

Entwicklung des deutschen SPFV im Zeitverlauf: Eine netzwerktheoretische Perspektive



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Tobias Bier



Ausgangslage: Thema



- Logistische Netzwerke werden erstellt um effiziente Transporte zu gewährleisten.
 - Besonders für Schienenverkehr relevant, da Investitionen oft sehr langfristig (Cats, 2017).
 - Die Analyse der Netzwerkstruktur verschafft Einblicke in die Charakteristika.
 - Die topologische Struktur des Schienennetzwerkes beeinflusst die Linienstruktur und letztendlich den operative Passagiertransport. (Cañizares et al., 2015).
- **Eine quantitative Entscheidungsunterstützung, die die Struktur des Netzwerkes mit den operativen Charakteristika verknüpft wäre hilfreich.**
- **“Complex network theory”** untersucht die Verbindungen und Wechselwirkungen innerhalb eines Systems. Besonders im Schienenverkehr entwickelt sich das Thema (Lin & Ban, 2013).
 - Die Maßzahlen treffen konkrete Annahmen über Funktionsweise eines Netzwerkes (Borgatti, 2005).
- **Die Maßzahlen müssen vor dem Hintergrund der Funktionsweise interpretiert werden.**



1 Ausgangslage



2 Grundlagen



3 Datenbasis



4 Netzwerk Analyse im Zeitverlauf



5 Netzwerk Analyse und Modellabgleich



6 Netzwerkkennzahlen – Einfluss auf Ökonomie?



7 Zusammenfassung und Diskussion



1 Ausgangslage



2 Grundlagen



3 Datenbasis



4 Netzwerk Analyse im Zeitverlauf



5 Netzwerk Analyse und Modellabgleich



6 Netzwerkkennzahlen – Einfluss auf Ökonomie?



7 Zusammenfassung und Diskussion

Ziel 1:

Inwiefern beschreiben
Netzwerktheoretische Konzepte
das Netzwerk des SPFV sinnvoll.



1 Ausgangslage



2 Grundlagen



3 Datenbasis



4 Netzwerk Analyse im Zeitverlauf



5 Netzwerk Analyse und Modellabgleich



6 Netzwerkkennzahlen – Einfluss auf Ökonomie?



7 Zusammenfassung und Diskussion

Ziel 2:

Inwiefern das SPFV Netzwerk im Einklang mit Untersuchungen anderer Verkehrsnetzwerke ist.



1 Ausgangslage



2 Grundlagen



3 Datenbasis



4 Netzwerk Analyse im Zeitverlauf



5 Netzwerk Analyse und Modellabgleich



6 **Netzwerk**kennzahlen & **Ökonomie?**



7 Zusammenfassung und Diskussion

Ziel 3:

Welche Konzepte und Maße aus der Netzwerktheorie sind auf den SPFV anwendbar und können potentiell relevante Eigenschaften des Netzwerkes beschreiben.



Grundlagen: Darstellung als Graph



Analytische Darstellung eines Netzwerkes als Graph:

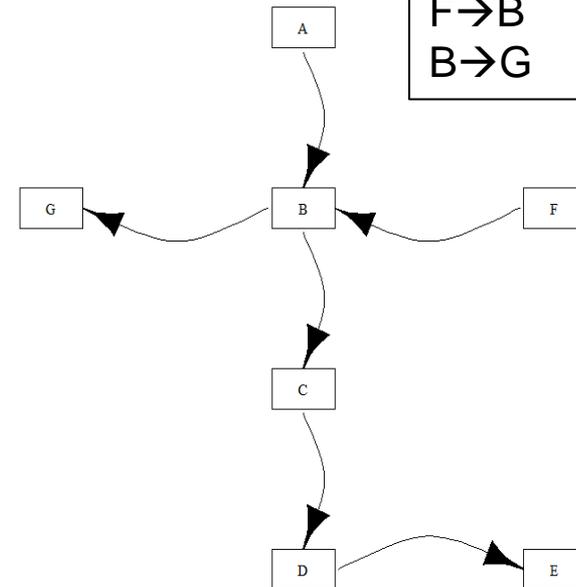
- $G = (V, E)$
 - Vertices: Bahnhöfe
 - Edges: Verbindungen dazwischen

Darstellung der Edges:

- Directed vs. Undirected
- Weighted vs. Unweighted
- Weights:
 - Fahrtzeiten
 - Häufigkeiten der Fahrten pro Woche

Kantenliste:

A → B
B → C
C → D
D → E
F → B
B → G

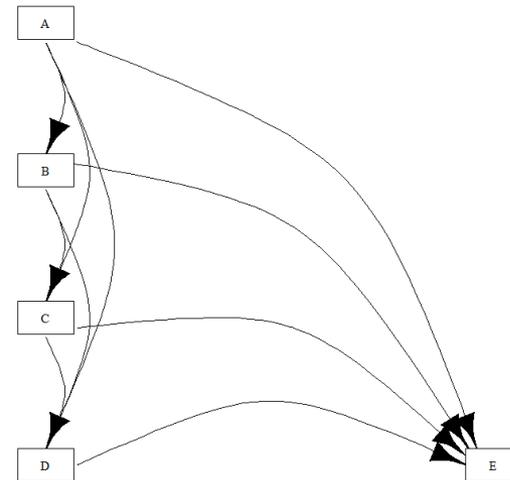
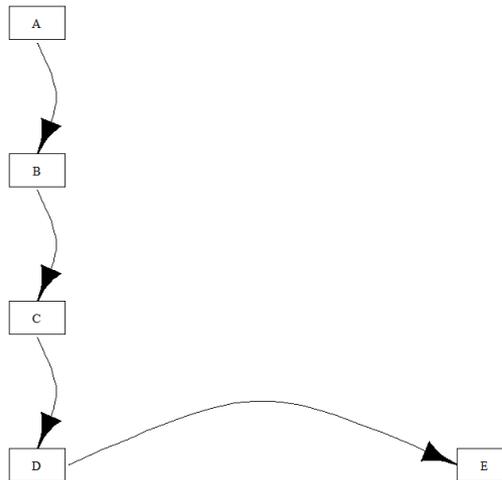




Grundlagen: L und P-Space



- Bei mit Zwischenstopps operierenden Verkehrsmitteln 2 Darstellungsformen:
 - L-Space: Raum der direkten Verbindungen (links)
 - P-Space: Raum der Umstiege (rechts)
 - Alle Bahnhöfe auf einer Route sind miteinander verbunden
 - (Umstiege=Anzahl der Kanten-1)
→ Anzahl der Kanten deutlich größer

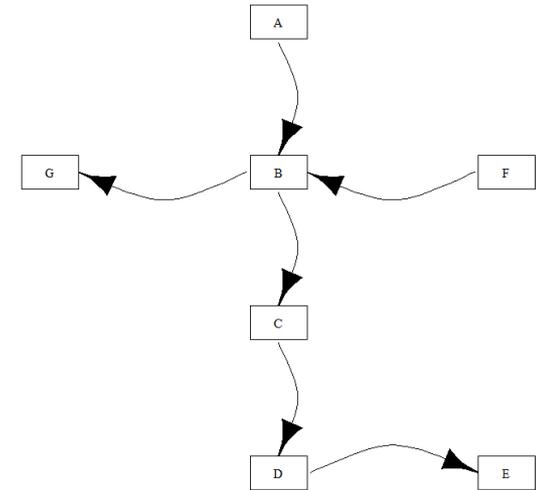




Grundlagen: Zentralitäten



Name Zentralität	Berechnung	Wert
Degree	Anzahl der Verbindungen zu anderen Knoten	B: 2 C: 1
Strength	Gewichtete Anzahl der Verbindungen zu anderen Knoten	B: 2 C: 1
Betweenness	Summe der kürzesten Routen die über einen Knoten führen.	B: 7 C: 6
Eigenvector Cent.	Eigenwerte der Adjazenzmatrix	B: 1 C: 0,67



- Einheitliche und systematische Vorgehensweise.
- Alternative zur intuitiven und erfahrungsbasierten Ansätzen.
- Die unterschiedlichen Zentralitäten bemessen nach verschiedenen Verfahren.
- Je nach Funktionsweise des Netzwerkes variiert die Aussage der Maßzahl.
- Das Verständnis der Entwicklung eines Netzwerkes im Zeitverlauf kann hierbei grundlegende Erkenntnisse über die Interpretation der Maßzahlen liefern.



Datenbasis: Bahnnetzwerk



- Zeitraum: Mitte 1996 bis Ende 2017
- Fahrplandaten der Fernverkehrs-Zuglinien:
D-Zug, Railjet, InterRegio, InterCity, City Night Line, EuroNight, TGV, Thalys, EuroCity, InterCity Express.
- Bereinigung von Sonderzügen, Ersatzzügen durch Verwendung jeweils des Zeitraums 1.-7. Februar.
→ 21 Untersuchungszeiträume
- Erfassung der Anzahl der wöchentlichen Verbindungen zwischen Bahnhöfen.
- Erfassung der Reisezeiten.
→ Gewichte der Kanten repräsentieren Frequenz der Verbindungen bzw. durchschnittliche Reisedauer.
- Keine Erfassung der Passagierströme oder der Kapazitäten.



1 Ausgangslage



2 Grundlagen



3 Datenbasis



4 Netzwerk Analyse im Zeitverlauf



5 Netzwerk Analyse und Modellabgleich



6 Netzwerkkennzahlen – Einfluss auf Ökonomie?



7 Zusammenfassung und Diskussion

Ziel 1:

Inwiefern beschreiben
Netzwerktheoretische Konzepte
das Netzwerk des SPFV sinnvoll.



Bahnnetzwerk

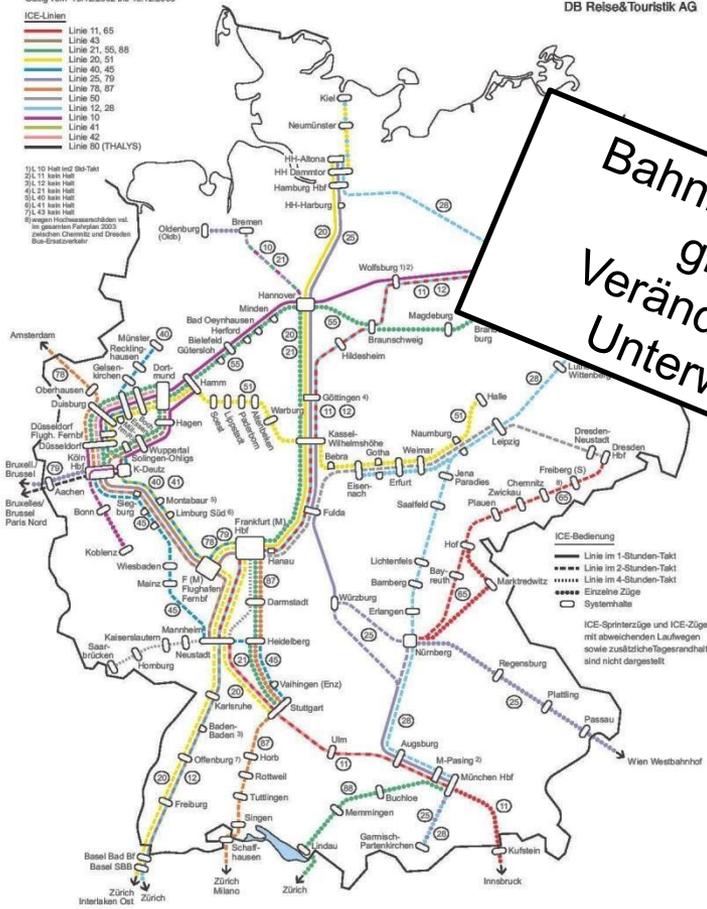


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

ICE-Netz 2003

Gültig vom 15.12.2002 bis 13.12.2003

- ICE-Linien
- Linie 11, 65
 - Linie 43
 - Linie 21, 55, 88
 - Linie 20, 51
 - Linie 40, 45
 - Linie 25, 79
 - Linie 78, 87
 - Linie 50
 - Linie 12, 28
 - Linie 10
 - Linie 41
 - Linie 42
 - Linie 80 (THALYS)



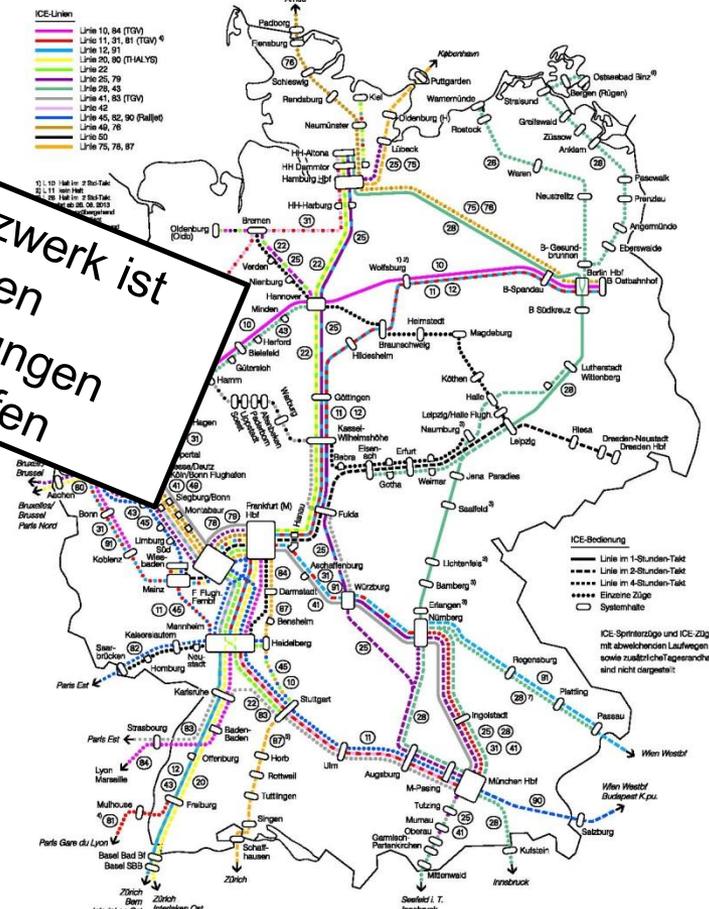
Kartographie: DB Netz AG, Zentrale, NDI 10
Im Auftrag von: DB Netz AG, Postfach 10 15 53, 40223 Düsseldorf

