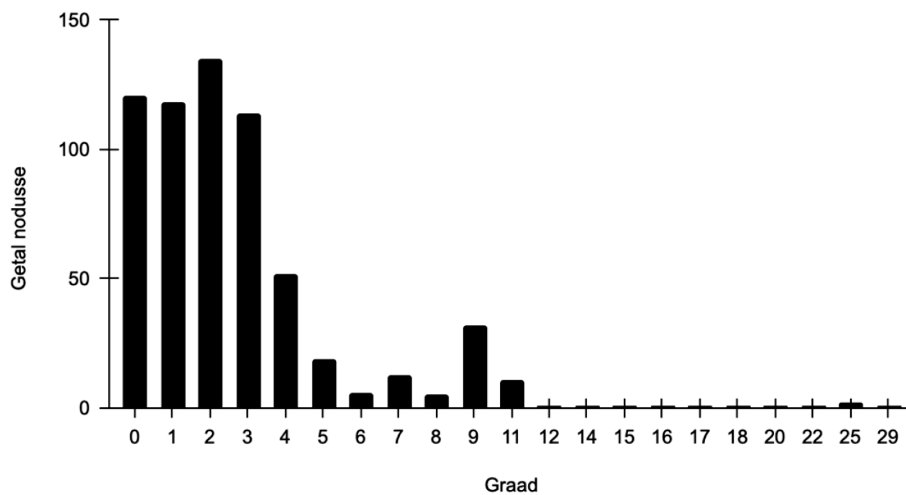
Nodusgrade wissel tussen 0 en 29. Die data is regs skeef met 'n skeefheid van 1,49. Die meeste nodusse (135 of 21,19%) het 'n graad van 2, gevolg deur 0 grade (121 of 19% van nodusse) en 1 graad (118 of 18,52% van nodusse). Slegs 22 nodusse (3,45% van nodusse) het 'n graad hoër as 10. Hierdie bevinding is in ooreenstemming met vorige studies in ander velde, waar Barabási et al. (2002) en Newman (2004) byvoorbeeld gevind het dat die skakelverspreiding in mede-outeurskapnetwerke, ongeag die veld, regs skeef is. Dit beteken dat baie min outeurs in die SATNT-mede-outeurskapnetwerk met 'n groot getal ander outeurs saamwerk; die meeste werk met min saam. Dié wat wel met 'n groot getal mede-outeurs saamwerk, word later in die huidige studie geïdentifiseer.

### Mesovlakeienskappe

Figuur 5 toon die komponentgrootteverspreiding.

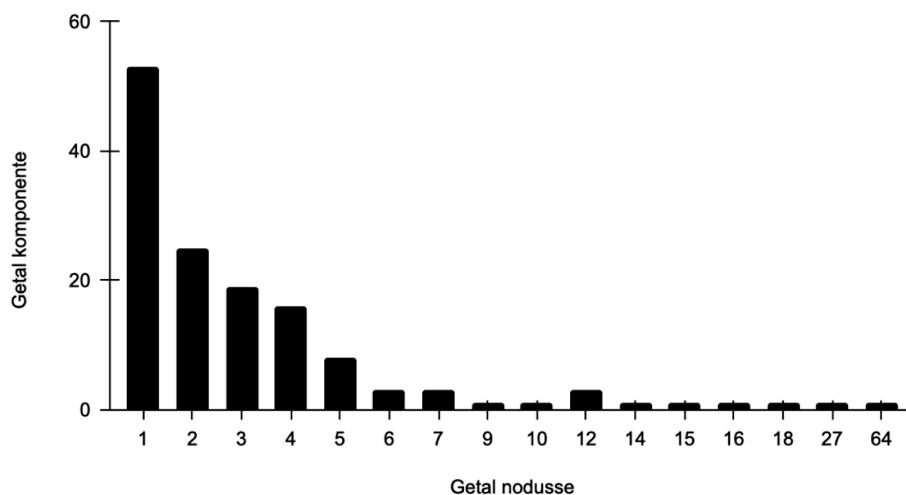
Daar is 226 komponente in hierdie netwerk en die reuse-komponent bestaan uit 64 nodusse (10,05% van nodusse). Die grootste getal komponente (53 of 38,41% van komponente) bevat een nodus, gevolg deur twee nodusse (25 of 18,12% van komponente) en drie nodusse (19 of 13,77% van komponente). Slegs een komponent (0,72% van die komponente) bevat meer as 30 nodusse. Hierdie groot getal onverbinde komponente toon 'n baie diverse mede-outeurskapnetwerk vergeleke met vorige mede-outeurskapnetwerkstudies: Newman (2001) het reusekomponente gevind wat bestaan uit 92,6%, 85,4%, 88,7% en 57,2% nodusse vir vier mede-outeurskapnetwerke, en in 'n ander studie het hy (2004) gevind dat 80-92% van wetenskaplikes in die Natuurwetenskappe in die reusekomponent verbind is. Molontay en Nagy (2019, 2021) het op hul beurt 'n reusekomponent gevind wat uit 62,8% van nodusse vir 'n mede-outeurnetwerk rondom die netwerkwetenskap bestaan. Bibi et

