



[biblio.ugent.be](http://biblio.ugent.be)

The UGent Institutional Repository is the electronic archiving and dissemination platform for all UGent research publications. Ghent University has implemented a mandate stipulating that all academic publications of UGent researchers should be deposited and archived in this repository. Except for items where current copyright restrictions apply, these papers are available in Open Access.

This item is the archived peer-reviewed author-version of:

Het meten van concentratie in (luchtvaart)netwerken: een analyse van verschillende indices

Plasschaert, K., Derudder, B., Witlox, F.

In: Tijdschrift vervoerswetenschap, 46 (2), pp. 55-62, 2010

**To refer to or to cite this work, please use the citation to the published version:**

**Plasschaert, K., Derudder, B., Witlox, F. (2010). Het meten van concentratie in (luchtvaart)netwerken: een analyse van verschillende indices. *Tijdschrift vervoerswetenschap* 46 (2), p. 55-62.**

# HET METEN VAN CONCENTRATIE IN (LUCHTVAART)NETWERKEN: EEN ANALYSE VAN ALTERNATIEVE INDICES

*Katrien Plasschaert\*, Ben Derudder\* en Frank Witlox\**

## SAMENVATTING

In dit artikel wordt een kritische analyse gepresenteerd van de geschiktheid van verschillende indices voor het meten van concentratie in netwerken. In eerste instantie worden de theoretische eigenschappen van de concentratieratio, Herfindahl-Hirschman index, netwerkconcentratie-index en Theilindex geïllustreerd door ze toe te passen op fictieve netwerken met gekende parameters. In tweede instantie wordt de praktische toepasbaarheid van deze indices nagegaan door ze te berekenen voor drie nationale luchtvaartnetwerken (Frankrijk, Duitsland en de Verenigde Staten), als proxy voor het stedensysteem. De onderlinge verhoudingen in de mate van concentratie in deze drie netwerken zijn intuïtief duidelijk waardoor de resultaten een geschikte toetssteen vormen om de praktische voor- en nadelen van de verschillende indices aan te geven. Op basis van de analyses van zowel de ideaal-typische als de reëel bestaande netwerken worden de voornaamste implicaties voor toekomstig onderzoek naar het gebruik van concentratie-indices besproken.

## ABSTRACT

This paper analyzes to what extent different indices are able to measure the concentration in air transport networks. First, we illustrate the theoretical characteristics of the concentration ratio, Herfindahl-Hirschman index, network concentration index and Theilindex by applying these to so-called toy networks with known parameters. Second, the practical applicability of these indices is assessed by calculating them for three domestic airline networks (France, Germany and the United States). The dimensions of the concentration in each of these three networks as a proxy for the city systems are intuitively clear so that the results provide us with an appropriate touchstone for assessing the advantages and drawbacks of each of the indices. Based on the analyses of both the ideal-typical and the actually existing networks, the main implications for future research on concentration indices are discussed.

## TREFWOORDEN

Luchtvaartnetwerken, concentratie-indices, MIDT 2001

## 1. INLEIDING

Luchtvaartnetwerken worden opgebouwd uit een geheel van vluchten in een bepaalde regio. Ze zijn net als veel andere types transportnetwerken geconcentreerd in tijd en ruimte (Burghouwt *et al.*, 2003). De mate van ruimtelijke concentratie in een netwerk bevindt zich steeds tussen de ideaaltypische extremen van volledige concentratie tot evenredige spreiding. In de eerste configuratie zijn alle passagiers verzameld in één knooppunt van het netwerk, in de tweede is er een gelijkmatige verdeling van alle passagiers over elk knooppunt in het netwerk (Hall & Tideman, 1967). De mate waarin een netwerk zich tussen beide extremen bevindt, kan berekend worden aan de hand van concentratie-indices. De doelstelling van dit artikel is om een kritische analyse te maken van de

---

\* Universiteit Gent – Vakgroep Geografie  
Krijgslaan 281, Gebouw S8  
9000 Gent - België  
<http://www.geoweb.ugent.be/seg>  
[katrien.plasschaert@ugent.be](mailto:katrien.plasschaert@ugent.be); [ben.derudder@ugent.be](mailto:ben.derudder@ugent.be); [frank.witlox@ugent.be](mailto:frank.witlox@ugent.be)

toepasbaarheid van enkele concentratie-indices. Zo kan worden aangegeven welke index best wordt gebruikt voor het onderzoeken van concentratie in een specifiek soort netwerk. In onze analyse beperken we ons tot volgende meest gebruikte indices:

- concentratieratio  $CR_x$ ;
- Herfindahl-Hirschman index HHI;
- Gini-index GI en de daarop gebaseerde netwerkconcentratie-index NCI;
- Theilindex TI.

Dergelijke indices worden in de literatuur vaak gebruikt om concentratie in luchtvaart- of andere netwerken te meten. De indices kunnen bijvoorbeeld worden berekend op het niveau van luchthavens om te kijken tot welke luchthaven passagiers zich specifiek richten binnen een bepaalde stad. Er kan worden berekend hoeveel goedkoper de gemiddelde ticket-prijs is in luchtvaartnetwerken die minder geconcentreerd zijn dan andere. Dresner *et al.* (1996) onderzoeken hoe de opkomst van lagekostenmaatschappijen de ticketprijs van de vluchten op bepaalde routes beïnvloedde. Sys (2009) analyseert in welke mate de container lijnvaartsector als een oligopolie benaderd kan worden. Andere concrete voorbeelden van dergelijke analyses worden verder in dit artikel gegeven (zie paragraaf 3 en 4).