Die Bahn **DB**
DB Reise&Touristik AG

ICE-Netz 2013

Gültig vom 09. 12. 2012 bis 14. 12. 2013

- ICE-Linien
- Linie 10, 84 (TGV)
 - Linie 11, 31, 31 (TGV) 6
 - Linie 12, 91
 - Linie 70, 90 (TALYS)
 - Linie 22
 - Linie 25, 79
 - Linie 25, 45
 - Linie 41, 83 (TGV)
 - Linie 42
 - Linie 45, 82, 90 (Fuller)
 - Linie 49, 76
 - Linie 50
 - Linie 75, 76, 87



DB BAHN

Kartographie: DB Netz AG, Zentrale, NDI 10
Im Auftrag von: DB Netz AG, Postfach 10 15 53, 40223 Düsseldorf

Kartographie: DB Netz AG, Zentrale, NDI 10
Im Auftrag von: DB Netz AG, Postfach 10 15 53, 40223 Düsseldorf

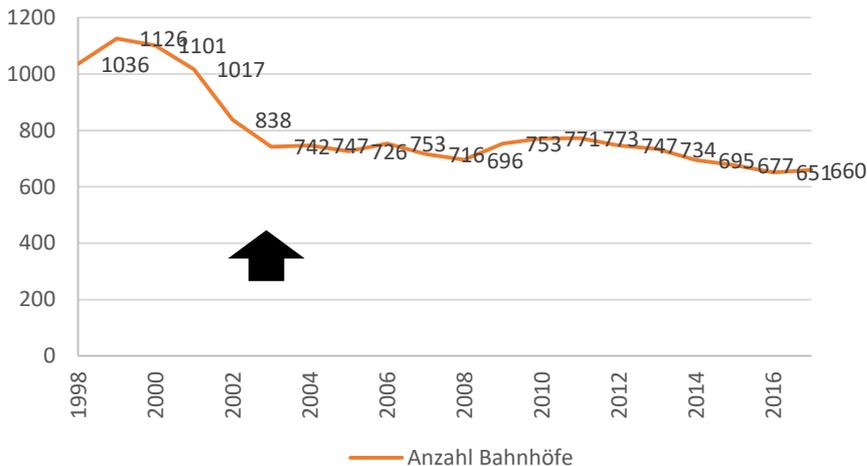
Bahnnetzwerk ist großen Veränderungen Unterworfen



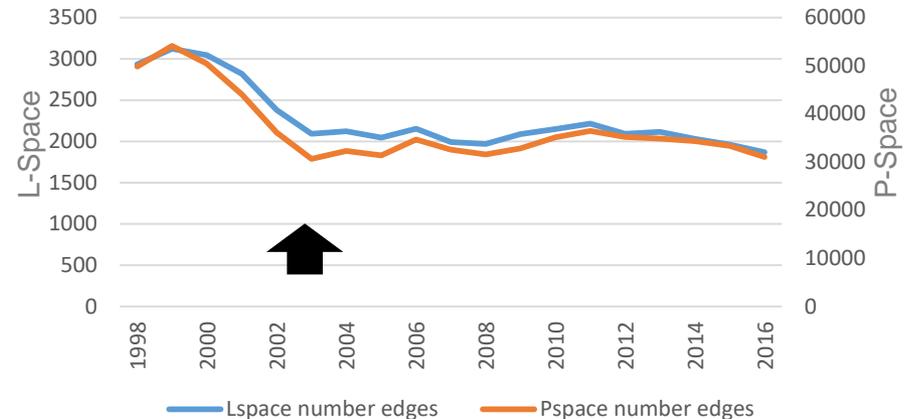
Netzwerkanalyse: Anzahl Knoten & Kanten



Anzahl angefahrener Bahnhöfe



Anzahl der Edges im Zeitverlauf im
Zeitverlauf

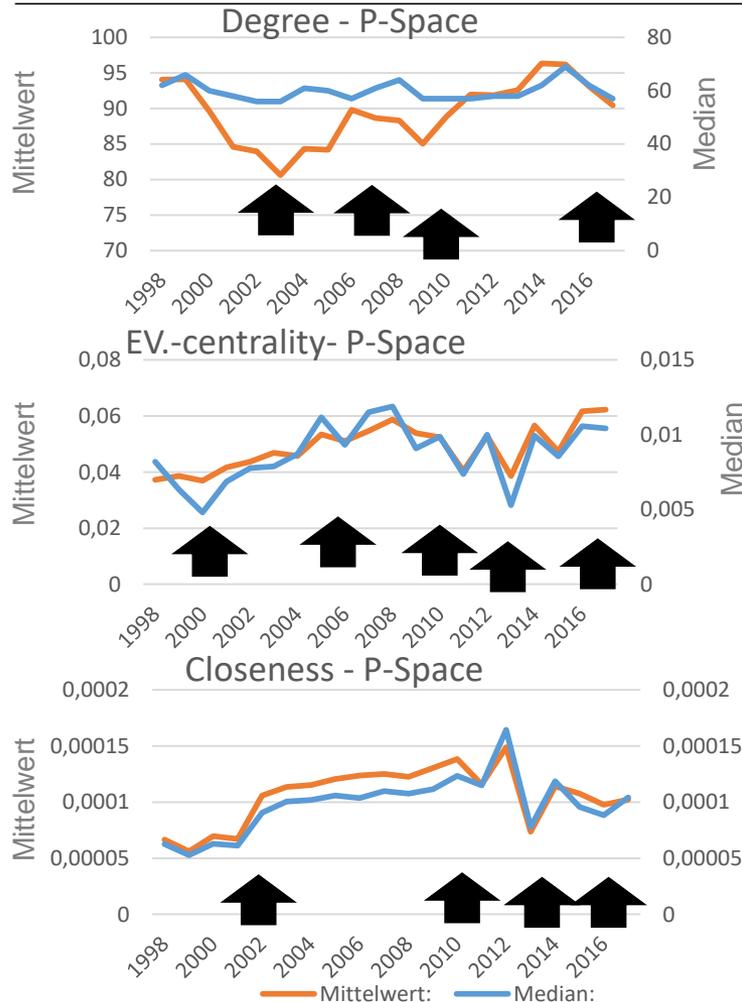


Die Anzahl der angebotenen Bahnhöfe nimmt von 1999 bis 2003 stark ab, verharren bis 2011 auf einem Niveau, um dann weiter abzunehmen.

Die Anzahl der Edges folgt dieser Entwicklung.



Netzwerkanalyse: Kennzahlen im Zeitverlauf



Umstellung des
Fernverkehrs auf IC/EC
& ICE

Veränderung des Angebots
unter Effizienz Gesichtspunkten

Kleinere Anpassungen

Teilweise Umkehrung der
Trends/Fluktuationen

Ausbau unter
Effizienz Gesichtspunkten



1 Ausgangslage



2 Grundlagen



3 Datenbasis



4 Netzwerk Analyse im Zeitverlauf



5 Netzwerk Analyse und Modellabgleich



6 Netzwerkkennzahlen – Einfluss auf Ökonomie?



7 Zusammenfassung und Diskussion

Ziel 2:

Inwiefern das SPFV Netzwerk im Einklang mit Untersuchungen anderer Verkehrsnetzwerke ist.

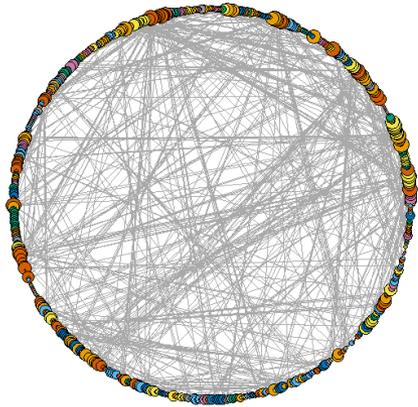


Netzwerkanalyse



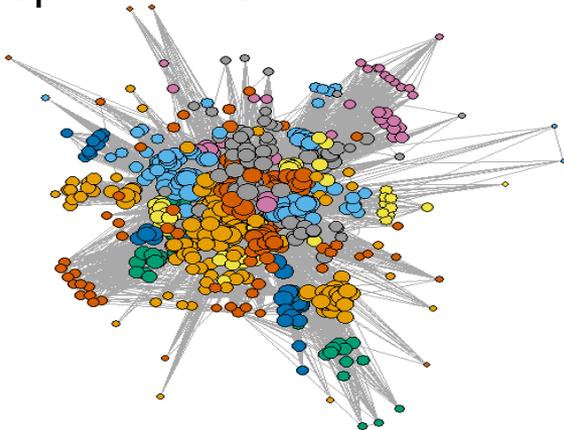
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

L-Space 2016 Circle-Darstellung



- Small-World-Entwicklung
- Scale-Free-Eigenschaft

P-Space 2016 Fruchterman-Reingold



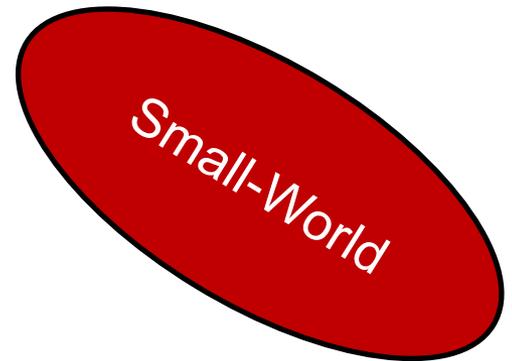
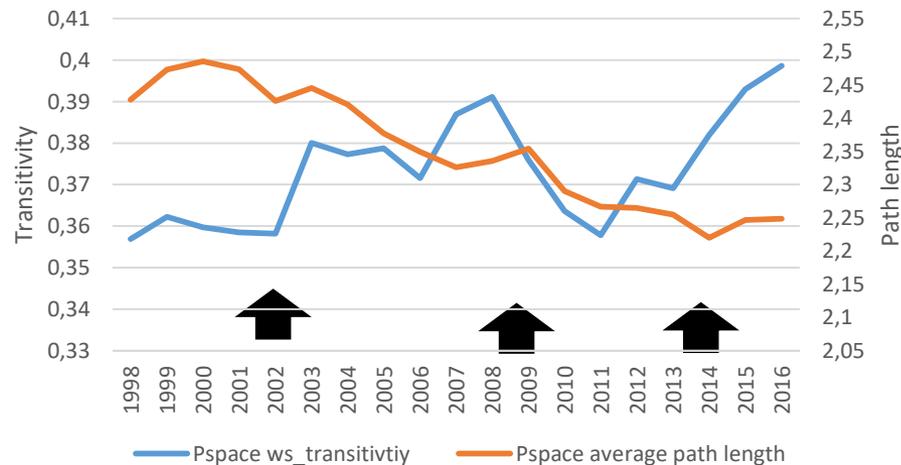


Netzwerkanalyse: Small-World



- Small-World: lokal und global gut vernetzt
- Watts & Strogatz (1998) entwickeln ein Netzwerkmodell und verknüpfen konkrete Netzwerkzahlen mit dieser Eigenschaft: hohe Transitivity und niedrige Path length.

P-Space: Path length & Transitivity im Zeitverlauf



- Small- World Eigenschaft entwickelt sich noch deutlicher heraus Path length im P-Space von 2,25 und Transitivity von 0,4 (vgl. WS-Graph 0,45)
- Markante Zeitpunkte:
2000 (Spitze in der Path length; ansteigen Transitivity); 2006-08 (Plateaubildung); 2013-14 (Bodenbildung Path length)



Theorie zur Netzwerkanalyse: Scale-Free



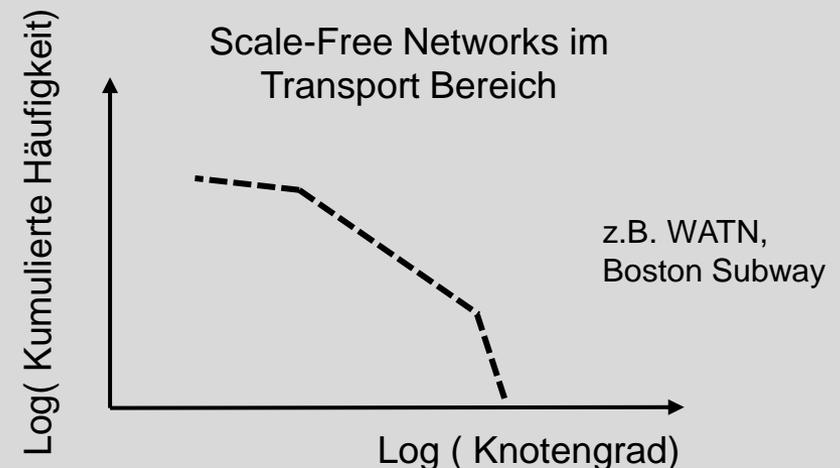
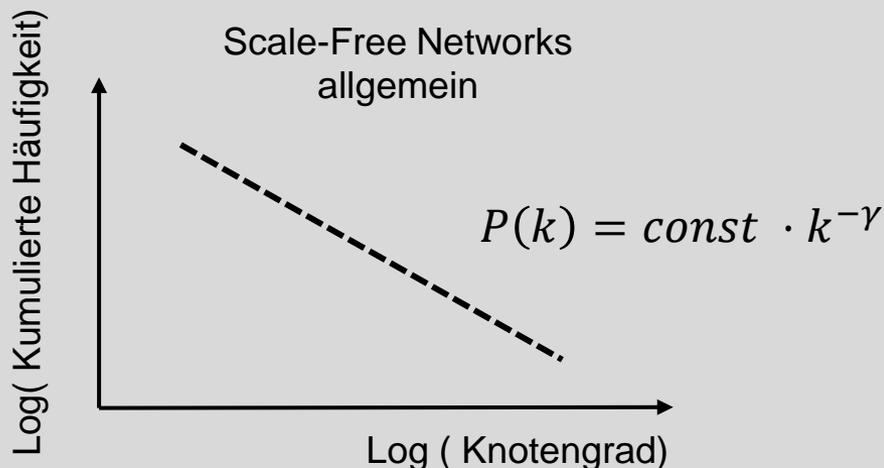
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

In zahlreichen unterschiedlichen Netzwerken sind die Verteilungsmuster der Verbindungskennzahlen ähnlich:

- Amaral et. al. (2000) teilen unterschiedliche Klassen von Scale-Free Networks anhand der Knotengradverteilung ein → Unterschiedliche Funktionsweisen führen zu unterschiedlichen Verteilungen.
- Scale-Free Networks haben die Small-World-Eigenschaft.