### Graadverspreiding



Figuur 4: Die graadverspreiding in die mede-outeurskapnetwerk in die huidige studie

### Komponentgrootteverspreiding



Figuur 5: Die komponentgrootteverspreiding

al. (2018) het 'n baie kleiner reusekomponent van 17,17% van nodusse gevind, maar daar moet kennis geneem word dat die outeurs nie onverbinde nodusse ingesluit het nie, wat beteken dat hul reusekomponent 'n baie kleiner segment sou gewees het as onverbinde nodusse ingesluit was, soos in die huidige studie die geval is. In Suid-Afrika het Durbach et al. (2008) 'n reusekomponent in Chemie gevind, waar 81% van outeurs verbind was, maar vir Wiskunde het hulle 'n baie kleiner reusekomponent gevind, waar slegs 16% van outeurs verbind was.

Die klein reusekomponent in die SATNT-mede-outeurskapnetwerk is te verwagte in 'n niegespesialiseerde vaktydskrif wat studies in 'n verskeidenheid wetenskaplike velde publiseer, eerder as 'n gespesialiseerde vaktydskrif, wat op een dissipline fokus (bv. die *South African Journal of Chemistry*). Nietemin spreek die klein reusekomponent en die groot getal onverbinde komponente van 'n hoogs diverse stel publikasies waar samewerking tussen klein groepies gekonsentreer is. Hierdie diversiteit beteken dat die vaktydskrif nie deur 'n enkele stel outeurs, wat gereeld onderling saamwerk, oorheers word nie, maar eerder 'n groot verskeidenheid onafhanklike spanne se navorsing en perspektiewe weerspieël.

### Mikrovlakeienskappe

Hoewel SATNT nie deur 'n groot reusekomponent van outeurs oorheers word nie, het die skakelverspreidingspatroon voorheen aangedui dat daar 'n klein getal outeurs is wat met 'n groter getal mede-outeurs saamwerk as wat die geval is vir die meerderheid outeurs. Tabel I toon die outeurs aan wat met die grootste getal ander outeurs saamgewerk het, soos gemeet met behulp van graadsentraliteit. Aan die regterkant word die outeurs met die hoogste PageRank-waardes getoon, weergegee in die vorm van 'n rang. Range ten opsigte van tussenliggingsentraliteit-waardes word ook aangedui. Nabyheidsentraliteit is nie aangedui nie, omdat die netwerk so gefragmenteerd is en nabyheidsentraliteit-waardes vir elke onverbinde komponent bereken, wat in hierdie geval nie sinvolle inligting bydra nie.

Hierdie is die sleutelouteurs in die SATNT-mede-outeurskapnetwerk, met die outeurs wat die hoogste graadsentraliteit behaal het dié wat saamgewerk het met die hoogste getal

mede-outeurs, en diegene wat die hoogste waarde ten opsigte van PageRank behaal het die outeurs wat sleutelposisies in hierdie netwerk beklee.