Om de geschiktheid van de concentratie-indices na te gaan worden ze op twee verschillende manieren getest. In eerste instantie worden de indices theoretisch afgetoetst aan de hand van een set randvoorwaarden. Er wordt onderzocht of de indices voldoen aan deze voorwaarden door ze toe te passen op fictieve netwerken die ideaal-typische situaties voorstellen. In tweede instantie worden de indices ook berekend voor reëel bestaande transportnetwerken om hun praktische toepasbaarheid en beperkingen te illustreren. We gebruiken voor deze empirische toetsing de ruimtelijke structuur van de 'nationale luchtvaartnetwerken' (i.e. het geheel van binnenlandse vluchten) in Frankrijk, Duitsland en de Verenigde Staten. Het bestuderen van een transportnetwerk is een goede methode om het stedelijk systeem van een land na te gaan (Derudder, 2008). Een luchtvaartnetwerk is een onderdeel van het transportnetwerk van een land. Het is er een goede proxy voor, maar is niet altijd sluitend door het bestaan van andere transportmiddelen als trein, bus, en dergelijke. Toch is het luchtvaartnetwerk algemeen genomen een goede indicator voor het stedennetwerk. Aangezien de polarisatie in het stedensysteem van de datasets is gekend, kunnen er uitspraken worden gemaakt over het transport- en dus het luchtvaartnetwerk (Derudder, 2008).

In dit artikel wordt met het begrip "concentratie" verwezen naar de mate waarin er sprake is van hiërarchische differentiatie, dit wil zeggen de mate waarin een bepaalde stad of verbinding domineert in een netwerk (Van Nuffel *et al.*, 2010a; 2010b). Alle gegevens (i.e. het aantal passagiers geassocieerd met knooppunten in een netwerk) worden hierbij gerangschikt van groot naar klein (Pumain, 2006), bijvoorbeeld aan de hand van een 'rank size curve'. Hoe steiler de curve, hoe groter het aandeel passagiers van de dominerende steden in het netwerk en hoe sterker de concentratie. Hub-and-spoke netwerken zijn bijvoorbeeld meer geconcentreerd dan point-to-point netwerken aangezien er een centraal knooppunt in het netwerk aanwezig is. Monocentristische netwerken bevatten meer concentratie dan polycentristische netwerken. Hiërarchische differentiatie - en dus concentratie - in luchtvaartnetwerken kan gemeten worden aan de hand van drie dimensies (Derudder & Witlox, 2009):

1. concentratie op het niveau van de *knooppunten* in het netwerk, i.e. de verdeling van de passagiers over de verschillende steden (of luchthavens) in het netwerk;
2. concentratie op het niveau van de *verbindingen* in het netwerk, i.e. de verdeling van de passagiers over de verschillende mogelijke verbindingen tussen de knooppunten in het netwerk;
3. concentratie in de "*gerichtheid*" van de verbindingen in het netwerk, i.e. de mate van symmetrie in de verschillende verbindingen.

Twee netwerken met gelijke concentratie op niveau van de knooppunten kunnen verschillen inzake concentratie op niveau van de verbindingen en/of de mate van symmetrie in deze verbindingen (en omgekeerd). Hoewel theoretisch gezien de drie dimensies moeten worden berekend in een analyse van netwerken (Derudder & Witlox, 2009), zullen in deze toepassing enkel de eerste twee dimensies worden berekend omdat onze gegevensset (MIDT 2001, zie verder) geen informatie bevat over de gerichtheid van de verbindingen. Er kan met andere woorden niet nagegaan worden of een passagier van stad A naar B vertrekt of terugkeert.

De rest van dit artikel is als volgt opgebouwd. In paragraaf 2 wordt aangegeven wat de voornaamste kenmerken zijn van een 'geschikte' concentratie-index. Vervolgens worden een aantal fictieve netwerken uitgewerkt om de indices theoretisch te evalueren. In paragraaf 3 worden de indices empirisch getoetst. In paragraaf 4 worden de bevindingen samengevat en de voornaamste implicaties voor toekomstig onderzoek naar de structuur van transportnetwerken besproken.

## 2. HET METEN VAN CONCENTRATIE IN NETWERKEN

### 2.1 Eigenschappen van een 'geschikte' concentratie-index

Op basis van Hall en Tideman (1967) kan gesteld worden dat een index voor het meten van concentratie in een netwerk bij voorkeur voldoet aan vier voorwaarden. Heel wat andere classificaties werden uitgewerkt naargelang verschillende analyses en doelstellingen. De auteurs stelden deze voorwaarden oorspronkelijk op voor economische gegevens. In dit artikel worden de voorwaarden uitgewerkt voor luchtvaartnetwerken.

1. *Ondubbelzinnige waarde*: concentratie-indices moeten eendimensionaal en ondubbelzinnig zijn. Als de concentratie in een bepaald netwerk groter is dan dat in een ander, dan moet dit steeds duidelijk blijken uit de index.
2. *Onafhankelijk van het totaal aantal passagiers*: de waarde van een index moet onafhankelijk zijn van het totaal aantal passagiers in het netwerk. Aan deze voorwaarde kan gemakkelijk worden voldaan als een index wordt berekend aan de hand van het aandeel passagiers van elke stad of verbinding in het netwerk, zijnde  $s_i$ .
3. *Afhankelijk van elke stad of verbinding*: de waarde van een concentratie-index moet veranderen indien er een aanpassing is van eender welke  $s_i$ . Deze voorwaarde kan als volgt worden uitgedrukt: stel dat een bepaald aantal passagiers overgaan van de *i*de belangrijkste stad of verbinding naar de *j*de waarbij  $s_j$  groter is dan  $s_i$  (dus  $j > i$ ), dan moet de waarde van de index dalen aangezien de concentratie minder groot wordt.
4. *Onafhankelijk van de grootte van het netwerk*: luchtvaartnetwerken van een verschillende grootte (verschillend aantal steden of verbindingen) kunnen toch even geconcentreerd zijn. We nemen dus aan dat een concentratie-index onafhankelijk moet zijn van het aantal steden en/of verbindingen in het netwerk.