Entstehungsprozess modellierbar mittels BA-Modell.

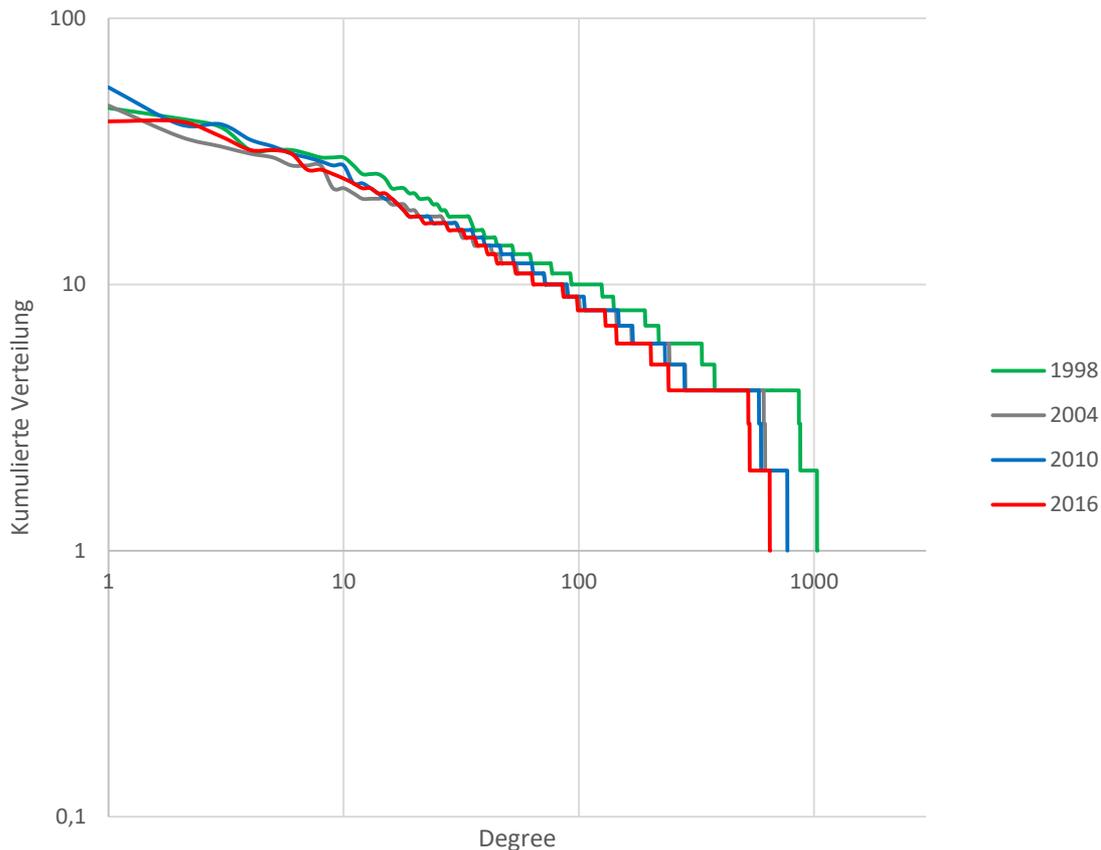
- **Hintergrund: Verbindungen müssen „effizient“ sein.**





Netzwerkanalyse: Scale-Free

Kumulative Strength Verteilung L-Space



Scale-Free

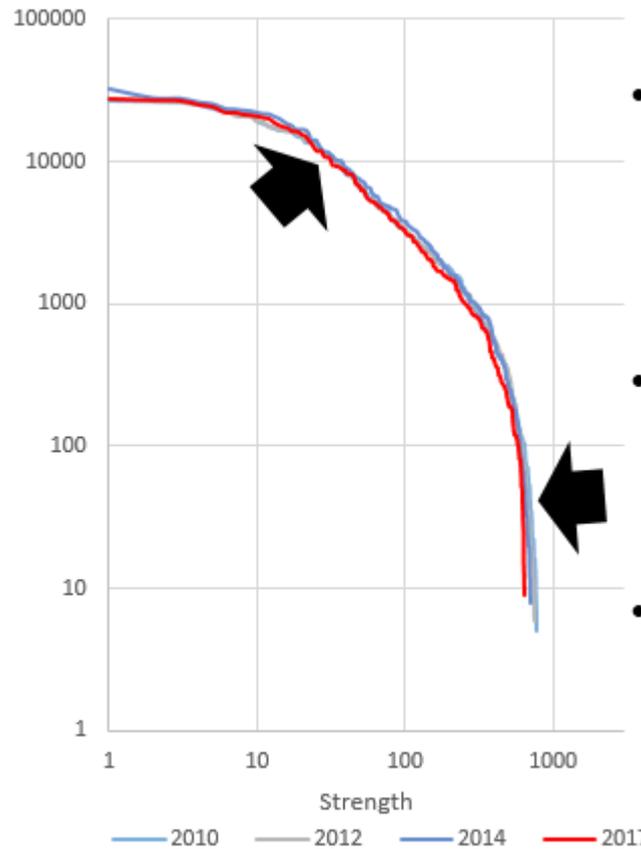
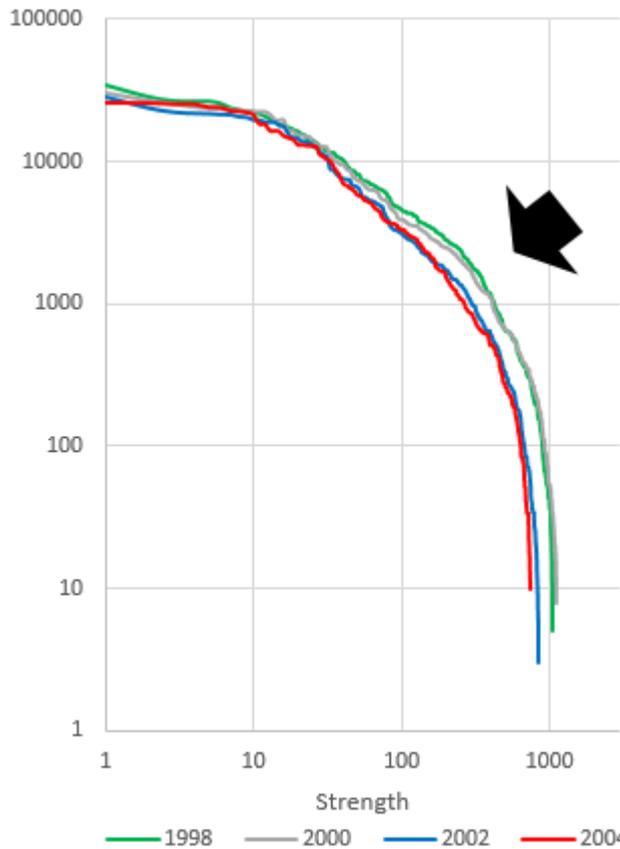
- Im L-Space sehr nahe BA-Verteilung (Scale-Free)
- Vor allem von 1998 auf 2004 ist die Reduktion der Anbindungen zu sehen.
- Nach 2004 im Mittelbereich große Konstanz.



Netzwerkanalyse: Scale-Free

Neues
Verhalten!

Kumulative Strength Verteilung P-Space



- Im P-Space eher weniger Scale-Free.
- Seit 2002 im Mittelbereich sehr konstant.
- Lediglich Reduktion bei der Top-Gruppe



1 Ausgangslage



2 Grundlagen



3 Datenbasis



4 Netzwerk Analyse im Zeitverlauf



5 Netzwerk Analyse und Modellabgleich



6 **Netzwerk Kennzahlen & Ökonomie?**



7 Zusammenfassung und Diskussion

Ziel 3:

Welche Konzepte und Maße aus der Netzwerktheorie sind auf den SPFV anwendbar und können potentiell relevante Eigenschaften des Netzwerkes beschreiben.



Zusammenhang Netzwerk und Ökonomische Entwicklung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Nachfrage und Angebot sollten korrelieren

1. Bei steigender Wirtschaftskraft höhere Reisebereitschaft, Angebot wird ausgebaut.
2. Bei besserer Anbindung profitiert die wirtschaftliche Entwicklung.

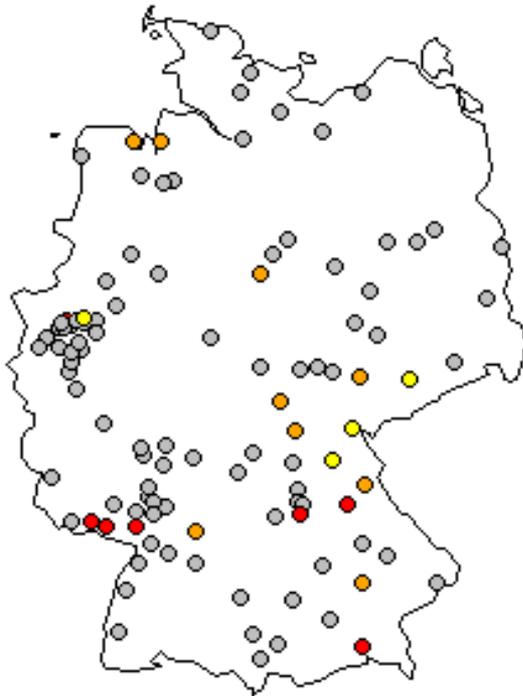
Hintergrund:

- Studien zeigen, dass eine bessere HSR-Anbindung sich positiv auf die wirtschaftliche Entwicklung auswirkt.
- Bislang vor allem entlang von neuen Strecken.
- GT Maßzahlen bieten die Möglichkeit Verbindungsverbesserungen zu bewerten.

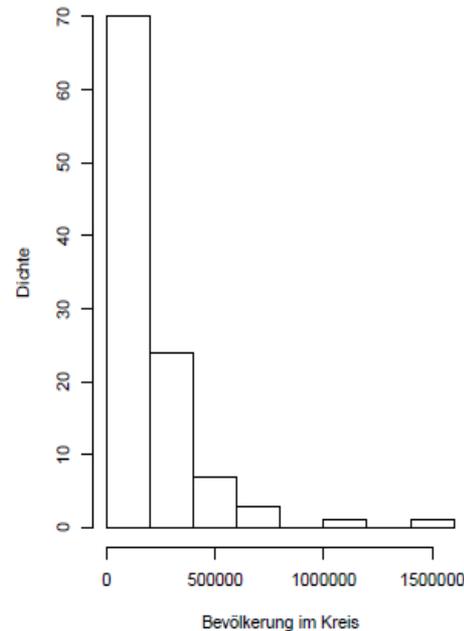


Zusammenhang Netzwerk und Ökonomische Entwicklung

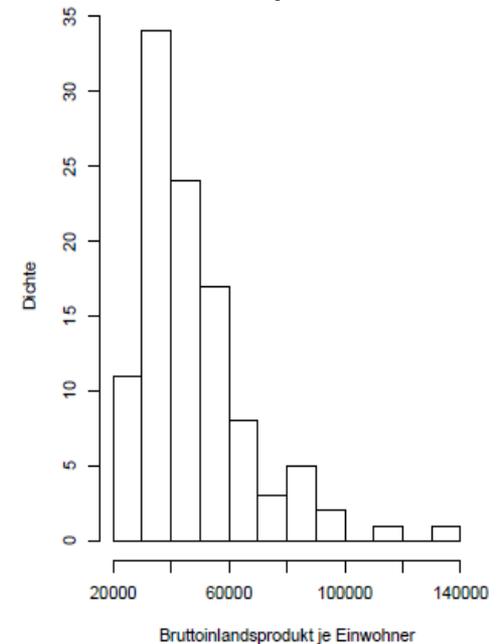
Analyse der 108 kreisfreie Städte:
Mit Daten u.a. zu Bevölkerung, BIP & BIP p.K.