### Gevolgtrekking

Samewerking het die afgelope paar dekades aansienlik toegeneem in die wetenskap oor die algemeen. Die huidige studie het die mede-outeurskapnetwerk in SATNT ondersoek, en gevind dat die getal outeurs per publikasie gemiddeld met 78,66% van die 1980's tot die 2020's toegeneem het, wat 'n duidelike neiging tot meer samewerking toon. Die mede-outeurskapnetwerk is egter hoogs gefragmenteerd, wat bestaan uit 226 onverbinde komponente en die reusekomponent wat slegs 10,05% van nodusse insluit. Verbinde komponente is ook hegte komponente, met 'n gemiddelde padlengte van slegs 2,47 en oorganklikheid van 0,89. Soos in ander mede-outeurskapnetwerkstudies bevind is, is die skakelverspreiding regs skeef (met 'n skeefheid van 1,49), wat toon dat daar baie outeurs is wat met 'n klein getal ander outeurs saamwerk, en min wat met 'n groot getal outeurs saamwerk. Hierdie outeurs wat dikwels saamwerk, is ook uitgelig, en sleutelouteurs is geïdentifiseer deur PageRank vir outeurs te bereken.

Daar kan verwag word dat mede-outeurskapnetwerke oor die volgende dekades meer omvangryk en kompleks sal word, wat groter sosiale vaardighede sal vereis om kennis uit diverse velde te assimileer. Zhang et al. (2018) het voorgestel dat wetenskaplikes se bydraes nie net beoordeel moet word deur verwysingstellings of die aantal navorsingsuitsette wat hulle gelewer het nie, maar ook deur wetenskaplikes se posisies in mede-outeurskapnetwerke in berekening te bring. Navorsers se posisies in mede-outeurskapnetwerke bly 'n grootliks onontginde maatstaf in 'n Suid-Afrikaanse en Afrikaanse akademiese konteks, en toekomstige navorsing kan ondersoek of wetenskaplikes se posisies in mede-outeurskapnetwerke ook as maatstaf aangewend kan word om die bydraes van Suid-Afrikaanse wetenskaplikes te beoordeel, ook ten opsigte van hul bydraes tot Afrikaans as wetenskapstaal. In hierdie opsig sal dit belangrik wees om ook navorsers se affiliasies in berekening te bring ten einde die vlak van internasionale samewerking te bepaal, asook om die dissiplinewaarbinne navorsingsbevindinge gepubliseer is, in berekening te bring sodat ondersoek ingestel kan word na hoe samewerkings tussen dissiplines verskil.

**Tabel I:** Die sleutelouteurs in die mede-outeurskapnetwerk in die huidige studie

| Nodus                     | Graad | Nodus                  | Rang graad | Rang tussenligging | Rang PageRank |
|---------------------------|-------|------------------------|------------|--------------------|---------------|
| Nortjé, Evangeline        | 29    | Maree, Jacobus G.      | 4          | 5                  | 1             |
| Ferreira, Ronél           | 25    | Viljoen, Margaretha    | 8          | 2                  | 2             |
| Du Toit, Peet             | 25    | Crouse, Philippus L.   | 12         | 13                 | 3             |
| Maree, Jacobus G.         | 22    | Nortjé, Evangeline     | 1          | 7                  | 4             |
| Kleynhans, Michael        | 20    | Wolmarans, Cornelius T | 11         | 21                 | 5             |
| Grant, Catherina C.       | 18    | Kok, O.B.              | 73         | 34                 | 6             |
| Fraser, William           | 17    | Eloff, Jacobus N.      | 55         | 29                 | 7             |
| Viljoen, Margaretha       | 16    | Du Toit, Peet          | 2          | 9                  | 8             |
| Wood, Paola               | 15    | Ferreira, Ronél        | 2          | 8                  | 9             |
| Dippenaar-Schoeman, Ansie | 14    | De Kock, Kenné         | 12         | 23                 | 10            |