### 2.2 Fictieve netwerken

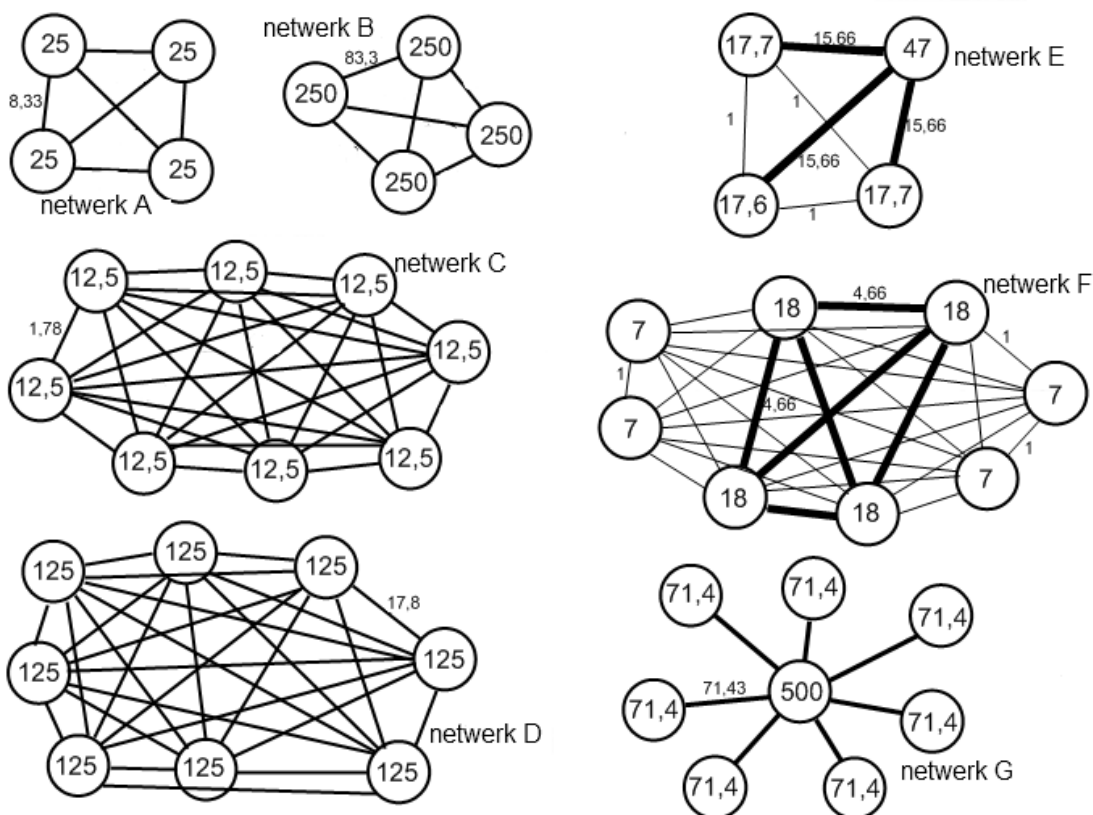
Om de concentratie-indices theoretisch af te toetsen aan bovenstaande voorwaarden, wordt gebruik gemaakt van een aantal fictieve netwerken. In deze fictieve netwerken wordt gevarieerd naar aantal knooppunten, aantal passagiers, mate van concentratie, etc. In Tabel 1 worden de eigenschappen van de netwerken kort toegelicht en in Figuur 1 worden ze gevisualiseerd. In de netwerken A, B, C en D zijn alle steden verbonden met elkaar (point-to-point netwerken) en vervoert elke stad of verbinding een gelijk absoluut aantal passagiers. Zo bevat elke stad in netwerk D 125 passagiers, elke verbinding vertegenwoordigt er 17,8 passagiers. We kunnen dus stellen dat deze vier netwerken een lage mate

van concentratie (of een hoge mate van spreiding) bevatten. Er wordt binnen deze vier netwerken gevarieerd naar aantal steden en verbindingen in het netwerk en naar totaal aantal passagiers om zo de voorwaarden te kunnen testen. Het totaal aantal passagiers van de steden is hierbij steeds het dubbel van het aantal geteld over de verbindingen omdat een passagier van een bepaalde verbinding bij beide steden wordt bijgeteld. Netwerken E, F en G zijn monocentristischer opgebouwd maar ook hier verschilt het aantal steden en passagiers. Bovendien is er steeds een andere configuratie van het netwerk: in netwerk E worden alle knooppunten met elkaar verbonden (point-to-point) in tegenstelling tot netwerk G (hub-and-spoke).

Er kan een vergelijking worden gemaakt tussen de waarden van netwerk A (weinig concentratie) en E (sterke concentratie) om te testen of de index wel degelijk weergeeft dat er meer/minder concentratie is (voorwaarde 1). Er kan worden gecontroleerd of de index onafhankelijk is van het aantal passagiers (voorwaarde 2) door de resultaten van netwerk A te vergelijken met deze van B en anderzijds ook C met D. Voorwaarde 3 kan op twee manieren worden nagegaan: door controle van de theoretische berekening van elke index en door vergelijking van de waarden voor netwerk A en C. Door de resultaten van netwerk A met C te vergelijken (of B met D) wordt bovendien getest of de waarde van de index afhankelijk is van het aantal steden in het netwerk (voorwaarde 4). Analoog kunnen ook de netwerken met een grotere mate van concentratie (E, F en G) worden vergeleken met elkaar.

**Tabel 1: Configuratie van de fictieve netwerken**

Netwerken	A	B	C	D	E	F	G
Aantal steden	4	4	8	8	4	8	8
Aantal verbindingen	6	6	28	28	6	28	7
Aantal passagiers (verbindingen)	50	500	50	500	50	50	500
Aantal passagiers (knooppunten)	100	1.000	100	1.000	100	100	1.000



**Figuur 1: Fictieve netwerken: visualisatie**

## 2.3 Concentratie-indices

In Tabel 2 worden de resultaten weergegeven van de indices toegepast op de fictieve netwerken. In deze paragraaf worden de indices achtereenvolgens uitgewerkt en worden hun resultaten besproken. Alle indices worden hier uitgewerkt voor toepassing op luchtvaartnetwerken, hoewel ze in de literatuur vaak voor andere netwerken worden gebruikt. De indices kunnen zowel worden gebruikt om de concentratie in de knooppunten (steden) als deze in de verbindingen na te gaan. Beide niveaus worden daarom steeds naast elkaar besproken.