Bevölkerung

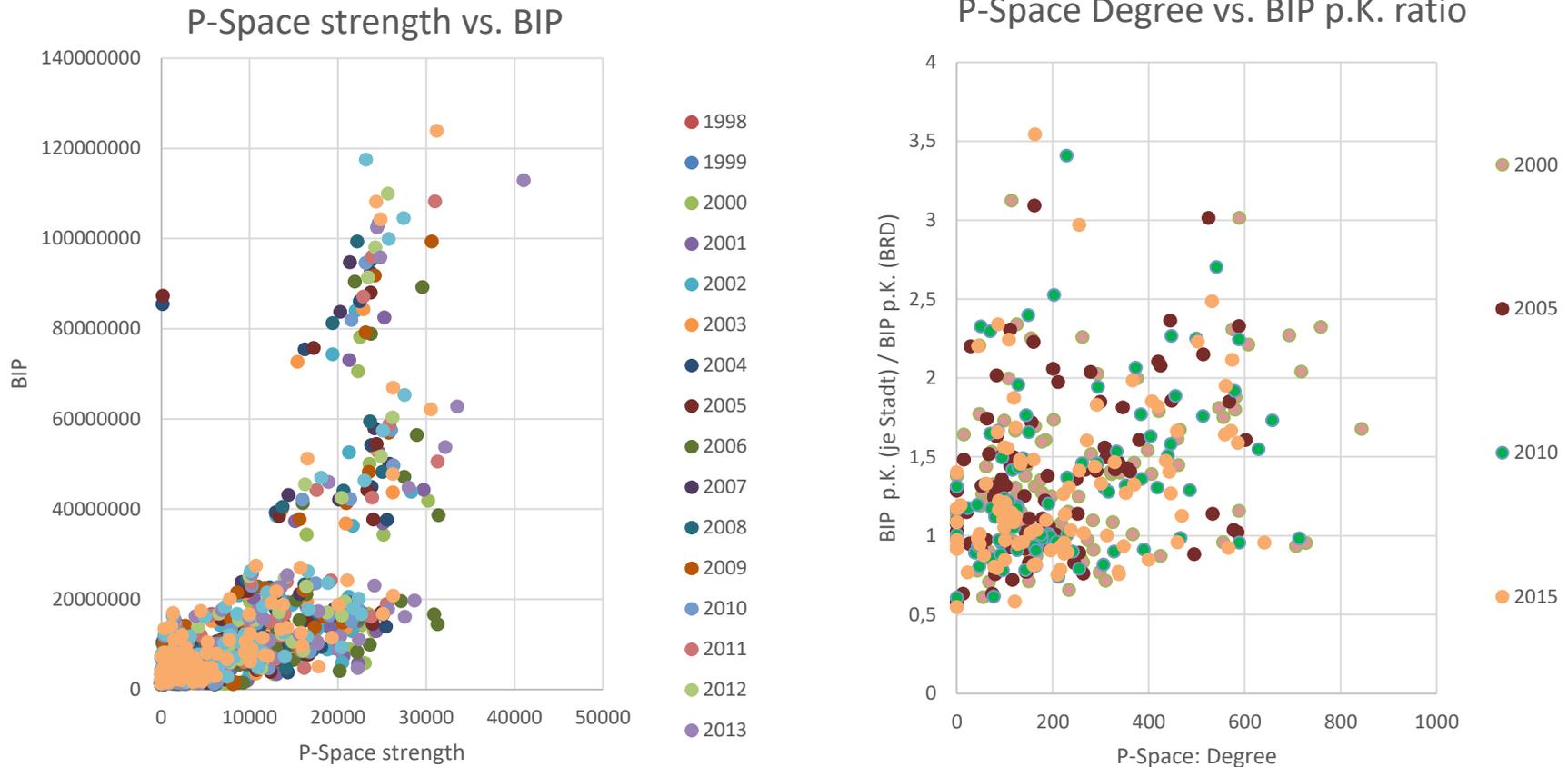


BIP p.K





Zusammenhang Netzwerk und Ökonomische Entwicklung



- Korrelation zwischen den Absoluten BIP und BIP/p.K. Daten und Maßzahlen.
- Potentiell mehrere Gruppe



Zusammenhang Netzwerk und Ökonomische Entwicklung



Korrelationen zwischen den Änderungen?

Zwei Szenarien:

1. Netzwerkänderungen im Vorfeld der wirtschaftlichen Änderungen.
2. Netzwerkänderungen nach den wirtschaftlichen Änderungen.

Netzwerk	DELTA BIP	DELTA strength	DELTA Eigenvec. centrality
VOR			
Wirtschaft			
DELTA BIP	1	0,006	0,12
DELTA strength		1	0,95
DELTA Eigenvec. centrality			1

Netzwerk	DELTA BIP	DELTA strength	DELTA Eigenvec. centrality
NACH			
Wirtschaft			
DELTA BIP	1	-0,0388	-0,0368
DELTA strength		1	0,95
DELTA Eigenvec. centrality			1

→ Kein klares Bild in der globalen Perspektive.

→ Bildung von Top und Low Kategorien (5% Perzentile) und Vergleich mittels T-Test.



Zusammenhang Netzwerk und Ökonomische Entwicklung

Netzwerk vor Wirtschaft	top strength	low strength	top eigencent.	low eigencent.	top BIP	top BIP pro Kopf
DELTA BIP	less: p-value = 0.2731	greater: p-value = = 0.03781	less: p-value = 0.08163	greater: p-value = 0.3134	-	-
DELTA BIP pro Kopf	less: p-value = 0.2853	greater: p-value = 0.2455	less: p-value = 0.07811	less: p-value = 0.3297	-	-
DELTA STRENGTH	-	-	-	-	greater: p-value = 0.1655	greater: p-value = 0.1395
DELTA EIGEN	-	-	-	-	greater: p-value = 0.2276	greater: p-value = 0.2131

Städte deren Anbindung sich verschlechtert (auf Basis der Strength) verzeichnen ein signifikant schlechteres Wirtschaftswachstum.

Netzwerk nach Wirtschaft	top strength	low strength	top eigencent.	low eigencent.	top BIP	top BIP pro Kopf
DELTA BIP	less: p-value = 0.08814	greater: p-value = 0.1241	less: p-value = 0.000595 8	greater: p-value = 0.004894	-	-
DELTA BIP pro Kopf	less: p-value = 0.1094	greater: p-value = 0.2479	less: p-value = 0.001923	greater: p-value = 0.01958	-	-
DELTA STRENGTH	-	-	-	-	greater: p-value = 0.2787	greater: p-value = 0.2441
DELTA EIGEN	-	-	-	-	greater: p-value = 0.1544	greater: p-value = 0.1832

Städte deren Anbindung sich verbessert (auf Basis Eigenvector Centrality) haben zuvor ein höheres Wirtschaftswachstum.

→ Strength und Eigenvector Centrality beschreiben potentiell praktisch beobachtbare Eigenschaften.



Zusammenfassung



- SPFV Netzwerk wurde im Zeitverlauf analysiert.
 - Die Veränderung netzwerktheoretischer Maßzahlen lässt sich im Kontext strategischer Anpassungen sehen → besonders geeignet um das Netzwerk zu beschreiben: P-Space mit Strength, Closeness und Eigenvector Centrality.
 - Die Eigenschaften des SPFV-Netzwerkes entwickeln sich hin zu den erwünschten Small-World Eigenschaften.
 - Teilweise Skale-Free, aber Adaption existierender Konzepte notwendig, v.a. P-Space Erweiterung der Wachstumsmodellierung und Logik eines liniengebundenen Transportsystems
 - Korrelation zwischen Wirtschaftskraft und netzwerktheoretischen Zahlen der Anbindung deuten auf Relevanz der Eigenvector Centrality und der Strength im P-Space hin.
- Weitere Untersuchungen bzgl. der netzwerktheoretischen Konzepte im SPFV.
- Weitere Untersuchungen bzgl. netzwerktheoretischer Kennzahlen und wirtschaftlicher Entwicklung.

Haben Sie noch Fragen?



BACKUP



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Fahrplanjahre

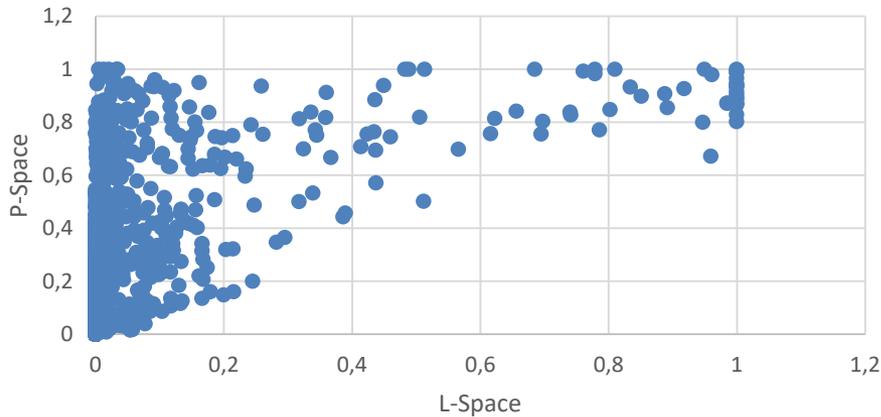


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

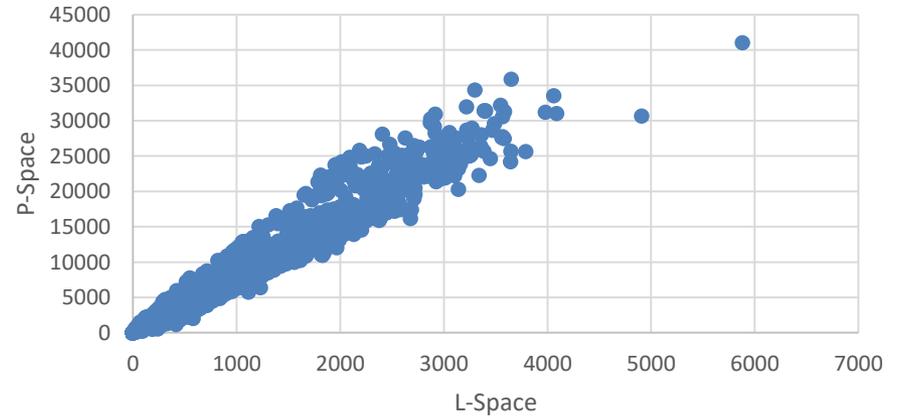
Fahrplanjahr	Beginn	Ende
1996	02.06.1996	31.05.1997
1997	01.06.1997	23.05.1998
1998	24.05.1998	29.05.1999
1999	30.05.1999	27.05.2000
2000	28.05.2000	09.06.2001
2001	10.06.2001	14.12.2002
2003	15.12.2002	13.12.2003
2004	14.12.2003	11.12.2004
2005	12.12.2004	10.12.2005
2006	11.12.2005	09.12.2006
2007	10.12.2006	08.12.2007
2008	09.12.2007	13.12.2008
2009	14.12.2008	12.12.2009
2010	13.12.2009	11.12.2010
2011	12.12.2010	10.12.2011
2012	11.12.2011	08.12.2012
2013	09.12.2012	14.12.2013
2014	15.12.2013	13.12.2014
2015	14.12.2014	12.12.2015
2016	13.12.2015	10.12.2016
2017	11.12.2016	09.12.2017