## Datums

Ontvang: 23/09/2022  
 Aanvaar: 24/11/2022  
 Gepubliseer: 27/01/2023

## ORCID

BA Senekal <https://orcid.org/0000-0002-1385-9258>

## Bibliografie

- Barabási, A.-L., 2016, *Network Science*. Cambridge: Cambridge University Press:475.
- Barabási, A. & Albert, R., 1999, Emergence of scaling in random networks, *Science*, 286(5439), 509-512. <https://doi.org/10.1126/science.286.5439.509>.
- Barabási, A.L., Jeong, H., Néda, Z., et al., 2002, Evolution of the social network of scientific collaborations, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 311(3-4), 590-614. [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(02\)00736-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(02)00736-7).
- Bastian, M., Heymann, S., Jacomy, M., 2009, Gephi: An open source software for exploring and manipulating networks, *Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media*, 3(1). <https://doi.org/10.1609/icwsm.v3i1.13937>.
- Bibi, F., Khan, H., Iqbal, T., et al., 2018, Ranking authors in an academic network using social network measures, *Applied Sciences*, 8(10), 1824. <https://doi.org/10.3390/app8101824>.
- Blondel, V.D., Guillaume, J.-L., Lambiotte, R., et al., 2008, Fast unfolding of communities in large networks, *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008(10), P10008. <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2008/10/P10008>.
- Bonacich, P., 1987, Power and centrality: A family of measures, *American Journal of Sociology*, 92(5), 1170. <https://doi.org/10.1086/228631>.
- Brandes, U., 2001, A faster algorithm for betweenness centrality, *The Journal of Mathematical Sociology*, 25(2), 163-177. <https://doi.org/10.1080/0022250X.2001.9990249>.
- Brin, S., Page, L., 1998, The anatomy of a large-scale hypertextual Web search engine, *Computer Networks and ISDN Systems*, 30(1-7), 107-117. [https://doi.org/10.1016/S0169-7552\(98\)00110-X](https://doi.org/10.1016/S0169-7552(98)00110-X).
- Clauset, A., Shalizi, C.R., Newman, M.E.J., 2009, Power-law distributions in empirical data, *SIAM Review*, 51(4), 661-703. <https://doi.org/10.1137/070710111>.
- Durbach, I.N., Naidoo, D., Mouton, J., 2008, Co-authorship networks in South African chemistry and mathematics, *South African Journal of Science*, 104(11), 487-492.
- Erdős, P., Rényi, A., 1960, On the evolution of random graphs, *Publications of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences*, 5, 17-61.
- Feng, S., Kirkley, A., 2020, Mixing patterns in interdisciplinary co-authorship networks at multiple scales, *Scientific Reports*, 10(1), 7731. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64351-3>.
- Freeman, L.C., 1977, A set of measures of centrality based on betweenness, *Sociometry*, 40(1), 35. <https://doi.org/10.2307/3033543>.
- Fronczak, A., Fronczak, P., Holyst, J.A., 2004, Average path length in random networks, *Physical Review E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 70(5 Pt 2), 056110. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.70.056110>.
- Fruchterman, T.M.J., Reingold, E.M., 1991, Graph drawing by force-directed placement, *Software: Practice and Experience*, 21(11), 1129-1164. <https://doi.org/10.1002/spe.4380211102>.
- Gates, A.J., Ke, Q., Varol, O., et al., 2019, Nature's reach: narrow work has broad impact, *Nature*, 575(7781), 32-34. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-03308-7>.
- Humphries, M.D., Gurney, K., 2008, Network 'small-world-ness': a quantitative method for determining canonical network equivalence, *Plos One*, 3(4), e0002051. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002051>.
- Kirillova, O.V., 2019, Publication language and the journal scientometric indicators in global citation databases, *Science Editor and Publisher*, 4(1-2), 21-33. <https://doi.org/10.24069/2542-0267-2019-1-2-21-33>.
- Kong, X., Mao, M., Jiang, H., et al., 2019, How does collaboration affect researchers' positions in co-authorship networks? *Journal of Informetrics*, 13(3), 887-900. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2019.07.005>.
- Latapy, M., 2008., Main-memory triangle computations for very large (sparse (power-law)) graphs, *Theoretical Computer Science*, 407(1-3), 458-473. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2008.07.017>.