**Tabel 2: Resultaten van de indices toegepast op de fictieve netwerken**

		A	B	C	D	E	F	G
<b>Knooppunten</b>	<b>CR<sub>4</sub></b>	1,00	1,00	0.50	0.50	1,00	0.72	0.71
	<b>HHI</b>	0.25	0.25	0.13	0.13	0.31	0.15	0.29
	<b>NCI</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0.44	0.37	0.50
	<b>TI</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0.08	0.05	0.20
<b>Verbindingen</b>	<b>CR<sub>4</sub></b>	0.67	0.67	0.14	0.14	0.96	0.37	0.57
	<b>HHI</b>	0.17	0.17	0.04	0.04	0.30	0.06	0.14
	<b>NCI</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0.66	0.37	0,00
	<b>TI</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0.26	0.08	0,00

### 2.3.1 Concentratieratio

De concentratieratio  $CR_x$  geeft het gezamenlijke aandeel van de  $x$  steden (zijnde alle luchthavens in die stad) of verbindingen met het grootste aantal vervoerde passagiers (Hall & Tideman, 1967). De  $x$  bedraagt meestal 2, 4, 8, 20 of 100. De  $CR_4$  is het meest voorkomend en geeft logischerwijs het aandeel weer van de vier steden of verbindingen met het grootste aantal vervoerde passagiers. Zo kan deze index een indicatie geven van het belang van deze vier dominerende steden of verbindingen in het luchtvaartnetwerk (Sys, 2009). Hoe groter de waarde van de  $CR_4$ , hoe groter de concentratie in het netwerk. De index wordt berekend door de aandelen passagiers van  $x$  aantal steden (i.e.  $s_i$ ) te sommeren:

$$CR_x = \sum_{i=1}^x s_i$$

Specifiek voor netwerk G wordt de  $CR_4$  op het niveau van de knooppunten als volgt berekend. De  $s_i$  voor de centrale stad bedraagt 0,5 (= 500/1.000). De  $s_i$  van de andere steden bedraagt 0,07 (= 71,4/1.000). De  $CR_4$  bedraagt dus  $0,5 + (3 * 0,07) = 0,71$ .

De  $CR_4$  is duidelijk erg beperkt. De index reageert enkel op veranderingen in de configuratie van het netwerk als de vier grootste steden of verbindingen hierin opgenomen zijn (Burghouwt *et al.*, 2003). De index voldoet dus niet aan de derde voorwaarde. De  $CR_4$  houdt ook niet op correcte manier rekening met het aantal steden in het netwerk (voorwaarde 4). Netwerken A en C zouden immers even geconcentreerd moeten blijken als aan deze vereiste wordt voldaan. Bovendien wordt ook aan de tweede voorwaarde niet voldaan: de index is afhankelijk van het totaal aantal passagiers. De waarden van netwerken A tot en met D zijn immers niet gelijk aan elkaar.

Er is geen objectieve basis voor de selectie van het aantal steden of verbindingen  $x$  dat wordt opgenomen in de  $CR_x$  waardoor deze keuze de resultaten sterk beïnvloedt. Zo bedraagt de waarde van  $CR_4$  voor netwerk A 1 en voor C 0,5. Als de  $CR_8$  wordt berekend, blijft de waarde van netwerk A 1 en krijgt ook netwerk C waarde 1. Hoe hoger de waarde van  $x$ , hoe groter de concentratie in hetzelfde netwerk blijkt te zijn volgens de  $CR_x$ .

### 2.3.2 Herfindahl-Hirschman index

De Herfindahl-Hirschman index HHI wordt berekend door de aandelen passagiers van alle steden of verbindingen te sommeren (Reynolds-Feighan, 2001). Door het kwadrateren van de percentages worden de steden of verbindingen van een lagere rang – en dus een relatief groot proportioneel aandeel – meer beklemtoond.

$$HHI = \sum_{i=1}^n s_i^2$$

In tegenstelling tot de  $CR_4$  brengt de HHI zowel het aandeel passagiers van elke eenheid (stad of verbinding) als het aantal eenheden in rekening. De aandelen van de belangrijkste eenheden worden hierbij niet geminimaliseerd (Sys, 2009). Een belangrijk nadeel is echter dat de index enkel gevoelig is voor veranderingen in extremen van de gegevens (Burghouwt *et al.*, 2003).

De HHI is afhankelijk van het aantal steden of verbindingen in het netwerk: de waarden van netwerken A en C zijn niet gelijk. De HHI voldoet dus niet aan de vierde voorwaarde. Hoe groter het netwerk, hoe kleiner de gemiddelde waarde van elke  $s_i$  en dit beïnvloedt de waarde van de HHI. De HHI voldoet wel aan de andere voorwaarden. Ten eerste is de index onafhankelijk van het totaal aantal passagiers in het netwerk (voorwaarde 2); de waarden van netwerken A en B zijn dezelfde. Dit impliceert ook dat de HHI alle steden en verbindingen in het netwerk in rekening brengt (voorwaarde 3). Hoe groter de mate van concentratie in het netwerk, hoe groter de waarde van de HHI (voorwaarde 1).

### 2.3.3 Netwerkconcentratie-index

De netwerkconcentratie-index is een variant van de Gini-index GI om netwerken te analyseren. De GI is gebaseerd op de Lorenzcurve die vaak wordt gebruikt om ongelijkheden binnen een bepaalde verdeling te visualiseren (Sys, 2009). De curve toont het verschil aan tussen een distributiefunctie en de lijn van gelijke verdeling. De Gini-index drukt de Lorenzcurve uit in een enkele waarde en wordt als volgt berekend (Burghouwt *et al.*, 2003):

$$GI = \frac{1}{n^2 \bar{y}} \sum_i \sum_j |y_i - y_j|$$

waarbij  $y$  het aantal passagiers van de stad of verbinding  $i$  of  $j$  voorstelt en  $n$  het totaal aantal steden (of verbindingen) in het netwerk. Het gemiddeld aantal passagiers van steden of verbindingen in een netwerk wordt voorgesteld door  $\bar{y}$ . De waarde van de GI ligt tussen 0 en 1, hoe hoger de waarde hoe meer concentratie.