L-Space vs. P-Space

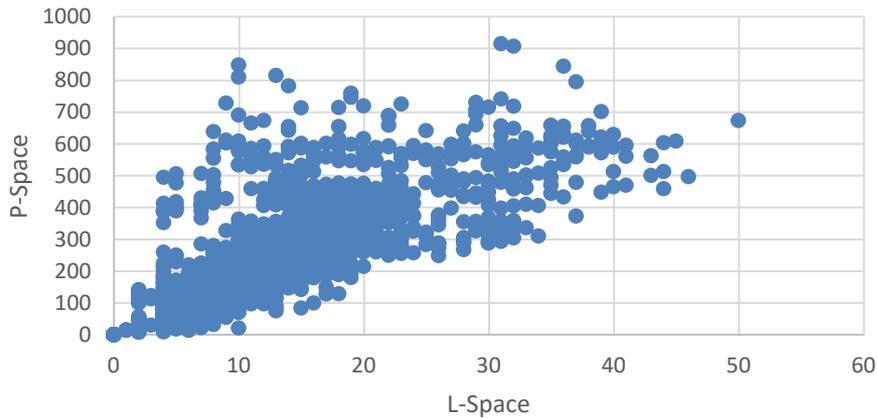
Eigenvector Centrality



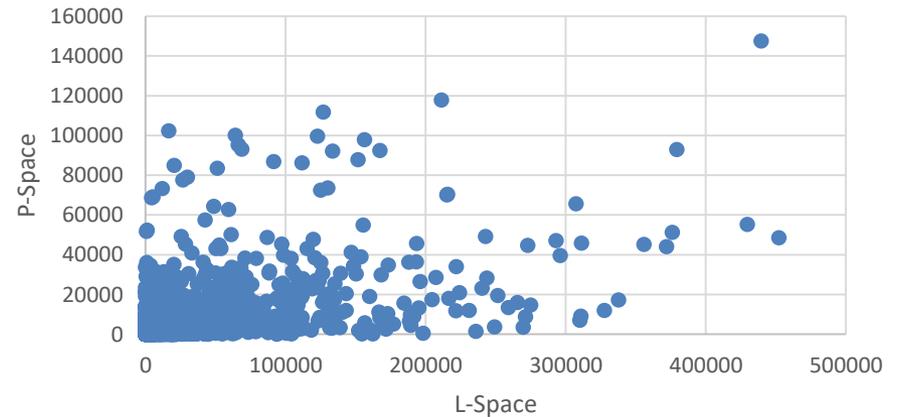
Strength



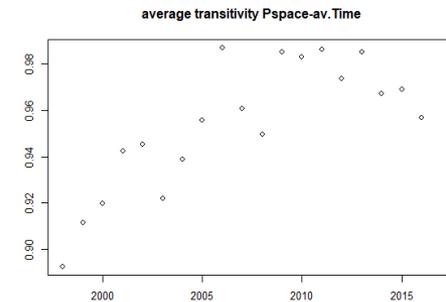
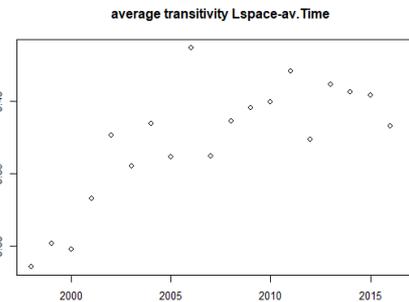
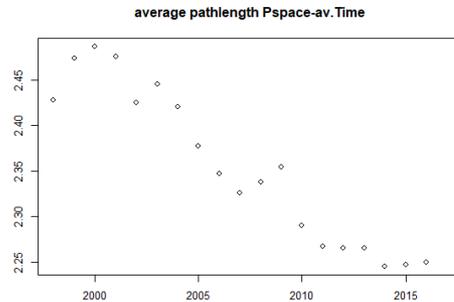
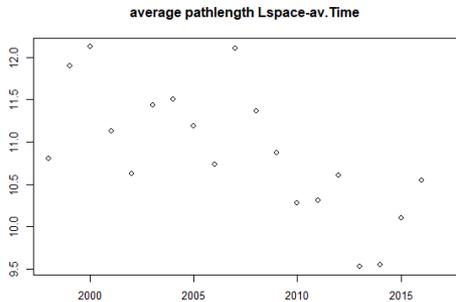
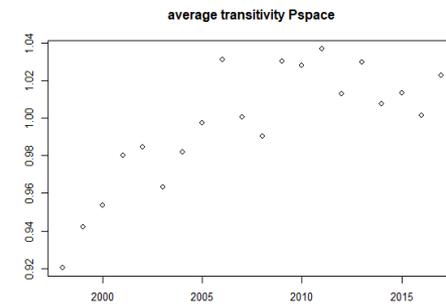
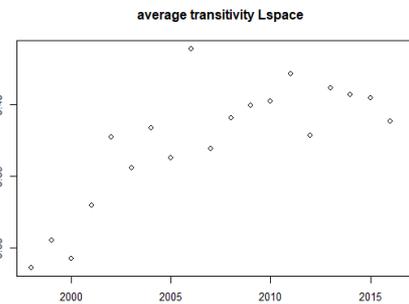
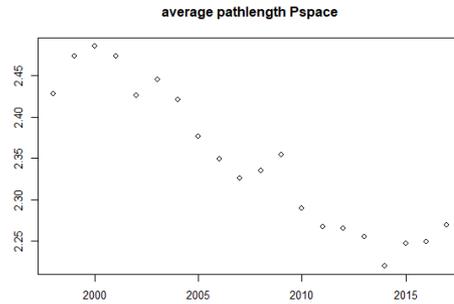
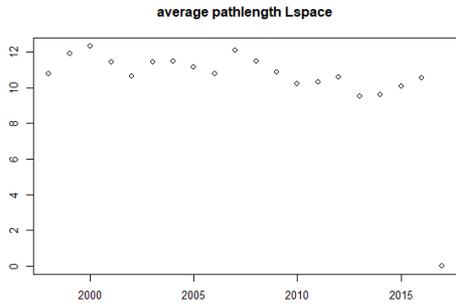
Degree



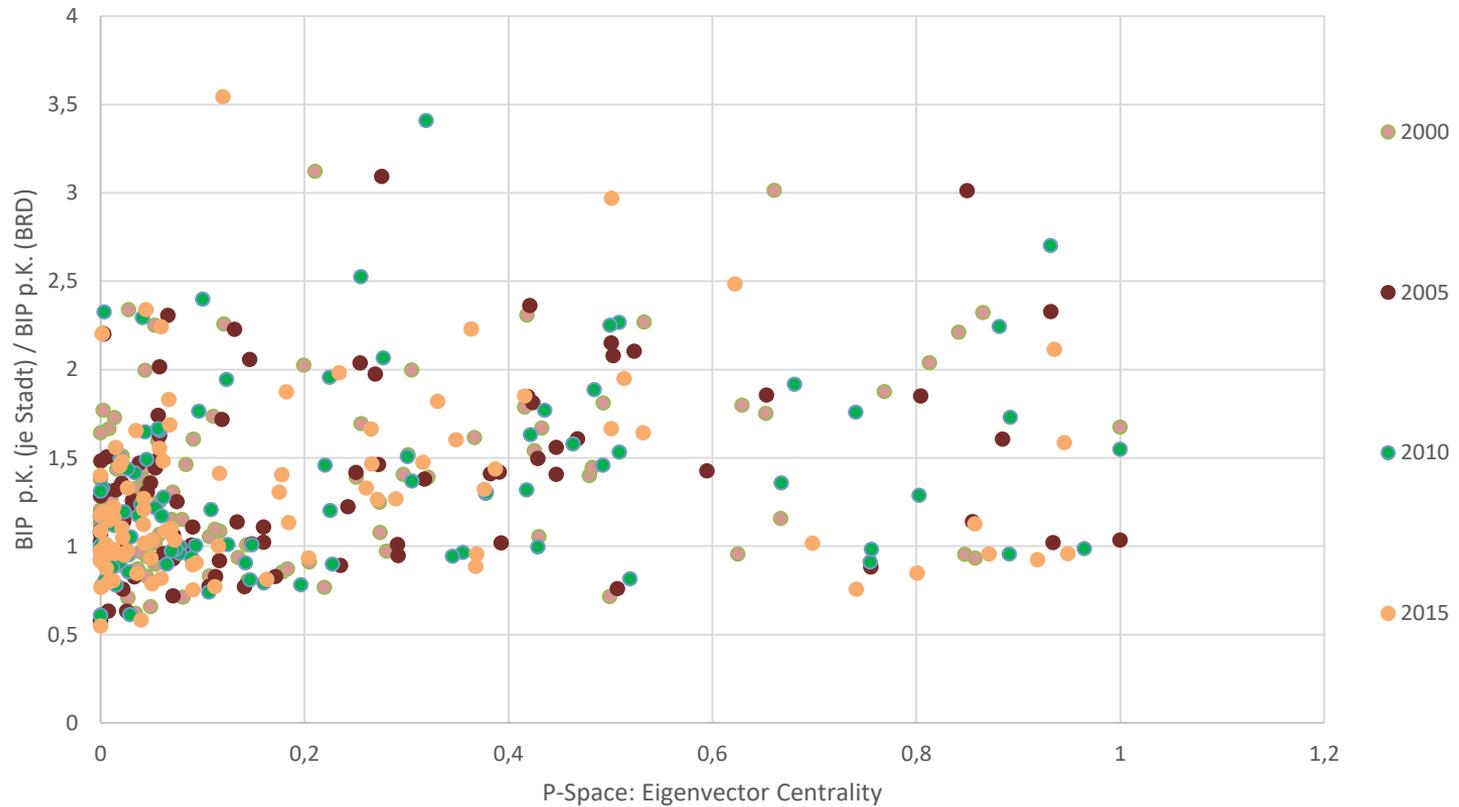
Betweenness Centrality



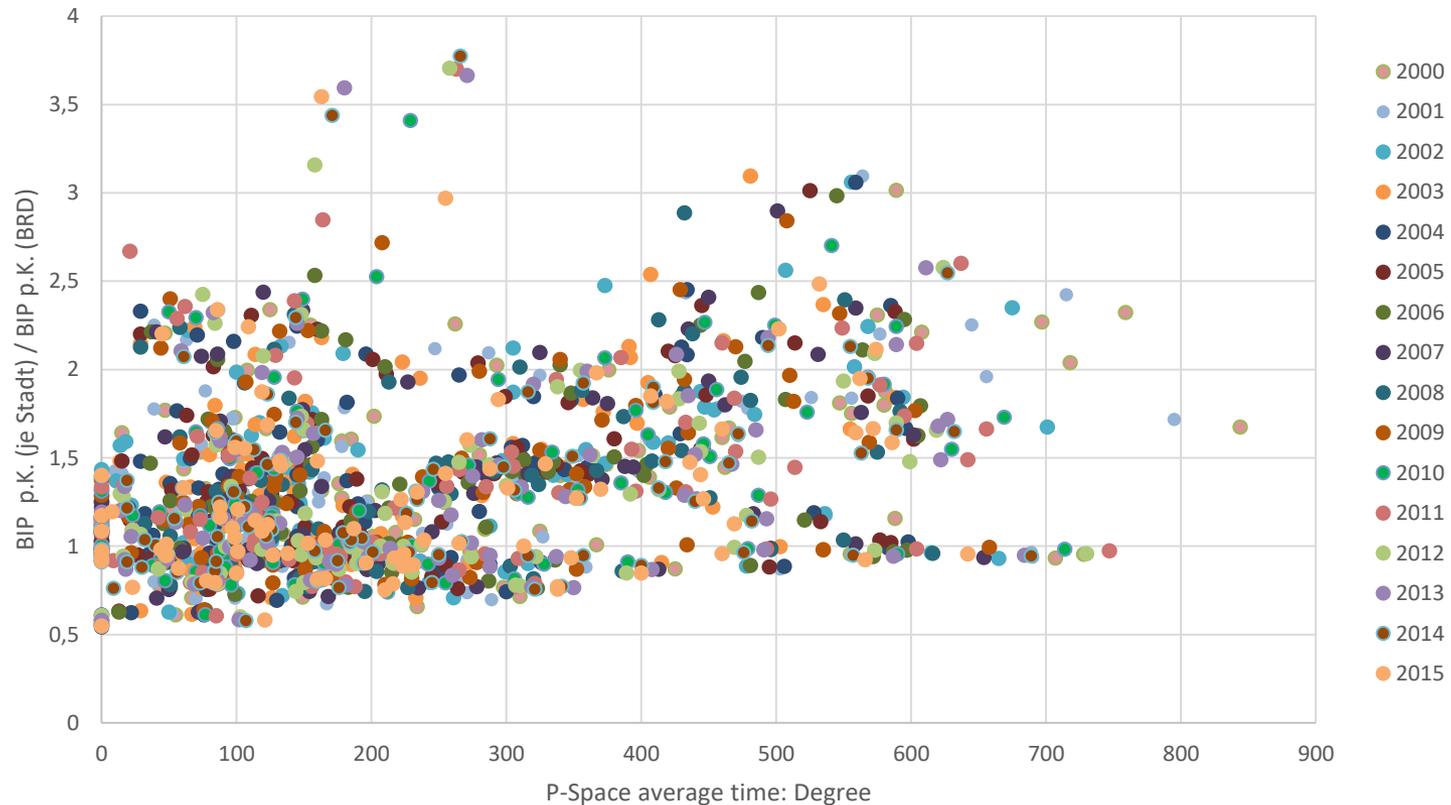
Backup – Path Length vs. Transitivity



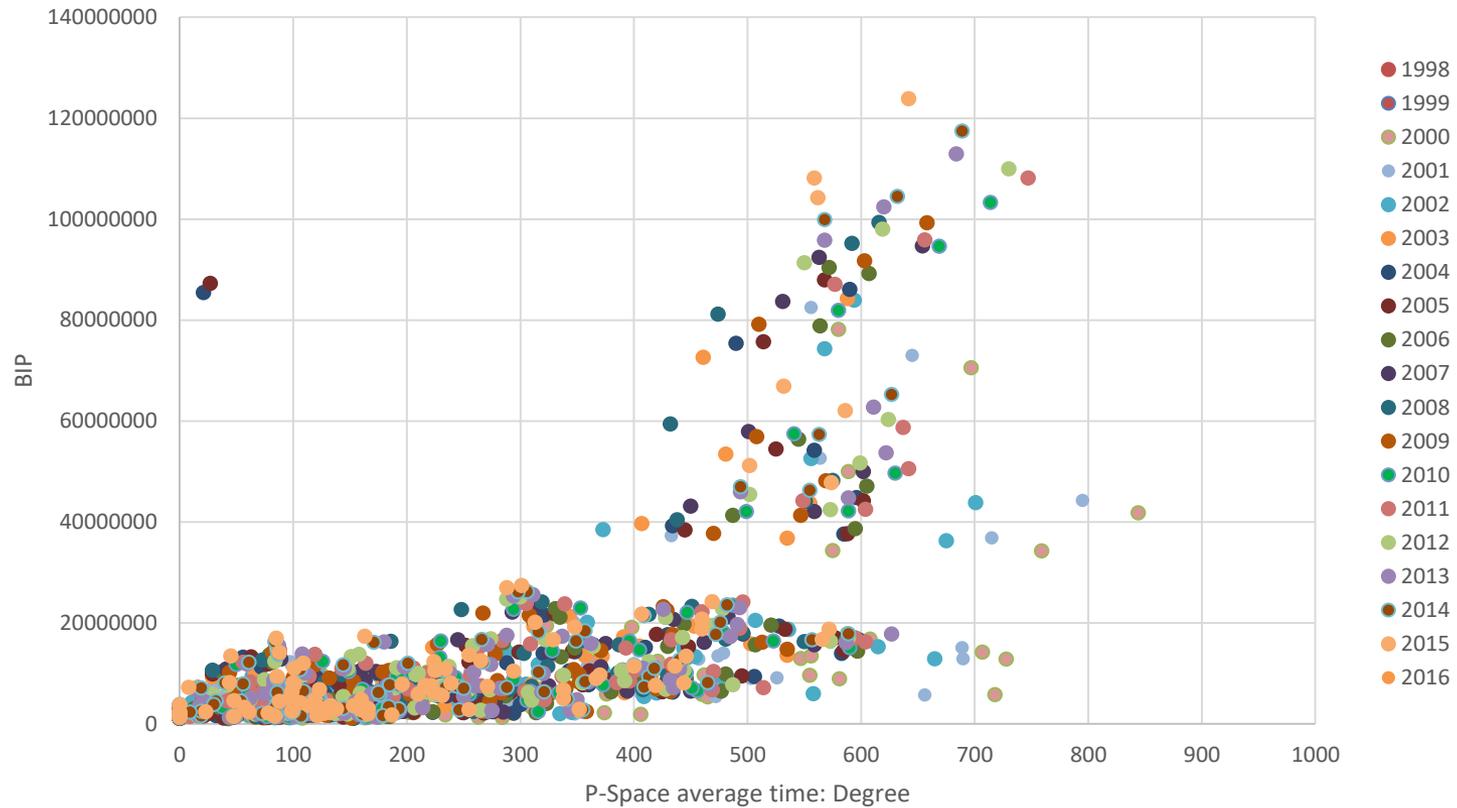
P-Space Eigenvector Centrality vs. BIP p.K. ratio