- Liang, W., Shi, Y., Tse, C.K., et al., 2009., Comparison of co-occurrence networks of the Chinese and English languages, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 388(23), 4901-4909. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2009.07.047>.
- Liu, X., Bollen, J., Nelson, M.L. et al., 2005, Co-authorship networks in the digital library research community, *Information Processing & Management*, 41(6), 1462-1480. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2005.03.012>.
- Molontay, R., Nagy, M., 2019, Two decades of network science: As seen through the co-authorship network of network scientists, in Spezzano, F., Chen, W., en Xiao, X. (reds.) Proceedings of the 2019 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining. ASONAM'19: International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining, New York, NY, USA: ACM:578-583. <https://doi.org/10.1145/3341161.3343685>.
- Molontay, R., Nagy, M., 2021, Twenty years of network science: A bibliographic and co-authorship network analysis, in Çakırtaş, M. en Ozdemir, M. K. (reds.) Big data and social media analytics: trending applications. Cham: Springer International Publishing:1-24. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-67044-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-67044-3_1).
- Newman, M.E.J., 2001, Scientific collaboration networks. I. Network construction and fundamental results, *Physical Review E*, 64(1). <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.64.016131>.
- Newman, M.E.J., 2004, Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101 (Suppl 1), 5200-5205. <https://doi.org/10.1073/pnas.0307545100>.
- Peixoto, T.P., 2019, Bayesian Stochastic Blockmodeling, in Doreian, P., Batagelj, V., en Ferligoj, A. (reds.) Advances in network clustering and blockmodeling. Wiley, 289-332. <https://doi.org/10.1002/9781119483298.ch11>.
- Senekal, B.A., 2020, Instagram volkonomie as komplekse netwerke, *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie*, 39(1), 61-67. <https://doi.org/10.36303/SATNT.2020.39.1.792>.
- Shen, K., Wu, L., 2005, Folksonomy as a complex network, *ArXiv, abs/cs/0509072*.
- Sidorov, S., Mironov, S., Agafonova, N., et al., 2021, Temporal behavior of local characteristics in complex networks with preferential attachment-based growth, *Symmetry: Culture and Science*, 13(9), 1567. <https://doi.org/10.3390/sym13091567>.
- Stumpf, M.P.H., Porter, M.A., 2012, Mathematics: Critical truths about power laws, *Science*, 335(6069), 665-666. <https://doi.org/10.1126/science.1216142>.
- Tarjan, R., 1972, Depth-first search and linear graph algorithms, *SIAM Journal on Computing*, 1(2), 146-160. <https://doi.org/10.1137/0201010>.
- Uddin, S., Hossain, L., Abbasi, A., et al., 2012, Trend and efficiency analysis of co-authorship network, *Scientometrics*, 90(2), 687-699. <https://doi.org/10.1007/s11192-011-0511-x>.
- Wang, D., Barabási, A.-L., 2021, The science of science. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108610834>.
- Watts, D.J., Strogatz, S.H., 1998, Collective dynamics of 'small-world' networks, *Nature*, 393(6684), 440-442. <https://doi.org/10.1038/30918>.
- Wuchty, S., Jones, B.F., Uzzi, B., 2007, The increasing dominance of teams in production of knowledge, *Science*, 316(5827), 1036-1039. <https://doi.org/10.1126/science.1136099>.
- Yamashita, K., Yasuda, Y., Nakamura, R., et al., 2019, Revisiting the robustness of complex networks against random node removal, *Journal of Information Processing*, 27(0), 643-649. <https://doi.org/10.2197/ipsjip.27.643>.
- Youngblood, M., Lahti, D., 2018, A bibliometric analysis of the interdisciplinary field of cultural evolution, *Palgrave communications*, 4(1), 120. <https://doi.org/10.1057/s41599-018-0175-8>.
- Zhang, J., Hu, Y., Ning, Z., et al., 2018, AIRank: Author impact ranking through positions in collaboration networks, *Complexity*, 2018, 1-16. <https://doi.org/10.1155/2018/4697485>.
- Zhang, L., Peixoto, T.P., 2020, Statistical inference of assortative community structures, *Physical Review Research*, 2(4), 043271. <https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.2.043271>.
- Zhou, J., Zeng, A., Fan, Y., et al., 2018, Identifying important scholars via directed scientific collaboration networks, *Scientometrics*, 114(3), 1327-1343. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2619-0>.