Burghouwt *et al.* (2003) stellen dat GI nooit de maximale waarde 1 kan bereiken aangezien er steeds meerdere steden en/of verbindingen in een netwerk zitten. Deze waarde zou immers theoretisch overeen komen met een hub-and-spoke netwerk waarbij alle stromen zijn geconcentreerd in een enkel knooppunt of een enkele verbinding (d.w.z. een “netwerk” van een enkele of twee steden, wat uiteraard niet relevant is in de realiteit). De effectief mogelijke maximale waarde  $GI_{max}$  neemt toe met het aantal steden of verbindingen  $n$  in het netwerk (Burghouwt *et al.*, 2003). De netwerkconcentratie-index NCI kan dan worden afgeleid door de waarde van de GI te delen door  $GI_{max}$ . Aangezien de NCI slechts een kleine aanpassing is van de GI, bespreken we beide hier samen.

$$GI_{max} = 1 - \frac{2}{n} \qquad NCI = \frac{GI}{GI_{max}}$$

Reynolds-Feighan (2001) stelt dat de NCI de beste index is om de concentratie in transportnetwerken te kwantificeren omdat de volledige distributie wordt gebruikt en toch variaties in de grootte van het

netwerk worden toegelaten. Burghouwt *et al.* (2003) beschouwen de indices als erg geschikt om ongelijkheden in een bepaalde verdeling na te gaan, omdat deze:

- reageert op alle veranderingen in het aandeel passagiers van eender welke stad of verbinding (in tegenstelling tot de CR<sub>4</sub>);
- niet overdreven gevoelig is aan overschatting van de belangrijkste steden of verbindingen ten koste van de onderliggende;
- in tegenstelling tot de HHI niet enkel gevoelig is voor extremen, maar voor elke verandering in de distributie;
- onafhankelijk is van het totaal aantal passagiers, steden of verbindingen in het netwerk.

De resultaten van de fictieve voorbeelden bevestigen deze eigenschappen van de NCI. De index is onafhankelijk van zowel het aantal passagiers als het aantal steden of verbindingen in het netwerk. Dit blijkt uit de waarden van netwerk A t.o.v. B, respectievelijk C. Zowel aan voorwaarde 2 als 4 wordt dus voldaan. Ook aan de derde voorwaarde is voldaan: de waarden geven duidelijk weer dat netwerk E, F en G geconcentreerder zijn dan de andere vier. Uit het resultaat van netwerk G blijkt duidelijk dat de concentratie in een netwerk pas kan worden bestudeerd als zowel de hiërarchische differentiatie in de knooppunten als die in de verbindingen wordt berekend. Immers, het netwerk bevat een zekere mate van concentratie maar alle verbindingen nemen een gelijk aantal passagiers voor hun rekening waardoor de waarde voor de verbindingen 0 bedraagt.

#### 2.3.4 Theilindex

De Theilindex TI wordt als volgt berekend (naar Reynolds-Feighan, 1998):

$$TI = 1 - \left( \frac{\sum \left\{ \left( \frac{s_i}{\sum s_i} \right) \cdot \left| \log \left( \frac{s_i}{\sum s_i} \right) \right| \right\}}{\log n} \right)$$

Hierbij is  $s_i$  het aandeel van elke stad in het totaal aantal passagiers en  $n$  het totaal aantal steden in het netwerk. Als gevolg van de herschaling van de index ligt de waarde ervan tussen 0 (geen concentratie) en 1. Blackburn (1989) stelt dat de index erg gevoelig is aan veranderingen in de  $s_i$  van steden met een klein percentage passagiers aangezien de logaritme van de waarden wordt gebruikt.

Net als de NCI neemt de TI de volledige range van waarden tussen 0 en 1 aan. In alle netwerken waar de steden of verbindingen een gelijk percentage innemen (A tot en met D en G in de verbindingen) bedraagt de waarde 0.

**Tabel 3: Theoretische geschiktheid van de indices volgens de voorwaarden**

	CR <sub>4</sub>	HHI	NCI	TI
1. Ondubbelzinnige waarde	+	+	+	+
2. Onafhankelijk van het aantal passagiers		+	+	+
3. Afhankelijk van elke stad		+	+	+
4. Onafhankelijk van het aantal steden of verbindingen			+	+

In Tabel 3 wordt samengevat aan welke voorwaarden elke index voldoet. Er blijkt duidelijk dat de netwerkconcentratie-index en de Theilindex theoretisch het best geschikt zijn om de concentratie in transportnetwerken te meten. Om de praktische werking van deze indices te bestuderen, passen we ze in de volgende paragraaf toe op drie netwerken die worden opgebouwd uit binnenlandse stromen (Frankrijk, Duitsland en de Verenigde Staten).