P-Space average time Degree vs. BIP p.K. ratio



P-Space average time Degree vs. BIP

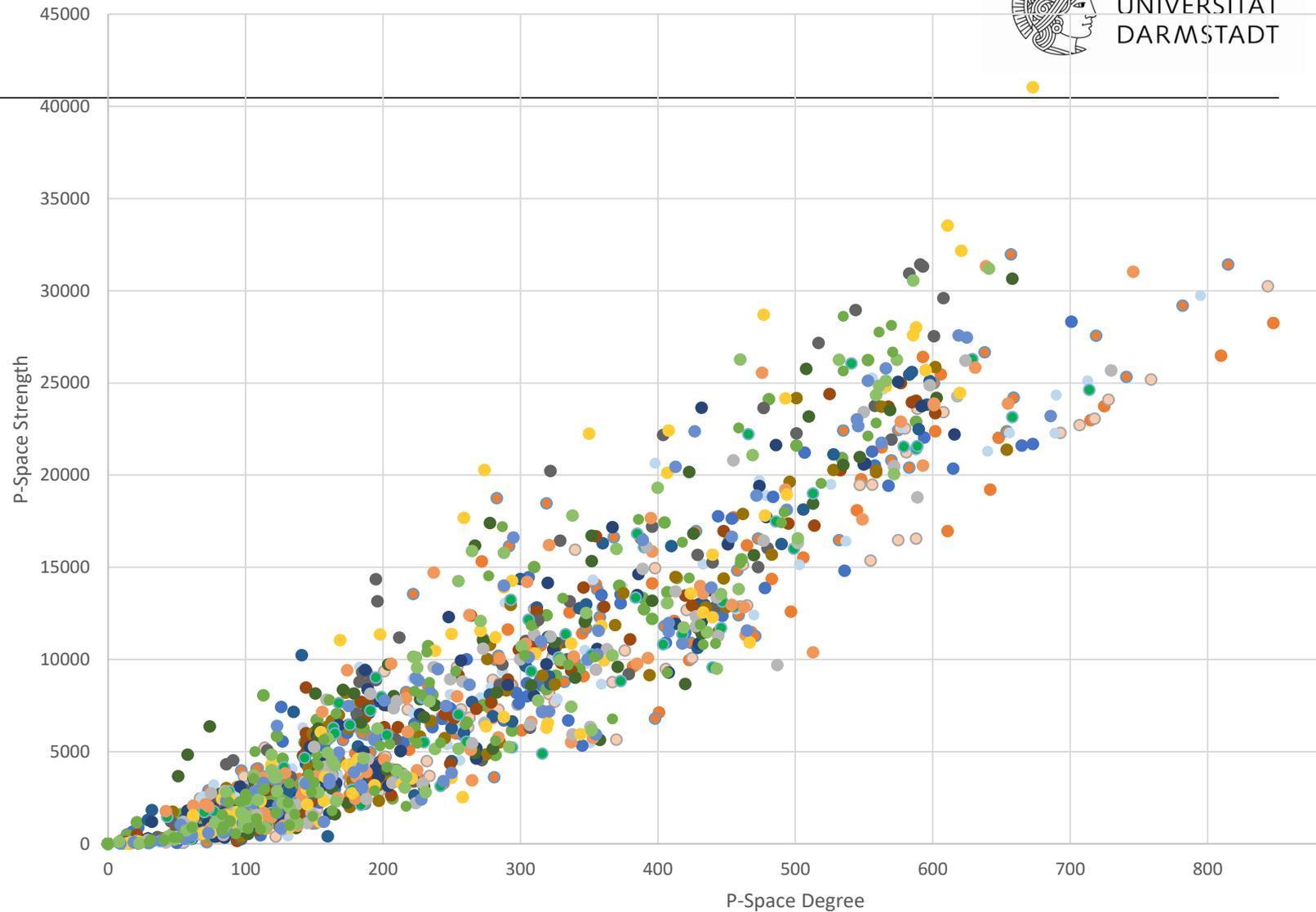


Backup

P-Space: Strength vs. Degree



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Strategie DB2020



<http://ib2015.deutschebahn.com/ib2015-de/konzern-lagebericht/trends-und-strategie/strategie-db2020.html> Abruf 6.6.2018



Änderung zu 2020?

<http://zb2016.deutschebahn.com/zb2016-de/konzern-zwischenlagebericht-ungeprueft/der-db-konzern/konzernstrategie-db2020-zu-db2020-weiterentwickelt/strategie-db2020.html> Abruf: 6.6.2018

Zukunft Bahn

Wesentliche Maßnahmen Steigerung Pünktlichkeit

Zur deutlichen Steigerung der Pünktlichkeit – vor Einsatzteams die Zahl der technischen Störungen zugeordnet. Digitale Weichendiagnoseverfahren sind, sowie neue digitale Fahrassistenzsysteme für Verbesserung Reisendeninformation

Ab 2016 führen wir schrittweise eine neue technische Gleiswechseln oder geänderten Wagenreihungen DB-Mitarbeiter in den Zügen verlässlich informiert großen Fernbahnhöfen informiert. Die Prognosen Ausbau WLAN

[F4«7/31» Der DB-Konzern schafft mit dem Aufbau eines einheitlichen WLAN-Portals (WLAN@DB) für alle dafür ausgebauten Fern- und Nahverkehrszüge sowie für die Bahnhöfe bis 2020 schrittweise das größte mobile WLAN-Netz Deutschlands. Basis ist das ICE-Portal. Künftig soll ein entsprechendes Angebot auch für Kunden im Bahnhof und in IC-Zügen sowie in Absprache mit den Aufgabenträgern auch in Nahverkehrszügen zur Verfügung stehen. Parallel dazu bauen wir ab 2016 neue Empfangstechnik in ICE-Züge ein, die sowohl die Telefon- als auch die Internetnutzung verbessert. F4«7/31»] Steigerung Reisekomfort

Mit einem umfassenden Programm zur Komfortsteigerung an Bord der Züge erhöhen wir ab 2016 die Qualität und Verfügbarkeit von Bordgastronomie und Toiletten spürbar. Dazu werden beispielsweise zusätzliche mobile Entstörungsteams eingeführt sowie Bordpersonal durch die Entlastung von betrieblichen Aufgaben für zusätzliche Serviceleistungen für Kunden eingesetzt. Komforthöhung Bahnhöfe

Ab 2016 starten wir kurzfristige Maßnahmen, um den Aufenthaltskomfort an Bahnhöfen zu steigern. Das Programm verbessert die Zuverlässigkeit von Aufzügen und Fahrtreppen an Bahnhöfen in Ballungszentren, Wartebereiche in großen Bahnhöfen werden modernisiert und mit WLAN ausgestattet. Daneben renovieren wir 31 unterirdische S-Bahn-Stationen in den nächsten Jahren. Rund zwei Millionen Pendler werden davon profitieren. Weitere zwei Millionen Menschen in den Regionen sollen über den Neubau von 350 Stationen bis 2025 einen direkten Bahnanschluss erhalten. Neuaufstellung Schienengüterverkehr

Wir stellen DB Cargo mit einem neuen Geschäftsmodell grundlegend neu auf. Das Produktionssystem wird radikal vereinfacht und dadurch weniger störanfällig. Ziel ist es, das zugesagte Leistungsversprechen gegenüber den Kunden zu 95% einzulösen. Dafür wird für einen Großteil der Verkehre ein stabiles Qualitätsnetzwerk mit einem Jahresfahrplan und festgelegten Frequenzen eingeführt. Davon unabhängig werden aber auch kurzfristige Verkehre weiterhin organisiert. Qualitätssteigerungen und niedrigere Produktionskosten sollen die Netzauslastung erhöhen. Zudem sollen der Aufbau eines modernen Vertriebs- und Ertragsmanagements sowie die Erweiterung des europäischen Netzwerks dazu beitragen, ab 2018 ein Wachstum von 1% über dem europäischen Markt bei DB Cargo zu realisieren. Förderung Flexibilisierung

aufbereiten

<http://ib2015.deutschebahn.com/ib2015-de/konzern-lagebericht/trends-und-strategie/strategie-db2020/zukunft-bahn-gemeinsam-fuer-mehr-qualitaet-mehr-kunden-mehr-erfolg.html>

Städte ohne Bahnhof



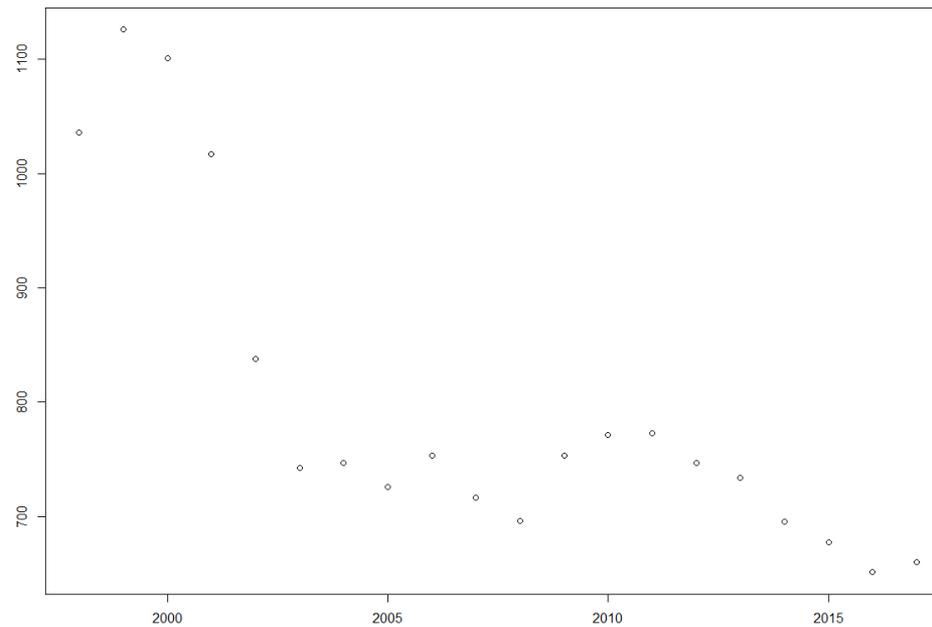
Städte ohne Fernverkehrsbahnhof	
Regio-Code	Name
07320	Zweibrücken
09361	Amberg
05512	Bottrop
07313	Landau in der Pfalz
07317	Pirmasens
05120	Remscheid
09565	Schwabach
2001	nicht mehr angeschlossen
Bremerhaven Hbf	4012
Coburg	9463
Gera Hbf	16052
Heilbronn Hbf	8121
Salzgitter-Ringelheim	3102
Suhl	16054
Weiden(Oberpf)	9363
Wilhelmshaven Hbf	3405

Angebunden	e Städte
1998	93
1999	93
2000	94
2001	94
2002	85
2003	84
2004	85
2005	84
2006	84
2007	81
2008	80
2009	82
2010	83
2011	84
2012	84
2013	85
2014	87
2015	83
2016	82

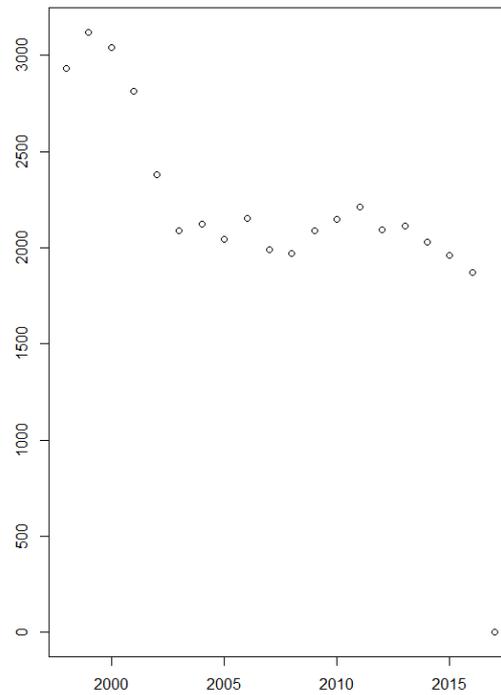
Abfrage2

Name Bahnhof	Regio_code_al Zahl
Frankenthal Hbf	731
Fuerth(Bay)Hbf	956
Speyer Hbf	731
Trier Hbf	721

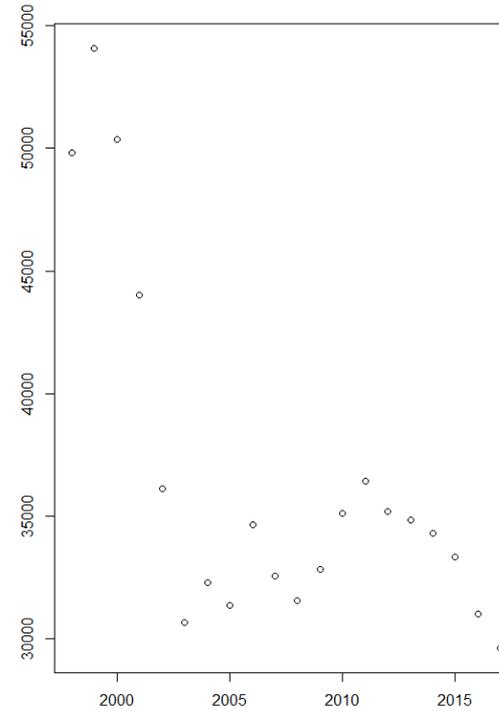
Anzahl angebundener Bahnhöfe im Zeitverlauf

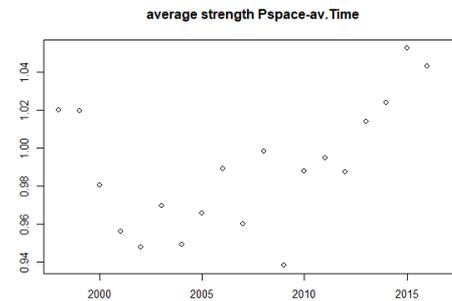
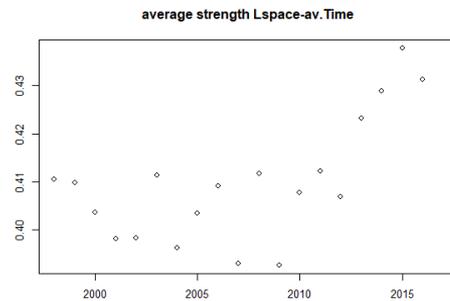
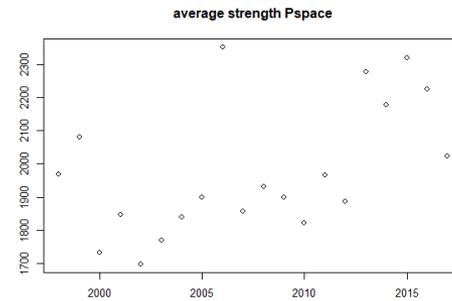
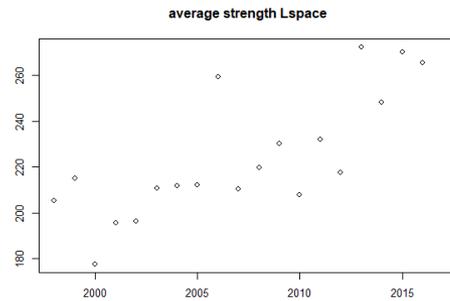


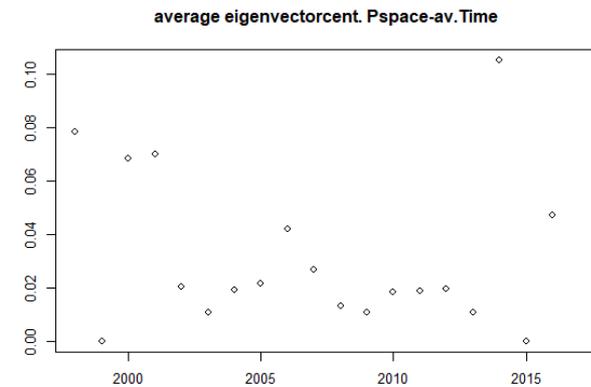
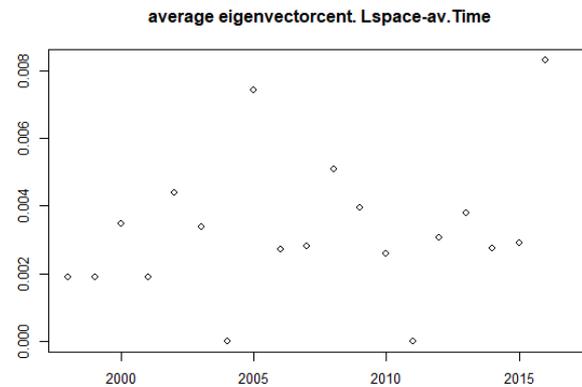
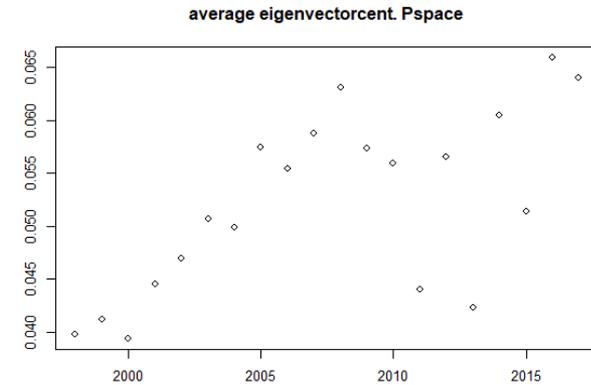
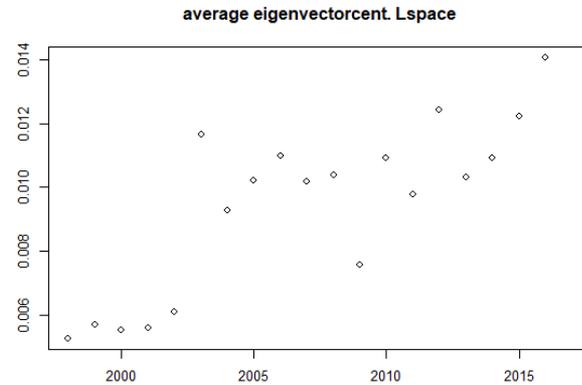
Anzahl Verbindungen Lspace

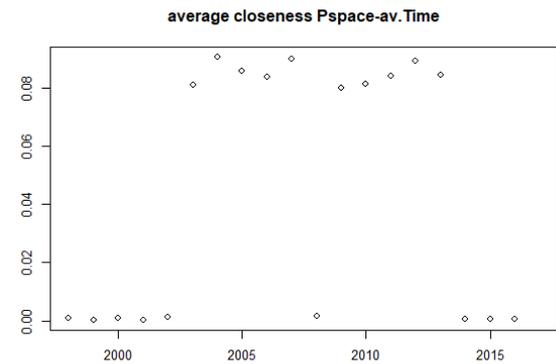
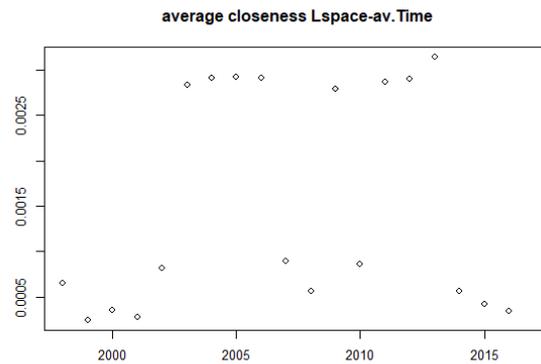
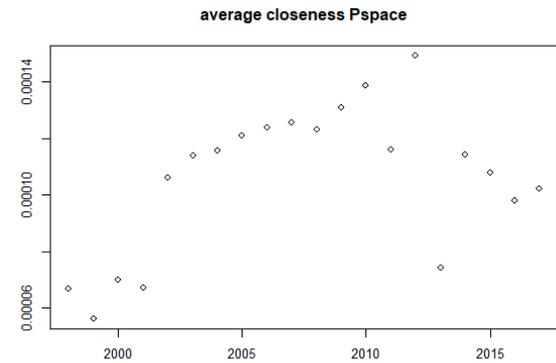
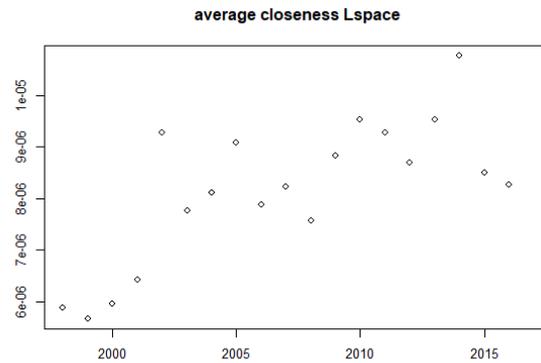


Anzahl Verbindungen Pspace











Angangslage: Literatur



Netzwerkuntersuchungen im Schienenverkehr:

“Complex network theory” untersucht die Verbindungen und Wechselwirkungen innerhalb eines Systems. Besonders im Schienenverkehr ist dies ein entwickelndes Thema (Lin & Ban, 2013).

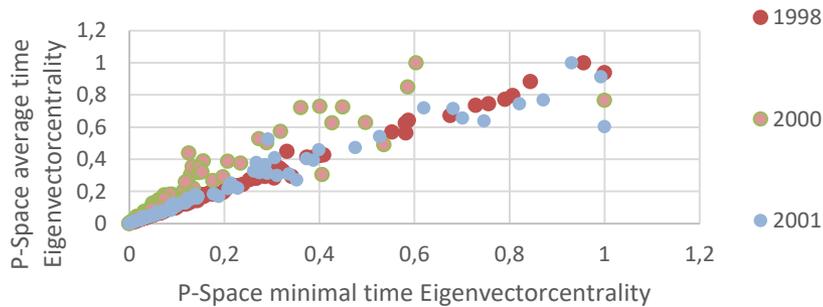
Article	Investigated network(s)	Network depiction	Measures
(Cañizares et al., 2015)	High-Speed-Rail network: France, Spain and Japan	“nodes are all the stations and junctions and the edges are the track sections that link them” Edgweight = trains per day L-Space	Efficiency (local and global) (Latora and Marchiori, 2001) relation between actual distance and the straight line distance for existing edges in network ratio of the sum of the distance of existing edges to the total length if all edges were directly connected
(Latora and Marchiori, 2002)	The MBTA (Boston underground transportation system)	N stations Adjacency of connections either binary or weighted by geographic distance	characteristic path length L clustering coefficient

Tabelle neu

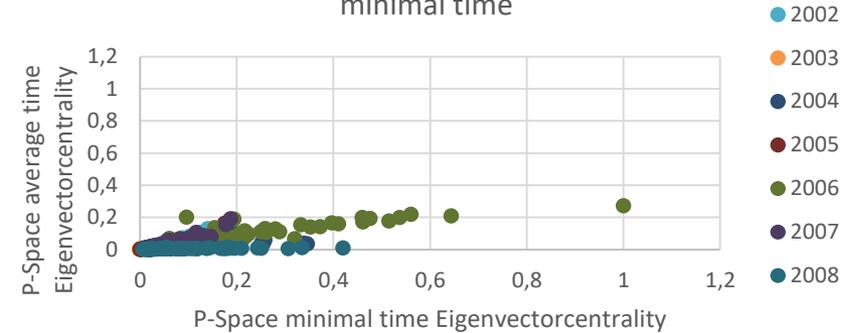
Tabelle neu:
mehr Artikel, ohne zuviel Details auf
Measures und Network depiction

BACKUP

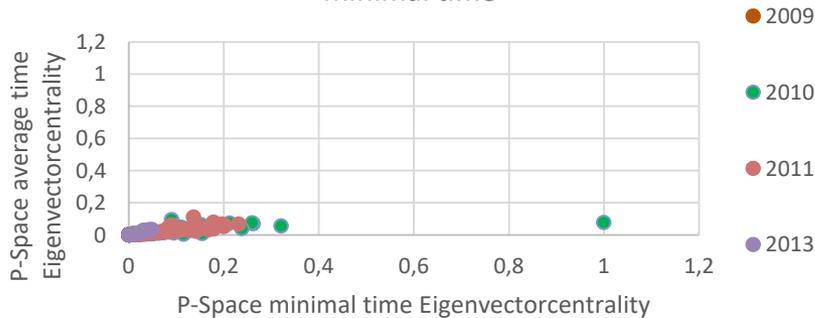
P-Space Eigenvectorcentrality: average time vs minimal time



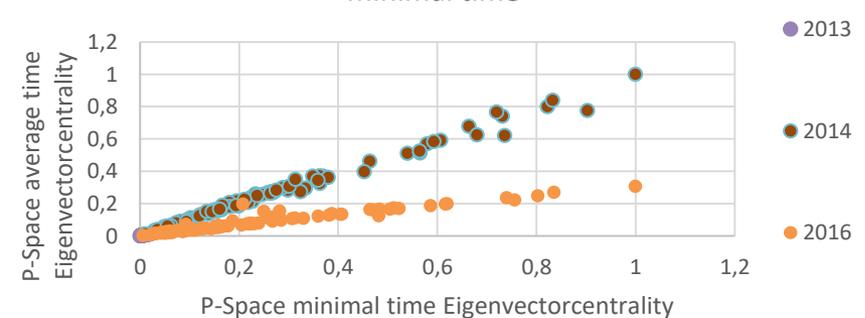
P-Space Eigenvectorcentrality: average time vs minimal time