### 3. TOEPASSING

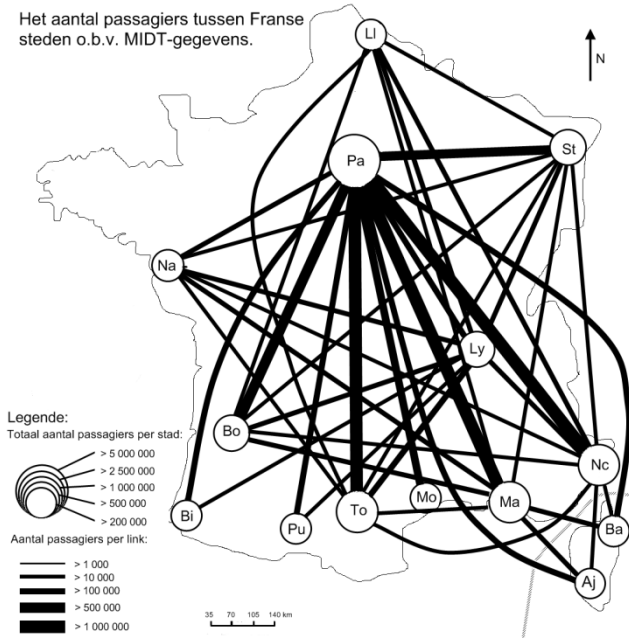
#### 3.1 De toetsstenen

We passen de indices toe op drie netwerken waarvan de onderlinge mate van concentratie intuïtief duidelijk is. Ze vormen op deze manier een geschikte empirische toetssteen voor de indices. De gegevens van deze netwerken werden afgeleid uit de MIDT 2001 databank ('Marketing Information Data Transfer'). Deze bevat informatie over vluchtboekingen gemaakt via 'Global Distribution Systems' (GDS) in de periode januari tot augustus 2001 (Derudder & Witlox, 2005). Concreet wordt aangegeven hoeveel passagiers een bepaald traject tussen twee steden volgen, via welke hub en met welke maatschappij. Een nadeel van deze dataverzameling is dat slechts 80% (Derudder *et al.*, 2007) van het totaal aantal boekingen wordt gemaakt via dergelijke platformen. Lagekostenmaatschappijen maken eerder gebruik van directe boekingen van de passagiers via internet in plaats van via een agentschap aangezien dit de kosten aanzienlijk drukt (Derudder & Witlox, 2005). In de MIDT dataset vertegenwoordigen dus niet alle maatschappijen een gelijk deel. Men zou kunnen stellen dat op deze manier niet het gehele globale luchtvaartnetwerk kan bestudeerd worden aangezien de databank er geen representatieve weergave van is. Niettemin stellen Derudder en Witlox (2005) dat er kan aangenomen worden dat het gebruik van boekingen via GDS een correct beeld geeft van het totaal aantal boekingen en de ruimtelijke verdeling ervan wat de dataset geschikt maakt voor onze analyse.

Het belangrijkste voordeel van de MIDT dataset voor deze analyse is dat de gegevens het echte oorsprong - bestemming traject van de passagiers reflecteren in plaats van alle segmenten apart. Op die manier kan binnen de landen van de toetsstenen (bijv. Frankrijk) het stedennetwerk bestudeerd worden, onafhankelijk van de eventuele tussenliggende steden die passagiers nemen in hun route. Zo wordt het belang van deze steden (bijv. Parijs) niet overschat.

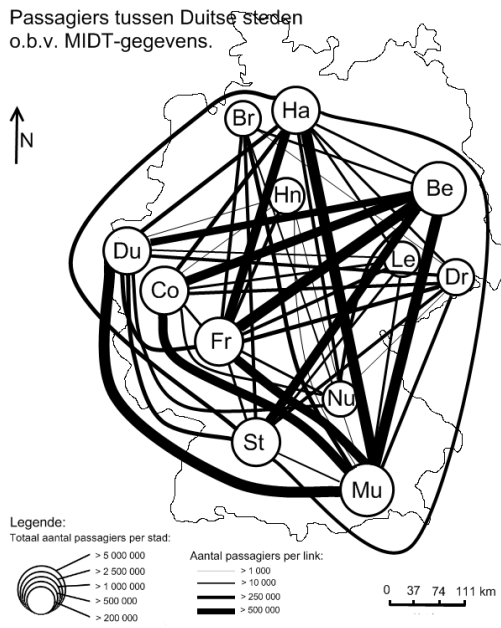
In Figuren 2 tot en met 4 worden de configuraties van de netwerken gevisualiseerd. De figuren tonen de concentratie in de belangrijkste knooppunten en in de verbindingen van de netwerken in Frankrijk, Duitsland en de Verenigde Staten. Om de volledige concentratie te bekijken, moeten uiteraard alle steden en verbindingen worden meegeteld. De netwerken van Frankrijk en Duitsland hebben een gelijkaardige grootte, zowel in aantal knooppunten (respectievelijk 53 en 30) als verbindingen (196 in Frankrijk en 105 in Duitsland). Het is echter intuïtief duidelijk dat er sterke verschillen zijn op het gebied van configuratie en concentratie. Het luchtvaartnetwerk van het monocentrische - voornamelijk op Parijs gerichte - Frankrijk is duidelijk geconcentreerder dan dat van het meer polycentrische - op verschillende belangrijke steden zoals Frankfurt, Berlijn, Düsseldorf, Stuttgart, Hamburg en München gerichte - Duitsland (Limtanakool *et al.*, 2007). Om na te gaan hoe de indices omgaan met twee netwerken die een beduidend verschillende omvang hebben, worden ze ook berekend voor het nationale luchtvaartnetwerk van de Verenigde Staten. Dit netwerk lijkt qua configuratie sterk op het Duitse maar telt meer steden (314), verbindingen (2.034) en passagiers. We zullen nagaan of de indices effectief weergeven dat het netwerk van Frankrijk de grootste concentratie bevat en of de netwerken van Duitsland en de Verenigde Staten een gelijkaardige waarde voor de indices hebben.

Het aantal passagiers tussen Franse steden o.b.v. MIDT-gegevens.



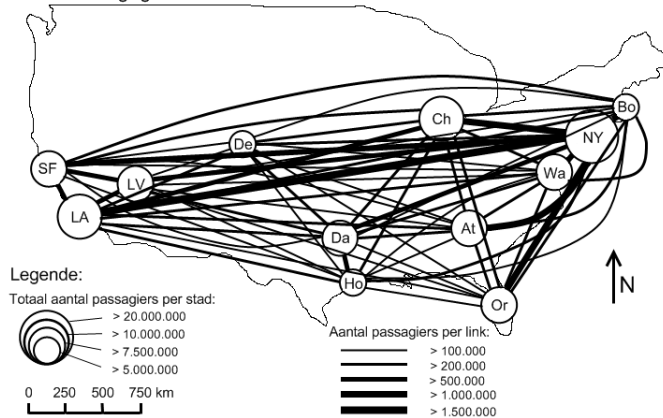
**Figuur 2: Het aantal passagiers tussen Franse steden**

Passagiers tussen Duitse steden o.b.v. MIDT-gegevens.



**Figuur 3: Het aantal passagiers tussen Duitse steden**

Het aantal passagiers tussen steden in de Verenigde Staten  
o.b.v. MIDT-gegevens.



**Figuur 4: Het aantal passagiers tussen steden in de Verenigde Staten**

### 3.2 Resultaten

In Tabel 4 worden de resultaten voorgesteld van de indices zoals toegepast op de drie netwerken. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de  $CR_4$  niet geschikt is om luchtvaartnetwerken met elkaar te vergelijken (zie ook paragraaf 2.3.1). Ten eerste wordt Frankrijk niet aangeduid als het netwerk met de grootste concentratie in de knooppunten. De reden voor deze tekortkoming is vrij duidelijk: de  $CR_4$  houdt enkel rekening met de vier belangrijkste steden in het netwerk. Het gecumuleerde aandeel van de vier belangrijkste steden in Frankrijk is kleiner dan in Duitsland, respectievelijk 63,1% en 63,9%. De oorzaak hiervan is dat de steden in de tweede, derde en vierde rang van Duitsland meer passagiers vervoeren dan dezelfde steden in Frankrijk. De resultaten van de verbindingen sluiten wel beter aan bij de realiteit dan deze van de knooppunten. Ten tweede houdt de  $CR_4$  geen rekening met de grootte van een netwerk: de waarde van het netwerk van de Verenigde Staten (0,20) is beduidend kleiner dan deze van de Europese landen (0,64). De  $CR_4$  is dus niet geschikt om netwerken van een verschillende grootte te vergelijken met elkaar. Algemeen kunnen we stellen dat de concentratieratio  $CR_x$  niet geschikt is om concentratie in netwerken van een verschillende grootte te vergelijken.

**Tabel 4: Resultaten van alle indices op de nodes en de verbindingen van de reële netwerken**

<b>Knooppunten</b>	<b><math>CR_4</math></b>	<b>HHI</b>	<b>NCI</b>	<b>TI</b>
<b>Frankrijk</b>	0,63	0,18	0,86	0,38
<b>Duitsland</b>	0,64	0,13	0,82	0,31
<b>V.S.</b>	0,20	0,02	0,81	0,24
<b>Verbindingen</b>	<b><math>CR_4</math></b>	<b>HHI</b>	<b>NCI</b>	<b>TI</b>
<b>Frankrijk</b>	0,43	0,06	0,82	0,31
<b>Duitsland</b>	0,30	0,04	0,75	0,23
<b>V.S.</b>	0,05	0,01	0,58	0,54

Ook de HHI houdt geen rekening met het aantal steden in het netwerk. Dit blijkt duidelijk uit de resultaten: de waarde van de Verenigde Staten (0,02) is beduidend kleiner dan de andere waarden (Duitsland: 0,13). Dit blijkt dan ook de belangrijkste tekortkoming te zijn van deze index. Bovendien heeft dit nadeel als gevolg dat de waarden van de HHI voor de verbindingen steeds kleiner zijn dan deze van de knooppunten (er zijn immers steeds meer verbindingen dan knooppunten in eenzelfde netwerk). De index kan dus wel worden gebruikt om netwerken met een gelijk aantal knooppunten en/of verbindingen met elkaar te vergelijken. Hieruit blijkt duidelijk dat het netwerk van Frankrijk meer concentratie bevat dan dat van Duitsland.

Uitgaande van de formule van de GI, kan worden verwacht dat de NCI, meer dan de vorige indices, onafhankelijk is van de grootte van het netwerk. De resultaten geven aan dat Frankrijk het meest geconcentreerde luchtvaartnetwerk heeft, zowel in de knooppunten (0,86) als de verbindingen (0,82). Het netwerk van Duitsland wordt aangeduid als minder geconcentreerd (0,82). De waarden van de indices toegepast op de drie netwerken opgebouwd uit de knooppunten van de landen liggen eerder in dezelfde grootteorde als dit wordt vergeleken met dezelfde waarden van de  $CR_4$  en HHI.

Ook de Theilindex is theoretisch gezien onafhankelijk van het aantal steden of verbindingen in het netwerk. Het netwerk van Frankrijk (0,38) is het meest geconcentreerd. Het netwerk van de Verenigde Staten (0,24) is minder geconcentreerd dan dat van Frankrijk en Duitsland. Bij de resultaten van de verbindingen moeten andere besluiten worden gemaakt. De Verenigde Staten hebben een beduidend geconcentreerder netwerk (0,54) dan de andere landen wat niet klopt met de toetsstenen. Hieruit blijkt dat de Theilindex toch afhankelijk is van het aantal steden of verbindingen indien het verschil tussen de bestudeerde netwerken erg groot is. Indien de Verenigde Staten niet wordt meegenomen in de analyse, volgen de resultaten de toetsstenen. Het netwerk gevormd door de verbindingen van Frankrijk heeft immers een grotere mate van concentratie dan dat van Duitsland.

Zowel door de NCI als door de TI wordt aangegeven dat het netwerk van Duitsland meer concentratie bevat dan dat van de Verenigde Staten in de knooppunten, maar niet in de verbindingen ertussen. Dit wijst erop dat er enkele verbindingen zijn tussen Amerikaanse steden die een groot aandeel passagiers opnemen maar dat deze niet allemaal vertrekken vanuit eenzelfde stad. Op Figuur 4 was duidelijk te zien dat het hier voornamelijk over oost-west verbindingen gaat (bijvoorbeeld New York – Los Angeles, San Francisco – New York, Chicago – Los Angeles). In Duitsland zijn de belangrijkste verbindingen wel meer tussen dezelfde steden (Berlijn, München, Frankfurt).

#### 4. CONCLUSIE

In dit artikel wordt onderzocht hoe concentratie-indices de concentratie in een luchtvaartnetwerk meten. Met de conclusies uit dit artikel kan rekening worden gehouden in verscheidene analyses. Reeds heel wat auteurs onderzochten methoden om de concentratie in netwerken te meten, zowel aan de hand van bovenstaande indices als andere, al dan niet geschikte indices.

De  $CR_4$  en de HHI kunnen niet worden gebruikt om netwerken van een verschillende grootte met elkaar te vergelijken. De  $CR_x$  is anderzijds wel geschikt om bijvoorbeeld twee netwerken te vergelijken waarin  $x$  steden een centrale hubfunctie vervullen. Zo kan nagegaan worden welk percentage passagiers deze steden samen vertegenwoordigen. De index kan ook worden gebruikt om een vlug overzicht te krijgen van de graad van concentratie in een netwerk. O'Connor (2003) gebruikte daarom de  $CR_{100}$  om veranderingen in het luchtvaartnetwerk na te gaan. Sys (2009) gebruikte de  $CR_4$  en  $CR_8$  om veranderingen in competitie tussen havens te bestuderen maar had voor een diepgaandere analyse beter een andere index (bijvoorbeeld de GI) gebruikt. In haar analyse blijft het netwerk gelijk qua grootte, dus is de  $CR_x$  een geschikte index om het belang van enkele dominerende havens in te schatten.