P-Space Eigenvectorcentrality: average time vs minimal time

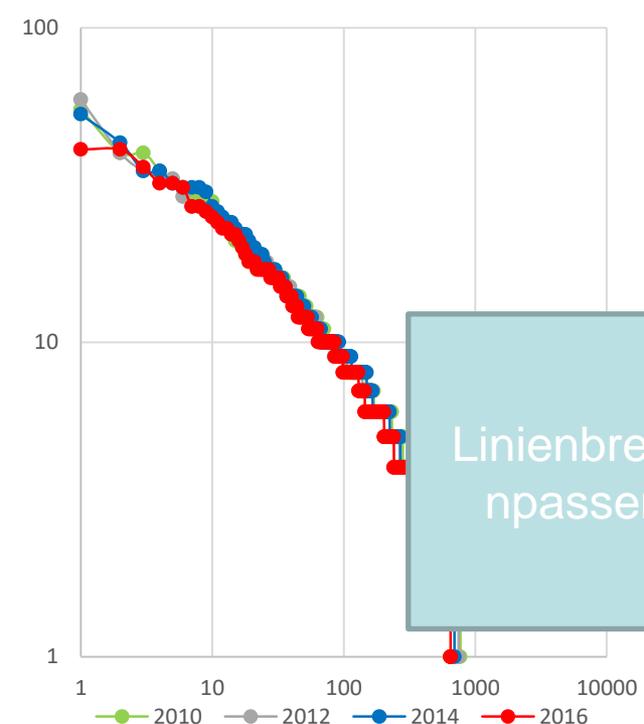
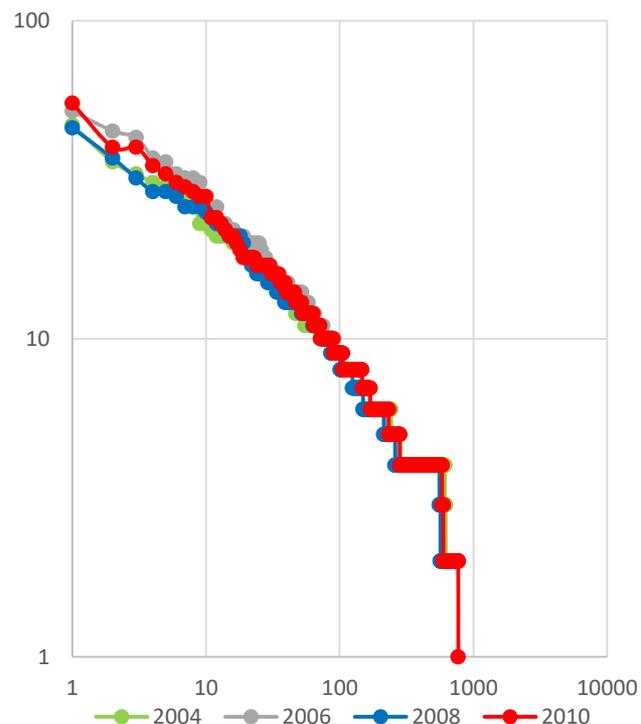
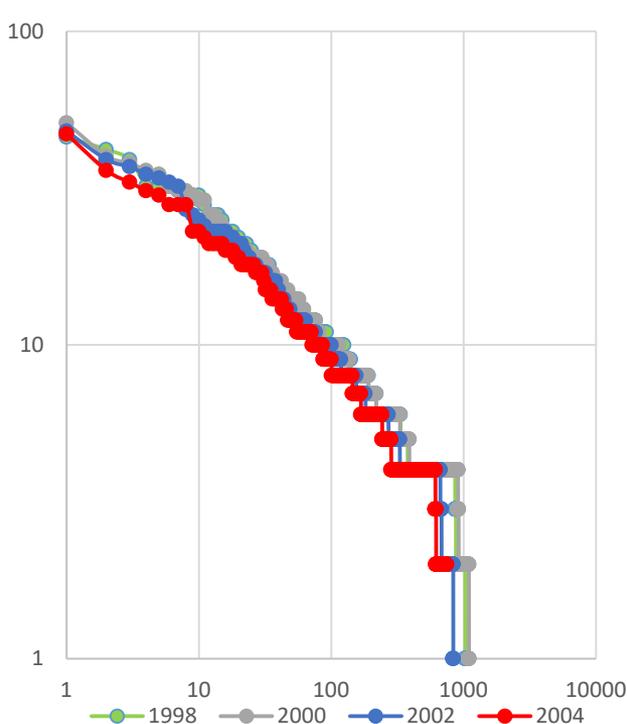


P-Space Eigenvectorcentrality: average time vs minimal time

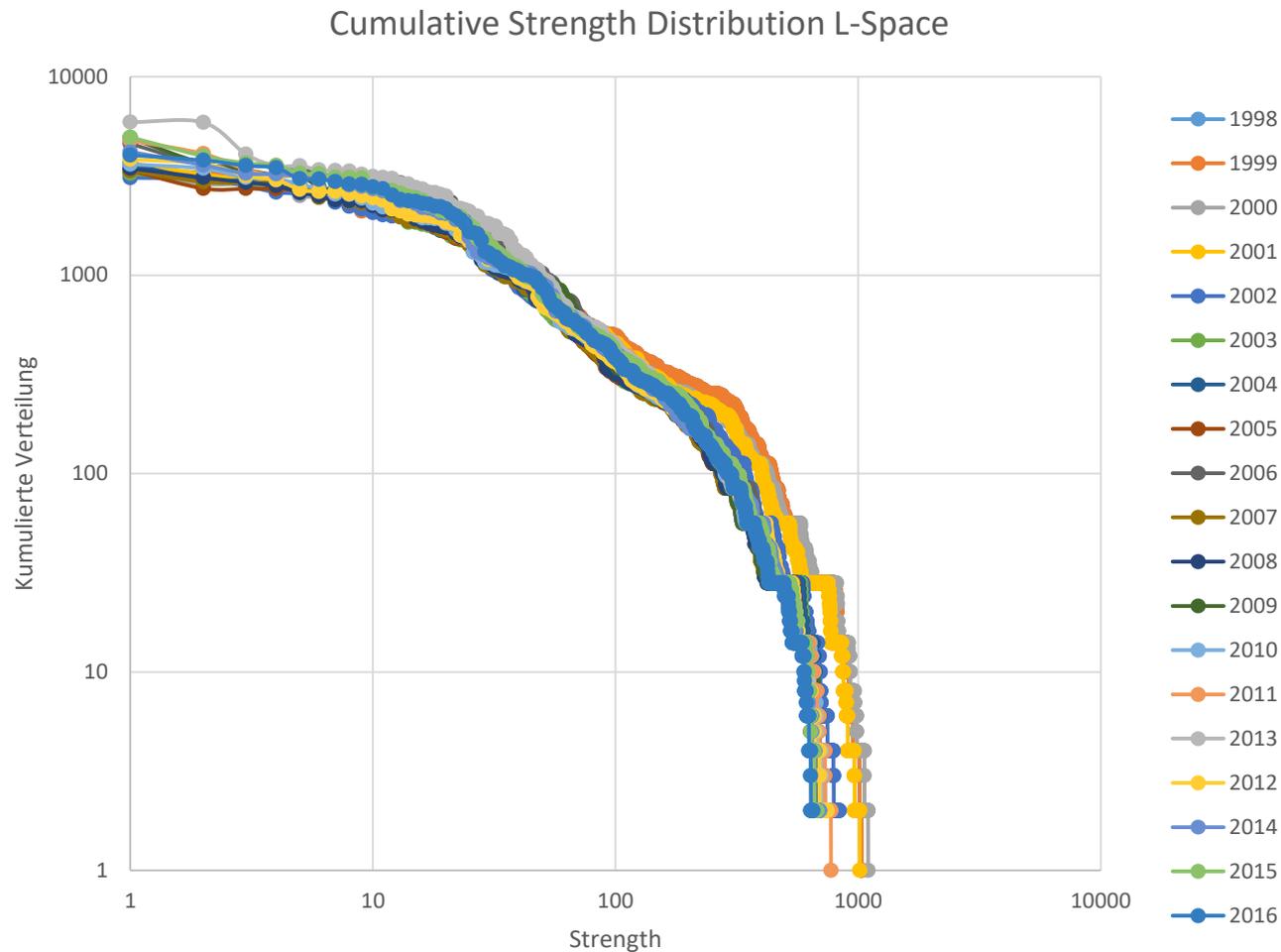


Backup: Kumulative L-Space Degree- Verteilung

Kumulative Degree Verteilung L-Space

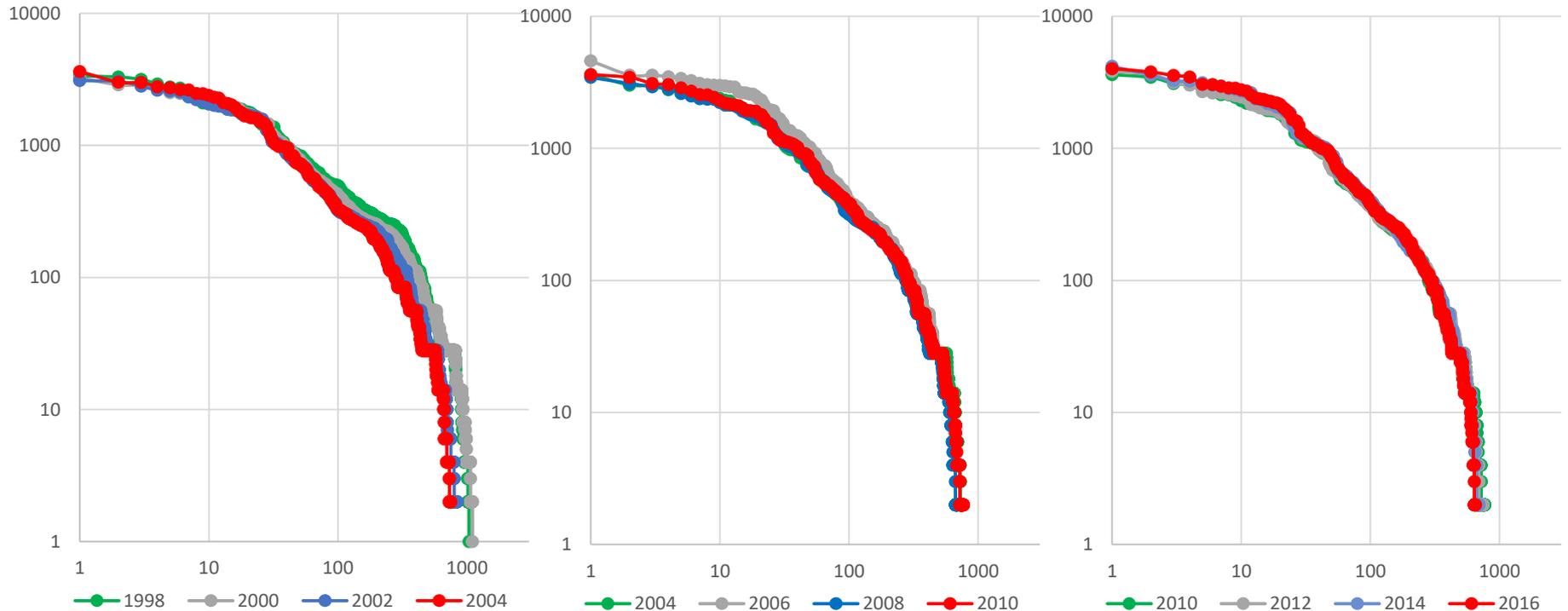


Backup: Kumulative L-Space Strength- Verteilung



Backup: Kumulative L-Space Strength-Verteilung

Cumulative Strength Verteilung L-Space

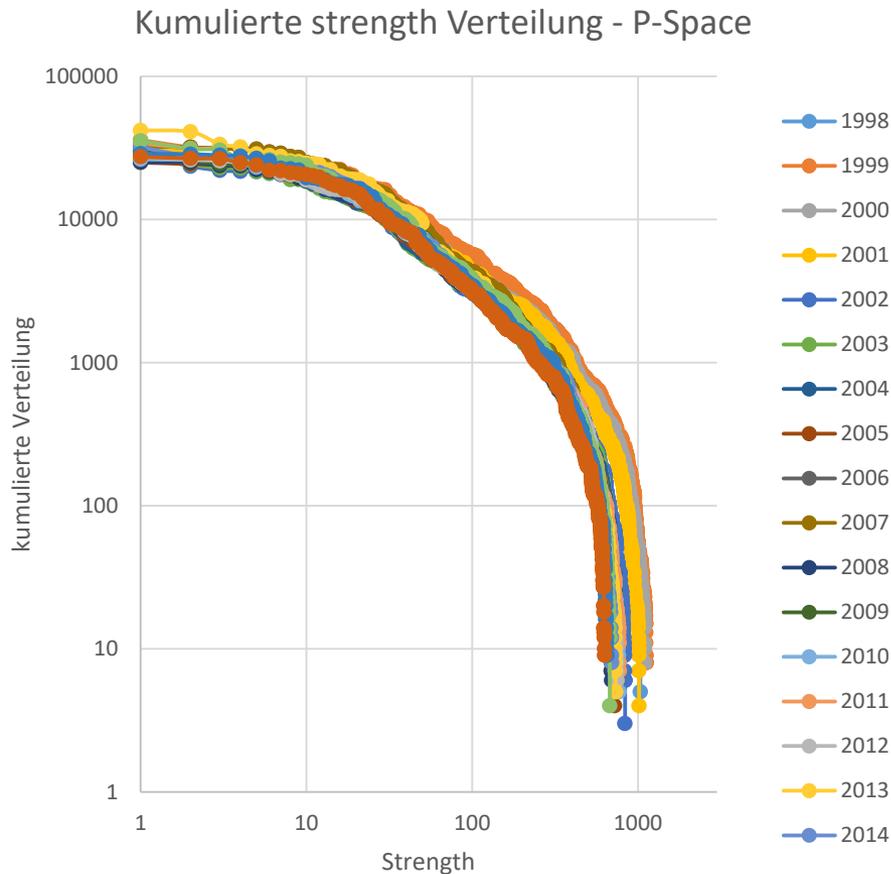




Netzwerkanalyse: Scale-Free: Strength P-Space kumulativ



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT





Abschnitt Netzwerkstrukturana

raus

Ausgangspunkt: Modell für Zusammenhang im

Airlinebereich existiert... ist das auf linientrapo übertragbar



Betw. Degree correlation so ni
nicht im relevanten Pspace..

→ Potentielle Anomalien:

raus