De HHI kan enkel worden gebruikt om netwerken te vergelijken die een gelijkaardig passagiers en steden hebben. Zo kan men via een eenvoudige berekening een snel inzicht krijgen in de mate van concentratie. Borenstein (1992) gebruikte de  $CR_x$  en de HHI om enerzijds na te gaan in welke mate luchthavens al dan niet een hub vormen, anderzijds om de concentratie in het netwerk van de Verenigde Staten te meten met verschillende tijdsintervallen. Hier blijft de grootte van het netwerk min of meer gelijk, dus is de HHI geschikt voor deze analyse. Martín en Voltes-Dorta (2008) gingen na hoe de hubvorming van een luchtvaartmaatschappij kan worden gemeten door verschillende concentratie-indices (Gini-index, Theilindex, Herfindahl-Hirschman index). Ook veel andere methodes en indices

worden gebruikt om concentratie in netwerken te meten. Martín en Voltes-Dorta (2009) introduceren een nieuwe methode om de 'hubbing' in een netwerk te meten. Van Nuffel *et al.* (2010a) gebruiken 'multiple linkage analysis' MLA om concentratie na te gaan.

Indices die niet afhankelijk zijn van het aantal steden in het netwerk zijn de Gini-index, de Theilindex en de netwerkconcentratie-index NCI. Theoretisch blijkt de NCI de meest geschikte index te zijn om concentratie in een netwerk te bestuderen. Deze conclusie wordt bevestigd na toepassing van de indices op enkele concreet bestaande luchtvaartnetwerken als proxy voor het stedensysteem. Er kan worden geconcludeerd dat de NCI beter geschikt is dan de Theilindex tenzij de netwerken een beduidend verschillende grootte (aantal steden en/of verbindingen) hebben. In dat geval moet steeds grondig worden onderzocht of de concentratie-indices de concentraties in dergelijke netwerken op een vergelijkbare manier meten. Veldhuis (1997) en Burghouwt *et al.* (2003) analyseerden bijvoorbeeld hoe connectiviteitsmaten de positie van een luchthaven in het netwerk kunnen aantonen. Hierdoor kan de marktpositie worden bepaald en eventueel een strategie worden opgesteld. .

De resultaten van de concentratie in de nodes en deze in de verbindingen wijken vaak af van elkaar. Er werd aangetoond dat netwerken waarbij de nodes een gelijkaardige concentratie vertonen toch erg kunnen verschillen van elkaar in de verbindingen. Beide soorten hiërarchische differentiatie moeten dus bij elkaar worden geteld om de volledige configuratie van een netwerk te bestuderen.

## REFERENTIES

- Blackburn, M.-L.: 1989, Poverty measurement: an index related to a Theil measure of inequality. *Journal of Business & Economic Statistics*. 7, 475-481.
- Borenstein, S.: 1992, The evolution of US airline competition. *Journal of Economic Perspectives* 6 (2), 45-73.
- Burghouwt, G., Hakfoort, J. en Ritsema van Eck, J.: 2003, The spatial configuration of airline networks in Europe. *Journal of Air Transport Management*. 9, 303-323.
- Derudder, B.: 2008, Mapping global urban networks: A decade of empirical world cities research. *Geography Compass*. 2 (2), 559-574.
- Derudder, B., Devriendt, L. en Witlox, F.: 2007, Flying where you don't want to go: an empirical analysis of hubs in the global airline network. *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*. 98 (3), 307-324.
- Derudder, B. en Witlox, F.: 2005, An appraisal of the use of airline data in assessing the World City Network: a research note on data. *Urban Studies*. 42, 2371-2388.
- Derudder, B. en Witlox, F.: 2009, The impact of progressive liberalization on the spatiality of airline networks: a measurement framework based on the assessment of hierarchical differentiation. *Journal of Transport Geography*. 17, 276-284.
- Dresner, M., Lin, J. en Windle, R.: 1996, The impact of low-cost carriers on airport and route competition. *Journal of Transport Economics and Policy*. 309-328.
- Hall, M. en Tideman, N.: 1967, Measures of concentration. *Journal of the American Statistical Association*. 62, 162-168.
- Limtanakool, N., Dijst, M. en Schwanen, T.: 2007, A theoretical framework and methodology for characterizing national urban systems on the basis of flows of people: empirical evidence for France and Germany. *Urban Studies*. 44, 2123-2145.
- Martín, J.C. en Voltes-Dorta, A.: 2008, Theoretical evidence of existing pitfalls in measuring hubbing practices in airline networks. *Networks and Spatial Economics* 8 (2-3), 161-181.

- Martín, J.C. en Voltes-Dorta, A.: 2009, A note on how to measure hubbing practices in airline networks. *Transportation Research Part E* 45, 250–254.
- O'Connor, K.: 2003, Global air travel: toward concentration or dispersal? *Journal of Transport Geography*. 11, 83–92.
- Pumain, D.: 2006, *Hierarchy in Natural and Social Sciences*. Dordrecht: Springer.
- Reynolds-Feighan, A.: 1998, The impact of the U.S. airline deregulation on airport traffic patterns. *Geographical Analysis*. 30, 234-253.
- Reynolds-Feighan, A.: 2001, Traffic distribution in low-cost and full-service carrier networks in the U.S. air transportation market. *Journal of Air Transport Management*. 7, 265-275.
- Sys, C.: 2009, Is the container liner shipping industry an oligopoly? *Transport Policy*. 16, 259-270
- Van Nuffel, N., Saey, P., Derudder, D., Devriendt, L. en Witlox, F.: 2010a, Measuring hierarchical differentiation: connectivity and dominance in the European urban network. *Transportation Planning and Technology* 33 (4), 343-366.
- Van Nuffel, N., Derudder, B. en Witlox, F.: 2010b, Even important connections are not always meaningful: the use of a polarization measure in a typology of european cities in air transport networks. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie* 101 (3), 333-348.
- Veldhuis, J.: 1997, The competitive position of airline networks. *Journal of Air Transport Management* 3 (4), 181-188.